

平成 25 年 10 月台風 26 号による 伊豆大島豪雨災害調査報告書



2014 年 3 月

土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会

平成 25 年 10 月台風 26 号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団

<表紙写真>

大島町元町地区, (株)パスコ・セコム(株)提供

目次

第1章	はじめに	
1.1	気象及び被害の概要	1
1.2	調査団の構成	3
第2章	伊豆大島における災害史	
2.1	噴火史の概略	4
2.2	過去の土砂災害	9
第3章	伊豆大島の自然環境	
3.1	地形	11
3.2	地質	16
3.3	地下水	19
3.4	植生	20
第4章	土砂災害のハード対策とソフト対策の概要	
4.1	砂防施設	22
4.2	土砂災害警戒情報	25
4.3	避難体制	27
第5章	災害の実態	
5.1	気象	28
5.2	表層崩壊の発生個所と規模	32
5.3	崩壊土砂の地盤工学的特性	35
5.4	崩壊・泥流発生タイミング	40
5.5	土砂・洪水流出特性	45
5.6	流木の生産・流出特性	53
5.7	家屋等の被災特性	59
5.8	土木構造物等の被害特性	63
5.9	砂防施設の効果	69
5.10	自衛隊の対応	71
第6章	災害発生メカニズム	
6.1	表層崩壊の発生メカニズム	74
6.2	泥流・流木の流下メカニズム	78
第7章	災害廃棄物	82

第8章	災害対応・復旧・復興	
8.1	災害対応	……………86
8.2	復旧・復興	……………87
第9章	今後の災害に対する被害の軽減・提言	……………89
	謝辞	

第1章 はじめに

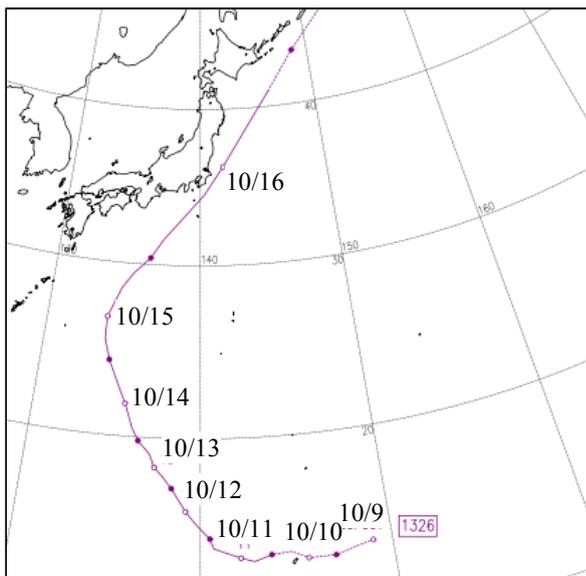
1.1 気象及び被害の概要

(1) 全体の概要

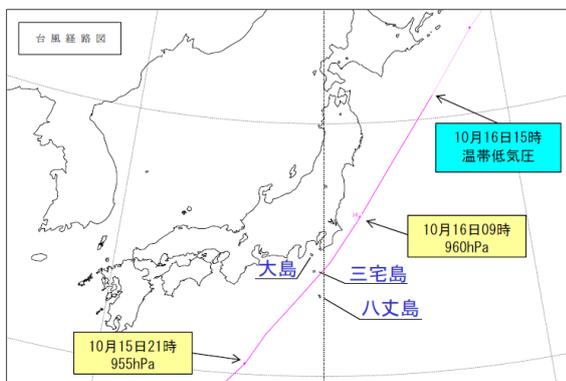
東京都大島町では、台風26号がもたらした湿った空気の影響で、2013年10月16日午前2時ごろから1時間100mmを超える猛烈な雨が数時間降り続き、24時間の降水量が800mmを超える豪雨となった。この豪雨により、東京都大島町では大規模な土砂災害が発生し、2014年2月3日時点で、死者36名、行方不明3名となった。

(2) 気象状況

2013年10月10日21時にマリアナ諸島近海で発生した台風26号は、図1.1-1に示すように、当初は日本の南海上をゆっくり西進していたが、10月11日に進路を北北西に変えつつ勢力を拡大し、中心気圧は930hPa、中心付近の最大風速は45m/sに達する大型で非常に強い台風となっ



(a) 全体 (気象庁データ²⁾ を一部加筆・修正



(b) 日本域拡大図⁴⁾

図 1.1-1 台風 26 号の軌跡

た²⁾。その後、10月15日に進路を北東に変えて速度を上げながら北上し、本州には上陸することは無かったが、10月16日未明から朝にかけて勢力を保ったまま伊豆諸島や関東地方に接近し、その後、関東地方の太平洋沖を進み、同日15時頃に温帯低気圧になった。なお、台風を中心部分は、三宅島と八丈島の間を通過した(図1.1-1(b)⁴⁾)。

この台風26号からの湿った空気の影響を受けて、東京都大島町大島では、図1.1-2に示すように、10/16 0時の時点で既に累積雨量298mmであったが、その後の時間雨量は69.5mm, 92mm, 118mm, 118.5mm, 97.5mmと猛烈な雨が明け方まで継続し、総雨量824mmと10月の月降水量の平年値(329mm)を2.5倍に達する雨量が観測された。この大島観測地点は、後述する多くの人的被害が発生した斜面災害発生地点に最も近い気象観測所である。このような伊豆大島での大雨の要因として、気象庁は

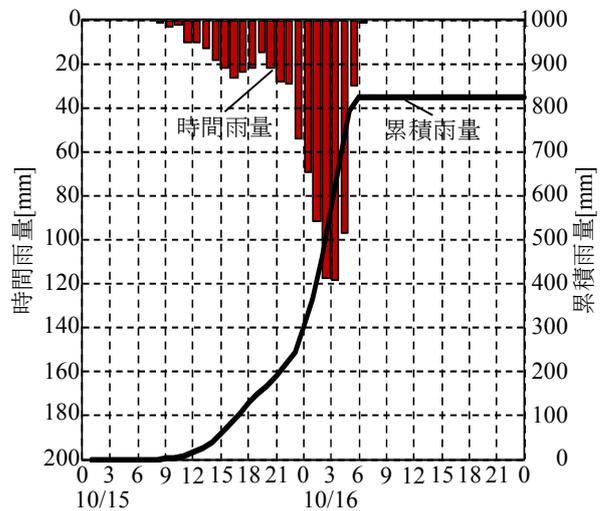


図 1.1-2 時間雨量と累積雨量の時系列変化 (東京都大島町大島, 2013/10/15-16)

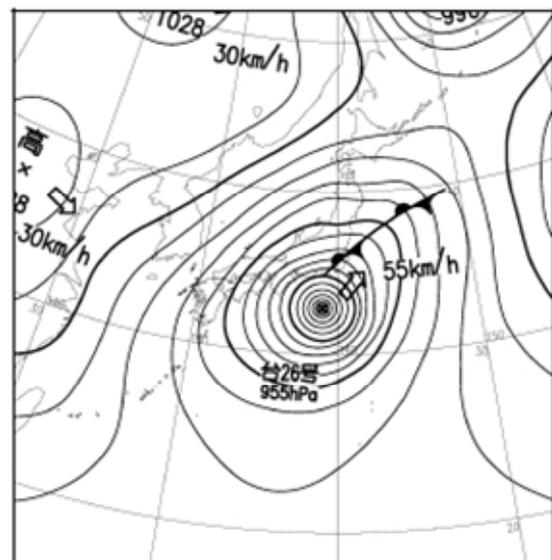


図 1.1-3 台風時に形成された局所前線 (10/16 3時)⁴⁾

「台風からの暖かく湿った空気と関東平野および房総半島から流出した冷氣により形成された局地前線（図1.1-3）が大島付近に停滞し、それに沿って線状の降水帯が形成された」としている⁴⁾。なお、今回の豪雨は極めて局地性が高く、大島町大島の観測地点よりわずか4km北側に位置する北ノ山観測地点では、総降雨量は412mmと大島観測地点の半分となっている。この点に関する検討は、5.1を参照されたい。

(3)被害状況

台風26号による土砂災害としては、東京都大島町各地で見られ、島西部に位置する元町地区周辺域、北部の岡田地区・泉津地区の背後斜面域、三原山山頂部のカルデラ内部、などにて集中的に発生した⁵⁾。このうち、元町地区周辺の大金沢において大規模な土砂災害が発生し、上述したように、死者・行方不明者数39名という甚大な人的被害が生じた。図1.1-4は大金沢流域における土砂災害発生地域の全体の航空写真を示す⁶⁾。今回の被災地域は、14世紀に御神火スカイライン上方の割れ目噴火か

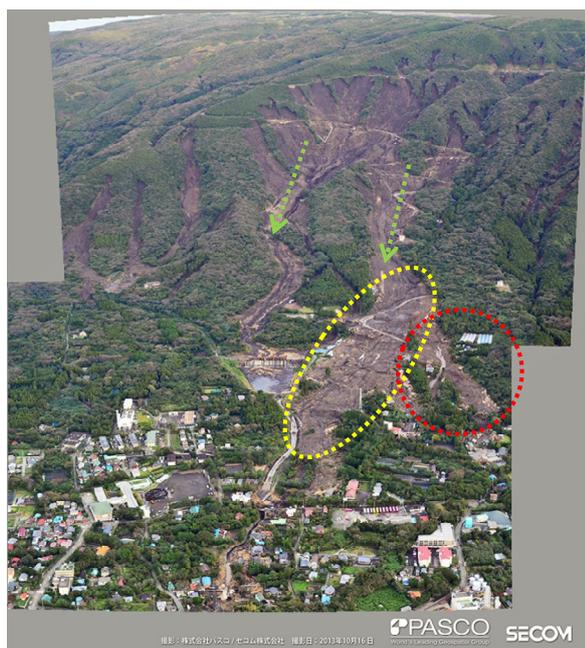


図 1.1-4 土砂災害発生地域全体の航空写真⁶⁾

表 1.1-1 東京都大島町の被災状況¹⁾

	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊			計
				床上浸水	床下浸水	浸水無	
住家	50	11	15	17	46	14	153
非住家	86	15	33	105			239
被災人数	114	23	26	30	97	29	319
被災世帯数	61	12	18	18	54	14	177

ら流出した溶岩及びスコリア丘の分布⁷⁾⁸⁾と良く一致している。この水はけが良いと考えられている表層地盤に、局所的に猛烈な豪雨により甚大な泥流被害が発生したものと考えられる。

今回の斜面崩壊に起因した泥流の経路は、図1.1-4中の緑色の矢印のように、大きく二つ存在する。一つは、神達地区に流れ込んだ経路であり、もう一つは堆積工に流れ込んだ北側の経路である。両方を合わせると、南北約600mの広い範囲から斜面崩壊が発生し、複数の場所から斜面崩壊が発生したことが分かる。火山灰性の地質であるため、地質の空間的な変化が少ないことを考えると、これらの斜面崩壊は比較的近い時間に発生した可能性が高いが、起点が異なるため同時に発生して一気に下流に流れたとは考えにくく、数波に分かれて下流に流下したと考えられる。泥流の発生時間と降水量との関係は5.1や5.4を参照されたい。

今回の土砂災害による被災状況を表1.1-4¹⁾に示す。このように、住家・非住家共に全壊が顕著となっており、被害の大きさを物語っている。今回の土砂災害の被災人数は合計で319人（177世帯）に達し、これらは島全体の3.8%（世帯数で3.7%）に相当している。

参考文献

- 1) 東京都大島町 HP : http://www.town.oshima.tokyo.jp/information/fukkoukeikaku_shiryu1.pdf.
- 2) 気象庁 HP : http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/route_map/bstv2013.html.
- 3) 気象庁 HP : <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/typhoon/T1326.pdf>.
- 4) 気象庁 HP : http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_201401.pdf.
- 5) 伊豆大島土砂災害対策検討委員会：伊豆大島土砂災害対策検討委員会報告書，pp.1-96，2014.
- 6) (株)パスコ・セコム(株)：2013年10月台風26号豪雨災害（東京都大島町），http://www.pasco.co.jp/disaster_info/131016/，2013.
- 7) 伊豆大島火山地質図 1：25,000，地質調査所，1998.
- 8) 伊豆大島火山土地条件図 1：25,000，国土地理院.

(二瓶泰雄，竹林洋史)

1.2 調査団の構成

このような災害を受け、まず、(公社)土木学会では、緊急災害調査団として2013年10月18日に現地調査を実施した。緊急調査団の構成は、表1.2-1のようである。調査地は、大島西部の神達地区周辺で発生した土砂災害の発生地域であり、斜面崩壊の源頭部付近と遊砂地の南の神達地区であった。

表 1.2-1 緊急調査団の構成

団長	橋本鋼太郎	土木学会会長
団員	清水義彦	群馬大学
	竹林洋史	京都大学防災研究所
	後藤聡	山梨大学
	島村誠	東京大学

この調査結果を受けて、土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団が結成された。その合同調査団は表1.2-2に示す24名のメンバーからなり、今次災害を鑑みて、水工、砂防、地盤、地質などの様々な専門性を有する構成となっている。この調査団全体による調査としては、2013年11月9、10日に行われ、斜面崩壊の源頭部から土砂堆積域の海側まで隈なく踏査すると共に、東京都大島支庁や町役場などから情報収集が行われた。

(二瓶泰雄)

表 1.2-2 四学会合同調査団の構成

団長	後藤 聡	山梨大学	(公社) 土木学会 地盤工学委員会
副団長	清水義彦	群馬大学	(公社) 土木学会 水工学委員会
団員	荒木 功平	山梨大学	(公社) 土木学会 地盤工学委員会
	稲垣 秀輝	(株)環境地質	(公社) 土木学会 地盤工学委員会
	上野 将司	応用地質(株)	(公社) 土木学会 地盤工学委員会
	千葉達朗	アジア航測(株)	(公社) 土木学会 地盤工学委員会
	鼎 信次郎	東京工業大学	(公社) 土木学会 水工学委員会
	江頭進治	ICHARM 土木研究所	(公社) 土木学会 水工学委員会
	関根正人	早稲田大学	(公社) 土木学会 水工学委員会
	竹林洋史	京都大学防災研究所	(公社) 土木学会 水工学委員会
	田中規夫	埼玉大学	(公社) 土木学会 水工学委員会
	二瓶 泰雄	東京理科大学	(公社) 土木学会 水工学委員会
	神谷 大介	琉球大学	(公社) 土木学会 土木計画学研究委員会
	畑山満則	京都大学防災研究所	(公社) 土木学会 土木計画学研究委員会
	香月 智	防衛大学校	(公社) 土木学会 関東支部
	田地 陽一	清水建設(株)	(公社) 土木学会 関東支部
	内村太郎	東京大学	(公社) 地盤工学会
	若井 明彦	群馬大学	(公社) 地盤工学会
	井口 隆	(独法) 防災科学技術研究所	(一社) 日本応用地質学会
	北田奈緒子	(一財) 地域地盤環境研究所	(一社) 日本応用地質学会
	小林 浩	朝日航洋(株)	(一社) 日本応用地質学会
	櫻井正明	(株)山地防災研究所	(公社) 日本地すべり学会 関東支部
	大丸裕武	(独法) 森林総合研究所	(公社) 日本地すべり学会 関東支部
	島村誠	東京大学	(公社) 土木学会

第2章 伊豆大島における災害史

2.1 噴火史の概略

(1) 三原山の活動史

伊豆大島火山は日本有数の活火山である。特に島の中央部に位置する三原山の活動は活発で、最近100年以内でも、1912-14年、1950-51年、1986-87年に噴火している。

三原山の溶岩噴泉は“御神火”と呼ばれるほど美しく、かつては観光の中心であった。噴火や溶岩湖を見るために、多くの人が訪れた。火口をあふれ出した溶岩流もカルデラ崖を越えることなく、カルデラ床や砂漠と呼ばれる火山性荒原に流れることがほとんどであった(図2.1-1)。三原山周辺の溶岩と表砂漠と裏砂漠の“火山砂”で覆われた植生のない景観は、国内では非常に珍しく、海外旅行気分を味わえると大人気であった。

以下に、火山地質図説明書¹⁾や、1986年噴火の推移の整理²⁾を中心に、近年の噴火の概略を紹介したい。なお、記述中の「中央堅坑火孔」は、三原山の山頂中央にあるパイプ状の孔のことである。底が見えないほど深いことや、溶岩湖が出現したこともあるもので、マグマだまりまでつながっている。また、噴火前には火口底が上昇し、噴火後は火口底が下降する傾向がある³⁾。その点に注意して整理した。

■1777年噴火

8月31日(新暦)夕方から三原山山頂火口で噴火が始まり、溶岩噴泉、スコリア噴出が起こった。1778年4月19日に三原山北西麓から溶岩流の噴出が始まり、北東に流下した。北側山腹には、パホイホイ溶岩の溶岩丘を作っている。このあとしばらく活動は穏やかになったが、11月6日に激しい地震、鳴動を伴って、再び三原山南西側へ溶岩流が流出し、カルデラ南西壁を越えて、現在の都道近くまで達した。三原山南側には割れ目火口が認められた。11月14-15日には北東方向へ溶岩流が流下し、大島公園付近で海に達した。12月中旬にもやや激しい活動があった。その後1783-86年、1789年頃にしばしば降灰があり、1792年に一連の噴火活動が終息した。最終的な降灰は1.2-1.5mの厚さに達した。

なお、1986年噴火で生じたB2火口の内部の観察から、この噴火で、現在の三原山の地形が完成し、表砂漠・裏砂漠にサージ堆積物としての砂が堆積したものと考えられる。

■1912-14年噴火

1912年2月23日夜から三原山火口内で溶岩噴出が始まり、6月1日には火口内の溶岩の厚さは約35mになった。火口の周囲にはスコリア丘が形成され、高さ約100mまで成長した。その後6月10日頃から活動が弱まった。1912年9月16日に再び活発化、10月30日まで、新スコリア丘を形成し、火口底に溶岩を流出させた、1913年5月に堅坑状火孔が再形成され、新スコリア丘の南東側が崩



図2.1-1 三原山とカルデラ床に広がる溶岩流(御神火茶屋より、上：渡辺昇一郎撮影、下：千葉達朗撮影)

壊した。1914年5月15日から爆発的な噴火活動が始まり、火山弾を周辺に放出した。三原山火口内の溶岩は、火口縁まであと14mのところまで上昇したが、5月26日の爆発を最後に収まり、火口底は下降した。

■1950-51年噴火

1950年7月16日午前9時、堅坑火口内から噴火が始まった。スコリア丘を形成しながら溶岩を流出、9月13日には堅坑状火口と三原山火口を埋め尽くして、三原山山腹へ溢れ出した。噴火は9月23日に終息、溶岩流も24日に停止した(図2.1-2)。

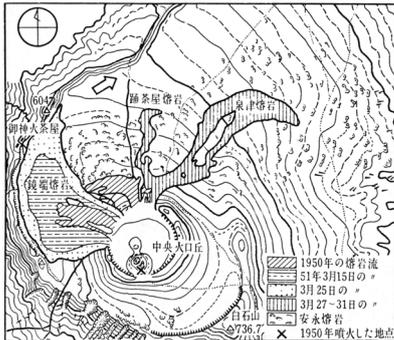


図2.1-2 1950-51年噴火の溶岩分布
岩波写真文庫「伊豆大島」1955による

1951年2月4日に再び溶岩片の放出が開始され、2月13日には溶岩流の流出が始まった。2月28日以降、三原山火口縁を越えてカルデラ床へ流下し、4月初めまでに溶岩の流下は終了した。その後、火口底の低下に伴い1951年4月から6月にかけて爆発的な活動が断続的にあった。6月27日の大きな爆発を最後に、三原山中央に堅坑状火口が出現した。火口縁から火口底は見えないほど深いものであった。

この噴火によって、三原山と御神火茶屋の間にあった表砂漠は昭和溶岩によって埋め立てられた。この溶岩の高さは、外輪山の高さぎりぎりに迫ったが、あふれ出すことはなかった。

■1986-87年噴火



図2.1-3 1986年伊豆大島噴火の溶岩噴泉“御神火”
1986年11月17日 山頂火口展望台にて千葉達朗撮影

1986年7月、12年ぶりに火山性微動が観測され、10月29日から連続微動となった。11月12日には、堅坑状火口壁から噴気が上がっているのが目撃された。

11月15日17時25分、堅坑状火口南壁で噴火が始まった。

連続的に高さ200-300mの火柱を噴上げる溶岩噴泉の活動が続いた。17日までには、A火口として明確となりストロンボリ式噴火となった(図2.1-3)。

A火口から噴き上げられたマグマのしぶきは、堅坑状火口を埋め立て、19日10時から23時に、三原山の展望台付近の火口縁を越え、溶岩流となってカルデラ床まで流れ下った(LA溶岩流, 図2.1-2下)。

この間、マグマの粘性は日に日に増加、爆発時に空振を伴う、火山弾を2km飛ばすような噴火に移行し、爆発の間隔も長くなっていった(図2.1-4)。



図2.1-4 巨大な泡噴火 11月18日宮原撮影

11月21日になると、A火口での噴火がさらに間欠的となり爆発力も強くなってきた。15時過ぎ、A火口での爆発的噴火が途絶えた。ほぼ同じタイミングで、三原山北斜面で地割れを発見した(図2.1-5)。



図2.1-5 三原山北斜面に、割れ目噴火開始の直前に生じた地割れ(15時30分 千葉達朗撮影) 図2.1-7の地点1.火山灰とその下の溶岩を切っている



図2.1-6 1986年噴火11月21日割れ目噴火開始の瞬間
16時15分 日本大学調査チーム宮地直道撮影

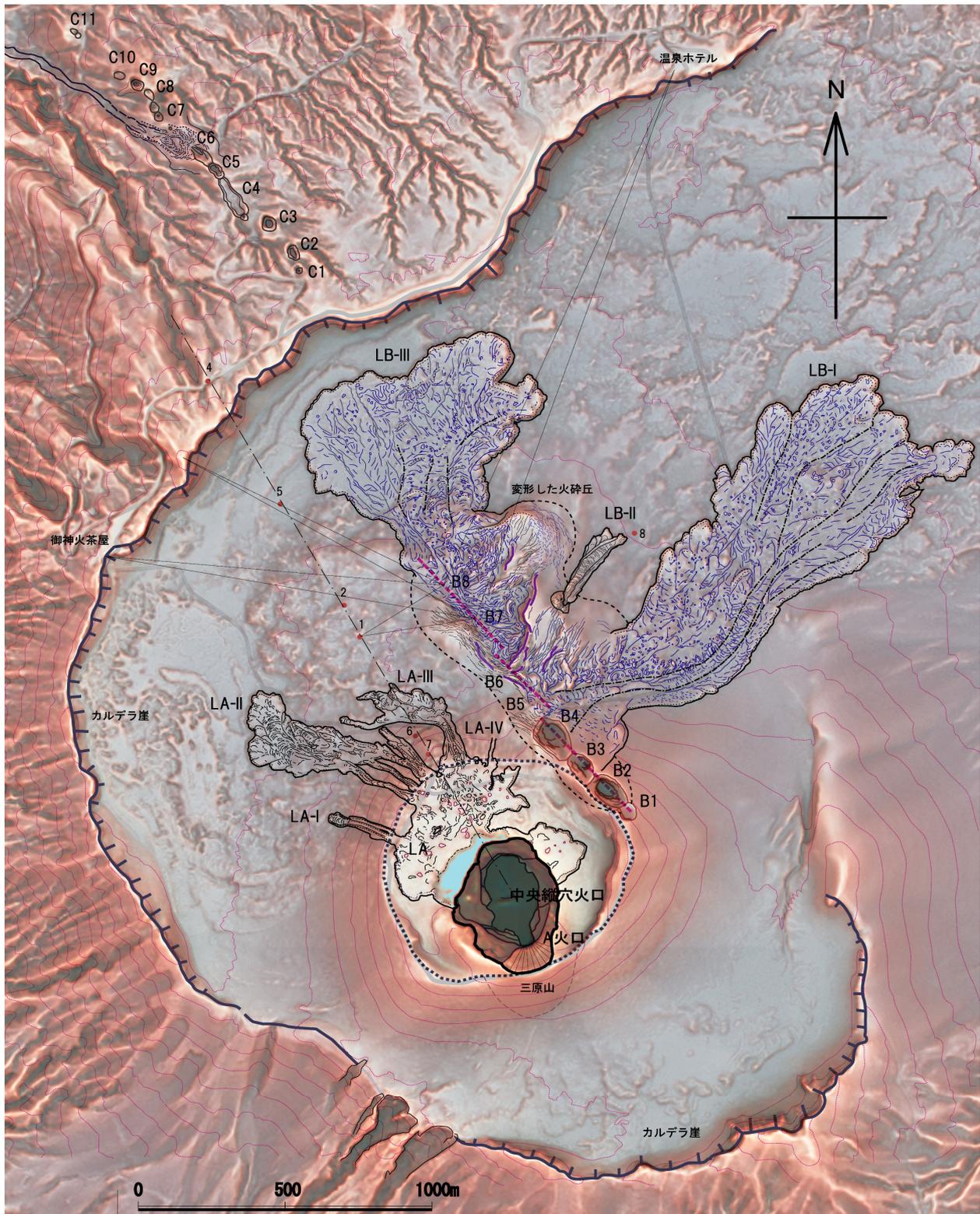


図 2.1-7 1986 年噴火の火口と溶岩分布 千葉 (2006) ⁴⁾ に一部加筆

背景図は国土地理院による基盤地図 5mDEM (レーザ計測はH24年) から作成した赤色立体地図
 カルデラの内部、中央に三原山が位置する。三原山のさらに中央にある縦穴火口の南縁から噴火が始まり、やがてA火口となった。11月21日に始まった割れ目噴火の火口はB1～B8火口までである。噴火直前に見つかった地割れは、4, 5, 2, 1, 6, 7で確認した。いずれも、三原山中央火口を通る直線にのる。カルデラ外に生じたC火口列は、登山自動車道を横断破壊した。C6火口から流れた溶岩流が長沢を經由して元町に向かった。カルデラ縁の御神茶屋は完全に孤立したため、温泉ホテルとを結ぶ崖沿いの道と元町と結ぶ御神火スライインが建設された。

その直後の、16時15分、三原山北西のカルデラ床で、北西－南東方向の割れ目噴火が始まった (図2.1-6)。

まもなく、B3-B6火口からも溶岩が流出した（LBI, LBIII溶岩流）。

赤い飛沫は火口から1500mまで吹き上がり、噴煙柱は高度16,000mに達し、風によって東に流されスコリア・火山灰が島の東部に降下堆積した。17時45分にカルデラ外の北西斜面で新たな割れ目噴火が始まり（C火口列）（図2.1-8），18時頃にはC6火口から溶岩が流下し始めた。溶岩流は長沢沿いに元町に向い、火葬場から70mの地点で停止した（LC溶岩流）。

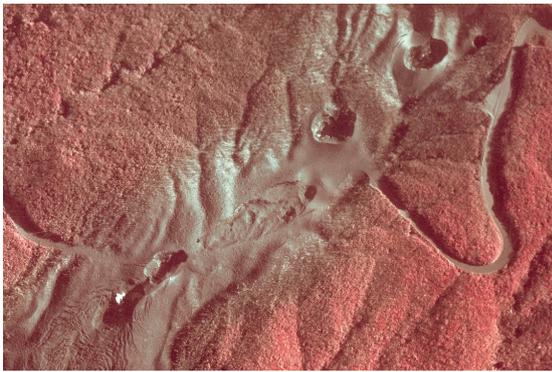


図2.1-8 登山道沿いに生じたC火口列
アジア航測撮影 赤外カラー

22日未明にかけてA火口，C火口列での噴火はおさまり，B火口の細粒火山灰を放出する噴火が23日午前まで続いた（図2.1-9）。23日午後，B火口列の北東側の亀裂から2次溶岩流（LB-II）が流出，300m流下して停止した。

島の北西部には21日から，南東部には22日から活発な地震活動が始まった。21日の夜以降，主に島の北西部と南東部で多数の亀裂やずれを伴う断層が確認された。方向は，北西－南東で割れ目火口と共通していた。

16時15分の割れ目噴火とその後のカルデラ外での噴火は，予想外だった。また，カルデラ外の火口から流れ出した溶岩流が，島内最大の集落元町に向かったこともあり，その晩のうちに全島民の島外避難が行われた。その日は，風も弱く海上が穏やかであったのは幸運であった。その後，12月18日にA火口で小規模な活動があったのを最後に，鎮静化した。

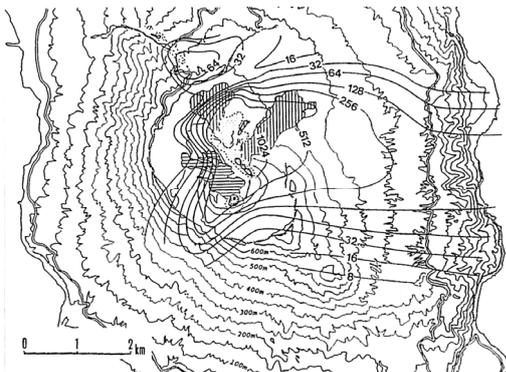


図2.1-9 1986年噴火の降下火砕物層等層厚線図（単位mm）²⁾

1986年の噴火開始からちょうど1年目の，1987年11月15日から11月17日にかけて，三原山の山頂にあった火口湖の底が抜けて陥没，マグマが地下のマグマだまりまで戻るといった現象があった。三原山の山頂には中央堅穴火口が再び現れた。この陥没は，爆発を伴い，火口湖の蓋の破片やマグマの一部を火山弾として周辺に吹き飛ばした。火口底は，その後も段階的に深くなったものの，やがて火口の壁が崩壊を繰り返すようになり，徐々に浅くなっていった。

(2) 三原山以外での噴火

伊豆大島では三原山以外の地点で山腹割れ目噴火も多く発生している。火口分布図を図2.1-10に示す。

元町周辺では14世紀に割れ目噴火があり，火口から流れ出した溶岩が元町付近に到達している。

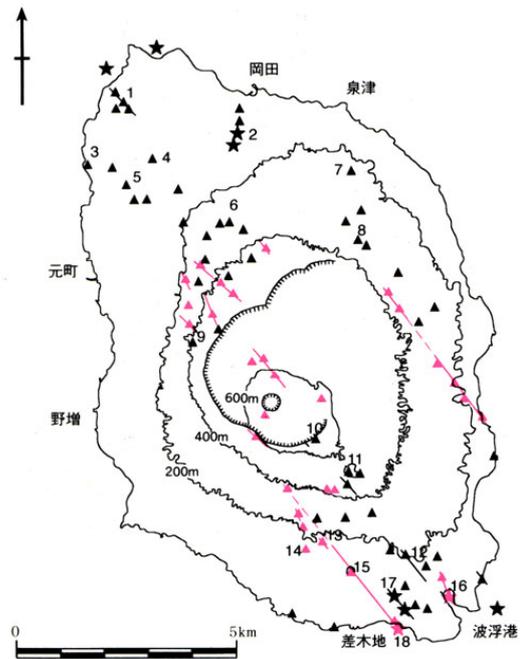


図2.1-10 伊豆大島の火口分布図¹⁾

赤三角と赤線はカルデラ形成後の側火山と割れ目火口
黒三角と黒線はカルデラ形成前の側火山と割れ目火口

参考文献

- 1) 川辺禎久：伊豆大島火山地質図，産総研，1998。
- 2) 遠藤邦彦・千葉達朗・谷口英嗣・隅田まり・太刀川茂樹・宮原智哉・宇野リベカ・宮地直道：テフクロロジーの手法に基づく1986～1987年伊豆大島噴火の経緯と噴出物の特徴。火山，33，S32-51，1988
- 3) 木村政昭：噴火の規則性－伊豆大島・三宅島－，火山，33，S319-329，1988
- 4) 千葉達朗：伊豆大島1986年噴火LB溶岩－火砕成溶岩の形成プ

ロセス, 月刊地球, 28-4, 263-273, 2006.

(千葉達朗)

2.2 過去の土砂災害

(1) 記録に残る台風災害

平成25年台風26号では、大島町の中心地である元町地区において、大規模な土砂災害が発生した。ここでは、文献調査等により過去の災害歴を調査したので報告する。なお、元町地区は、昭和40年1月の大火により、町役場、図書館、大島支庁などが焼失したために、多くの資料が失われており、出版物を主体として文献調査を行った。

土砂災害は、火山噴火によるものを除くと、豪雨、地震等を誘因として発生するが、元町地区における顕著な土砂災害は、昭和33年の狩野川台風など、台風による豪雨により発生している。過去の主な台風災害は、表2.2-1のとおりである²⁾。なお、元町地区は、古くは新嶋村と呼ばれていたが、明治41年に元村と改称し、昭和30年には、大島の6村が合併して大島町となっている。

また、地震による土砂災害は、関東大震災時に岡田地区で崖崩れにより死者が出ているが、元町地区では顕著な被害は見られなかった²⁾。

表2.2-1 伊豆大島における主な台風災害¹⁾

西暦(和暦)	災害の概要
1856/9/23 (安政3年8月25日)	新嶋村にて、家屋流出6軒、倒壊破損は村内の8~9分、漁船流出2隻、破損19隻、作物も7分程度の被害を受けた。岡田村も同様であったが、他の村に関しては不明である。
1932/11/14 (昭和7年11月14日)	伊豆大島にて、全壊149戸(元村42戸)、半壊187戸(元村70戸)、破損1052戸(元村350戸)の被害をだす。野増で崖崩れにより1名死亡。栗林商船の雲海丸(2000トン)岡田燈台下で座礁し乗組員24名死亡。
1958/9/26 (昭和33年9月26日)	狩野川台風。長沢に山津波が発生し、元町で全壊55戸、半壊49戸、死者行方不明者2人、重軽傷53名の被害をだす。

注) 新嶋村(明治41年改称)及び元村(昭和30年合併)は元町地区の旧称である。

(2) 安政3年8月25日の暴風雨

暴風雨により、伊豆大島に被害が発生し、新嶋村(現元町地区)では、詳細は不明であるが、家屋の流失6軒、村内の8~9割が倒壊破損したとされる²⁾。なお、同日、江戸においても大きな被害が発生している³⁾。

(3) 昭和7年11月14日の台風

伊豆半島に接近した強い台風によって、東海地方から東北地方にかけて暴風雨に見舞われ、全国で死者・行方不明者257名を出した³⁾。伊豆大島でも、被災形態は明瞭ではないが、元村(現元町地区)を始めとして全島で被害が発生している(表2.2-2)。

表2.2-2 昭和7年の台風による家屋被害²⁾

区分	全壊	半壊	破損
元村	42	70	350
岡田	47	53	198
泉津	2	15	27
野増	4	5	166
差木地	49	24	196
波浮港	5	20	115
計	149	187	1052

(4) 昭和33年の狩野川台風

昭和33年9月26~27日、狩野川が氾濫した伊豆半島を中心に全国で死者・行方不明者1269名の被害が発生した³⁾。伊豆大島でも、表2.2-3に示す被害が発生したが、ほとんどが山津波(土石流)による元村(現元町地区)の被害とされる²⁾。聞き取り調査によると、元町地区では、長沢、大金沢で土砂移動があり、長沢では、土石流により住宅地が被災し、死者・行方不明者2名の被害が生じた。大島アメダス(気象庁)の記録によると、平成25年台風26号による豪雨は、狩野川台風の豪雨を上回る規模である(表2.2-4、図2.2-1、2)。

表2.2-3 狩野川台風による被害²⁾

区分	被害の内容			
人的被害	死者 1名	行方不明者 1名	重傷 2名	軽傷 9名
家屋被害	全壊 24世帯	流失 5世帯	半壊 22世帯	床上浸水 15世帯 床下浸水 102世帯

表2.2-4 降水量の比較(大島アメダス)

区分	降水量(mm)		
	2日間		1時間最大
狩野川台風	1958年9月25-26日	455.8	87.5
平成25年台風26号	2013年10月15-16日	824.0	118.5

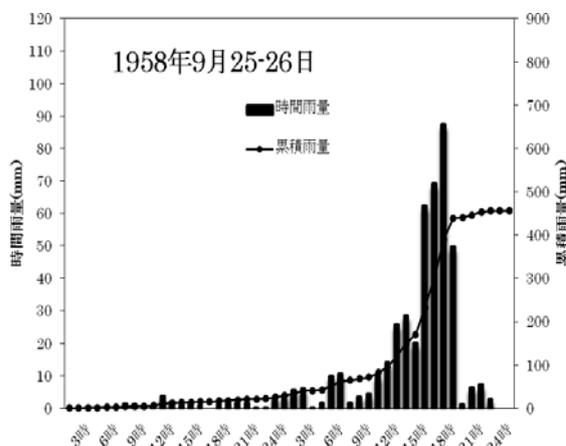


図2.2-1 狩野川台風時の降水量の変化

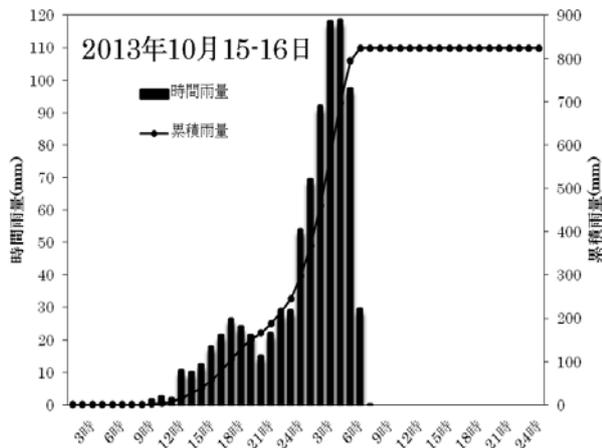


図2. 2-2 平成25年台風26号時の降水量の変化

(5) 「びやく」による集団移転の伝承

郷土史研究家が昭和36年に出版した「伊豆大島志考」によると、元町地区は、もとは作川（八重南沢）下流の下高洞にあったが、文禄（1592～1596年）の頃、「びやく」（山津波）に押されて埋没し、現在の地（元町地区中心部）に集団移転したものと伝えられている⁵⁾。柳田國男の方言集によると、「ビヤク」は「崖の斜面、崖」の意味であり、「ビヤクガオス」と使うと「山ずりして土砂が押出す」ことをさしている⁶⁾。

これに対して、昭和11年に出版された「伊豆大島図誌」によると、噴火のため現在の位置に転じたと伝えられているとされている⁷⁾。明治末期に出版された「伊豆七島図会」では、「貞享海嘯の難より」と1684～1687年頃の津波によるものとしている⁸⁾。ちなみに、天和4年（1684年）には、新嶋村（現元町地区）で津波の被害が記録されている²⁾。また、「伊豆大島志考」でも、集団移

転に関して「びやくの押しした事実を証するものは見当たらない」としている⁹⁾。現時点では、集団移転のきっかけとなった土石流災害があったかどうかは明確ではない。

なお、八重南沢(作川)周辺には、南側に縄文時代から古墳時代の遺跡が所在している下高洞遺跡、北側に古墳時代から奈良時代にかけての神田屋敷遺跡がある⁹⁾。

(6) まとめ

記録に残る主な台風災害は、30～80年間隔で発生している。大島町が侵食を受けやすい火山体であること考慮すると、激しい豪雨にさらされた場合は、大規模な土砂移動が発生しやすく、災害を受ける危険性が高いといえる。

参考文献

- 1) 櫻井正明：2013年台風26号による伊豆大島の斜面災害（速報），日本地すべり学会誌，Vol.51，No.1，pp.25-28 2014.
- 2) 伊豆諸島東京移管百年史編さん委員会：伊豆諸島東京移管百年史下巻，東京都島嶼町村会，pp.141-146,1981.
- 3) 力武常次，竹田厚：日本の自然災害，p.111,p.164,p.211，日本専門図書出版，2004.
- 4) 大島町史編さん委員会：東京都大島町史通史編，東京都大島町，pp.765-766,2000.
- 5) 立木猛治：伊豆大島志考，伊豆大島志考刊行会，p.59,pp.551-560,1961.
- 6) 柳田國男：伊豆大島方言集，中央公論社，p.25,1942.
- 7) 山口貞夫：伊豆大島圖誌，地人社，p.105,1936.
- 8) 風俗画報編集部：風俗画報臨時増刊 253号伊豆七島図会，東洋堂，p.10,1902.
- 9) 大島町史編さん委員会：東京都大島町史考古編，東京都大島町，pp.284-292,1998.

(櫻井正明)

第3章 伊豆大島の自然環境

3.1 地形

(1) 全体の地形

伊豆大島は、長径約15km、短径約9kmの火山島で、北北西-南南東方向に伸びた形をしている。伊豆大島は日本海溝と並行する伊豆-マリアナ火山列のなかで、最も北に位置する火山島でもある。島内最高点である三原山山頂の標高は764mであるが、西側の海底部分まで含めると1,000m程度の高さになる(図3.1-1)。東側の相模トラフの水深は2000m程度なので、東側からみると、3000m近い比高となる¹⁾。

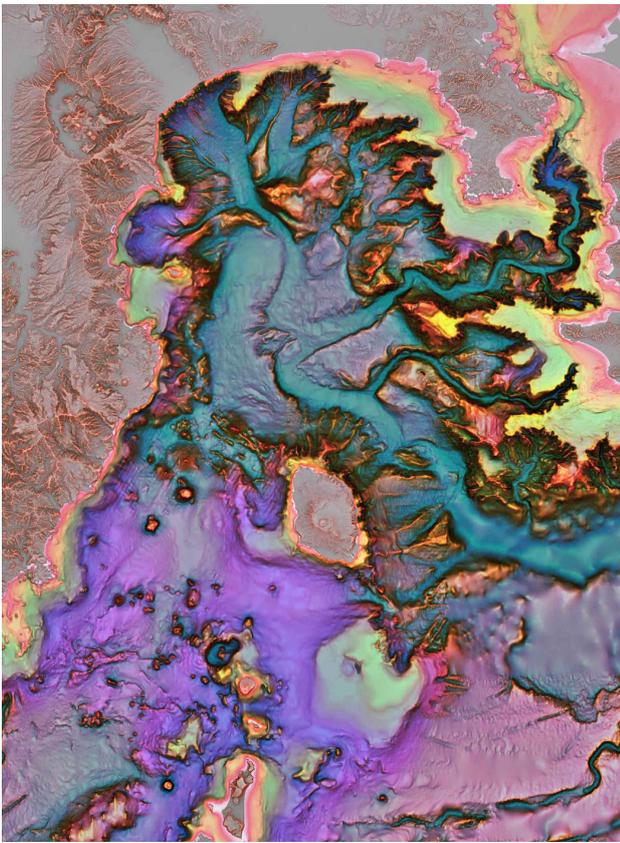


図3.1-1 伊豆大島付近の海底地形 海保公開資料Mから作成
東側に相模トラフがあり、大島の東側の水深は2000m
伊豆半島と伊豆大島の間には東伊豆海底火山群がある

伊豆大島の全体の赤色立体地図を図3.1-2に示す。大島の北部から東部にかけての相模トラフに面する方向には、高い海食崖が発達している。山頂部には径4kmほどのカルデラがある。カルデラ崖は北側と西側および南東側は明瞭であるが、東側は溶岩や火山灰で埋められてはっきりしない。カルデラ内の中央やや南寄りには中央火口丘である三原山がある。山頂の火口径は約800m(これを内輪山とよぶことがある)、さらにその中央には直径約300mの竪坑状火口がある。なお、カルデラ崖の形状か

ら、東西に二つのカルデラが並んでいると考えられるが、東側は不明瞭である。

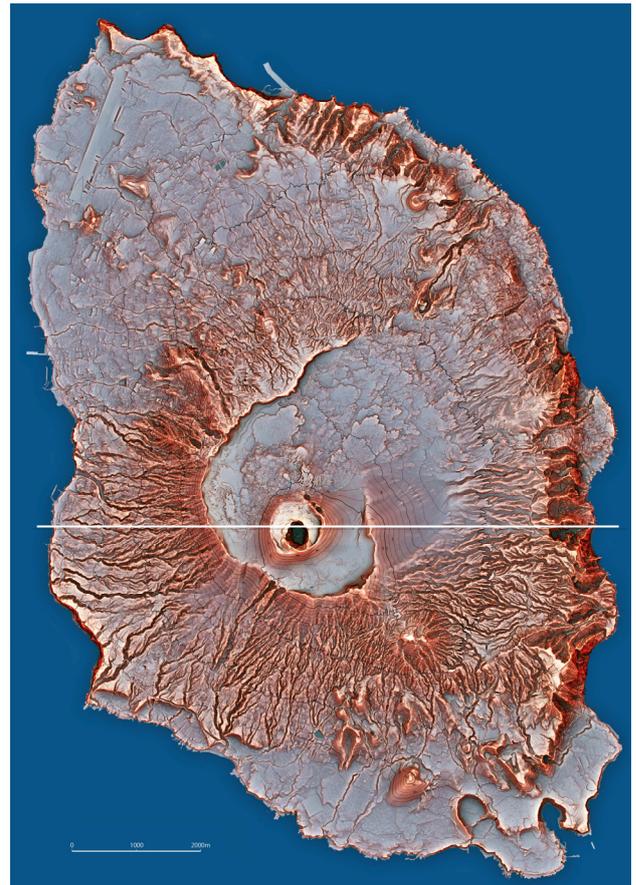


図3.1-2 伊豆大島全体赤色立体地図
(図3.1-3の東西断面の位置を白線で示す)

また、図3.1-3には東西断面を示した。カルデラの外側、外輪山の傾斜をみると、西側が急であるのに対し、東側が緩いことがわかる。また、カルデラの内側はほとんど埋めたてられていること。三原山の中央竪穴火口底の高度が著しく低いこともわかる。

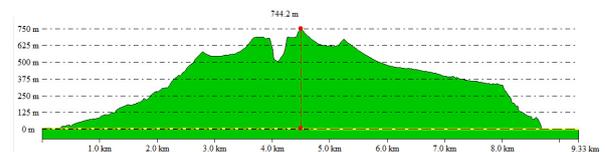


図3.1-3 伊豆大島東西断面図

断面図上での最高点は、三原山剣ヶ峰付近で標高約750mである

伊豆大島島内には多数の割れ目火口や側火山が知られている。いずれも北西-南東方向に伸びる傾向がある。この方向は、相模トラフの伸びの方向とほぼ並行であり、伊豆大島に加わっている、近くの応力、すなわちフィリピン海プレートが押している方向を示していると言われている²⁾。1986年噴火の際に生じた、B火口列やC火口列の方向も例外ではなく、北西-南東方向に伸びている。

後述するY5火口の伸びも同様に北西—南東方向である。

(2) 元町周辺の地形と土砂移動範囲

2013年10月の台風災害は、元町の東側にある外輪山斜面で発生した。この付近には、14世紀の噴火による（Y5の時代）の火砕丘や割れ目火口が、北西方向に張り出すように伸びており、その西側斜面に表層崩壊が集中した、周辺の外輪山と違って、新しい噴出物で覆われているため、谷が浅い急斜面となっていた。図3.1-4に、元町付近の赤色立体地図鳥瞰図を示す。また、図3.1-5に、写真判読などによって作成した。土砂移動分布図を示す、図3.1-6に傾斜区分図を示す。

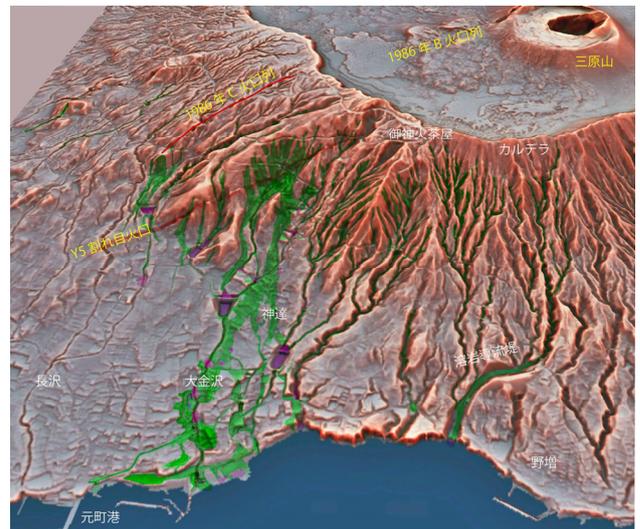


図3.1-5 2013伊豆大島災害判読図³⁾

この図は、発生後の斜め写真とレーザー計測による1mDEMの赤色立体地図および地形変化量図を総合的に判断して作成した平面図を、図3.1-4の鳥瞰図に重ねて表示したものである³⁾。緑色の部分が、表層崩壊発生域および土砂移動域であり、必ずしも土砂の堆積域を示す物ではない。なお、赤紫色の部分は、流木が特に集積した部分で、砂防ダムと重なっているところが多い。この図から外輪山斜面で発生した崩壊土砂の、移動経路と地形の関係が把握できる。谷地形がよく発達している場合は、最上流部で表層崩壊が発生しているにもかかわらず、下流域で土砂氾濫がほとんど起きていないことがわかる。

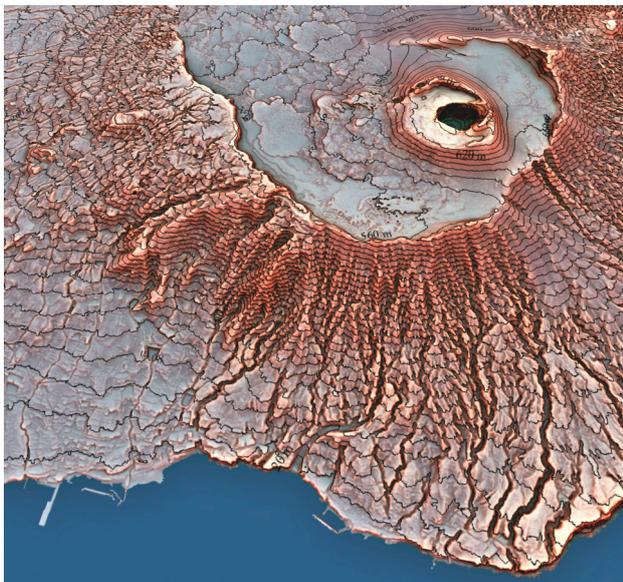


図3.1-4 伊豆大島西部赤色立体鳥瞰図

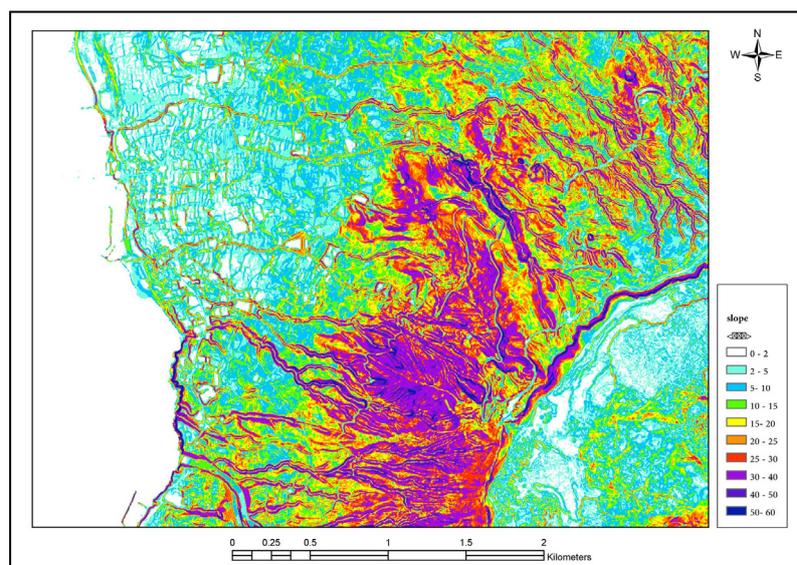


図3.1-6 元町周辺の傾斜区分図（国土地理院の基盤地図情報5mメッシュの標高を使用した中央部や右下がりの白い直線状の部分が、Y5の火口列。その線を境に東側が急で西側がやや緩斜面となっている。火口より低い西側に溶岩が流出しているため）

判読に使用した、斜め写真や赤色立体地図鳥瞰図、地形変化量鳥瞰図を示す（図3. 1-7, 8, 9）



図3. 1-7 斜め写真 2013年10月17日アジア航測撮影

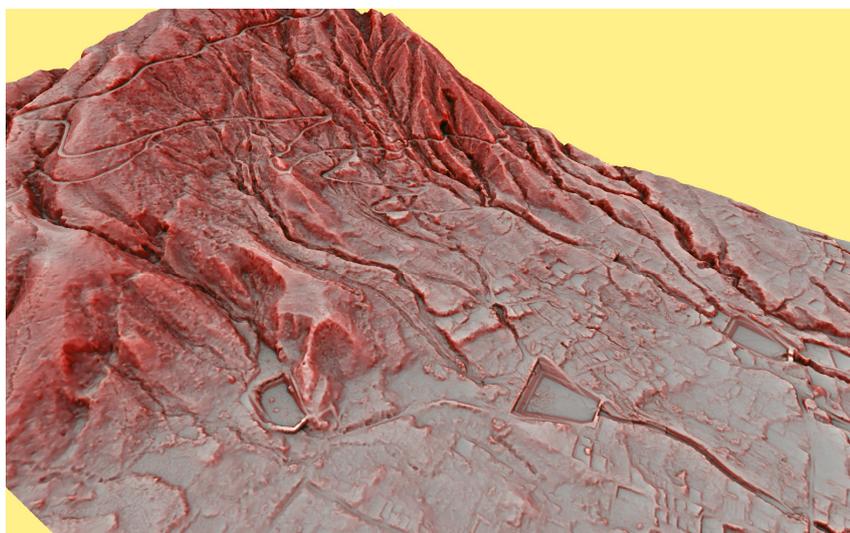


図3. 1-8 発生後のレーザ計測によるDEM赤色立体地図鳥瞰図 H25年東京都計測

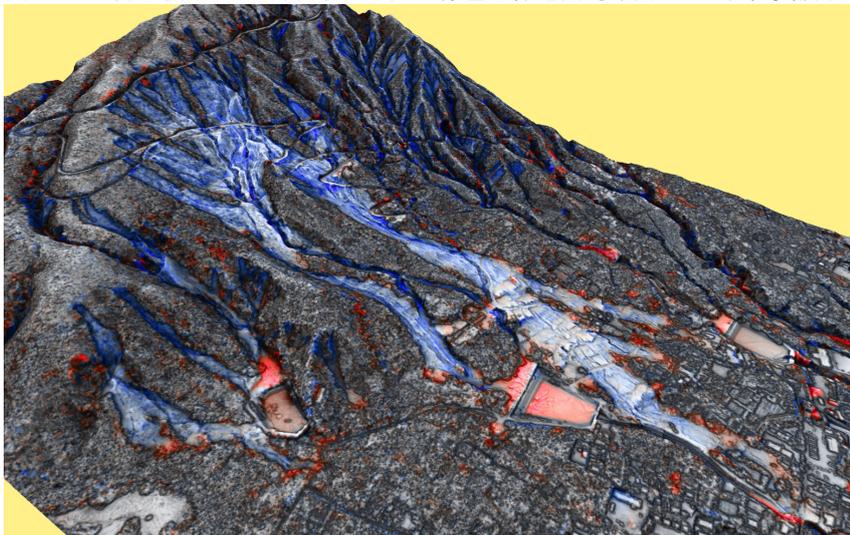


図3. 1-9 発生後のレーザ計測によるDSM灰色立体地図に1mDEMの差分値を重ねた鳥瞰図
差分値=H24からH25への地形変化量（赤：増加，青：減少）H24年は国土地理院による計測

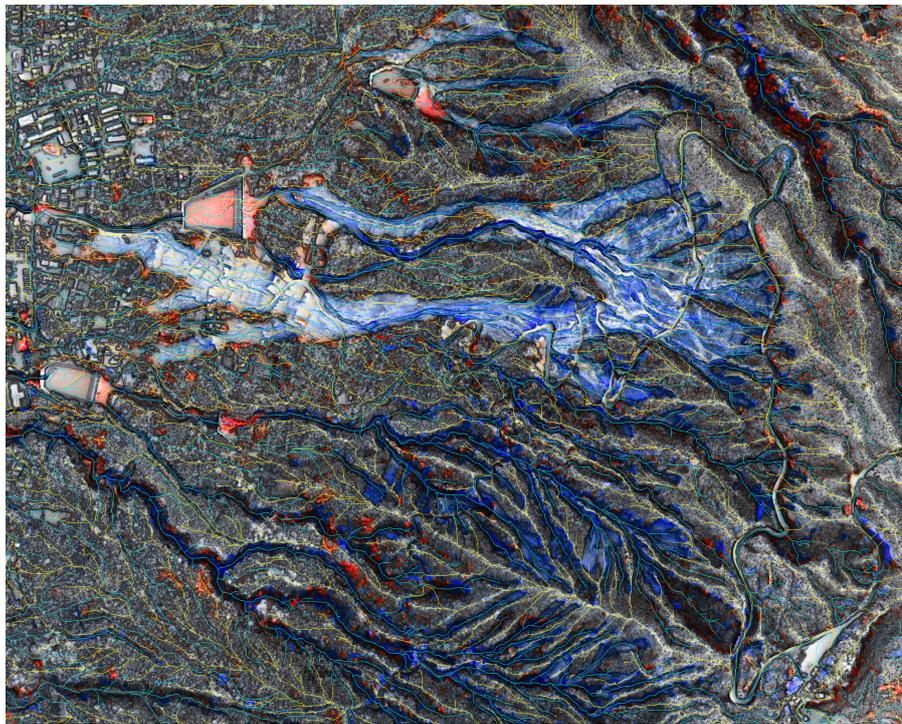


図3.1-10 1mDEM地形変化量平面分布図（赤：増加，青：減少）発生後のDSMの灰色立体地図に重ねて表示
水色は発生後1mDEM水系追跡結果，黄色：発生後1mDEM尾根抽出結果 H24年は国土地理院による計測

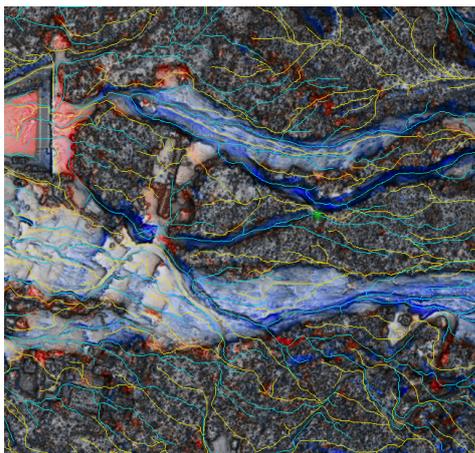


図3.1-11 下流部分拡大

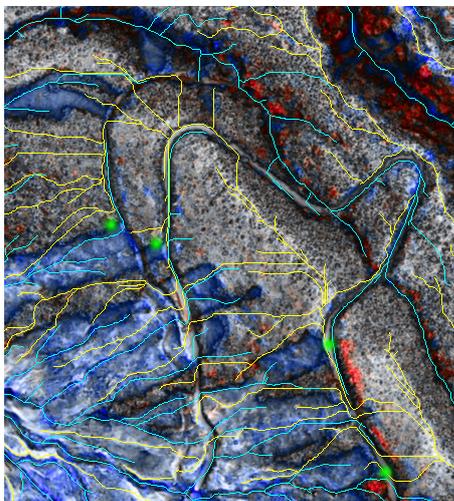


図3.1-12 御神火スカイライン付近

(3) 微地形検討

災害発生後のレーザ計測による1mメッシュ（東京都）をもとに、水系追跡および尾根抽出を行った。その結果、御神火スカイラインのヘピンカーブ付近で道路上を水が流れ、崩壊地に至る経路が認められた。図3.1-12の緑色の点は、現地調査において、道路上の表流水が下側斜面に流出している状況が確認されたポイントを示す。両者は一致していることが多かった。

また、図3.1-11においては、河川争奪を検証した。尾根の崩壊や新しい谷の形成のような、地形改変というような、大きな地形変化は起きていないことが読み取れる。地形変化量マイナス値の比較的大きい部分は、従来からの溪床内に限られる。おそらく、溪床内の土砂の移動や溪岸崩壊と考えられる。この付近で起きた、土砂災害は、地形を大きく改変しない、越流的な現象であることが確認できた。

参考文献

- 1) 加藤茂：相模湾の海底地形と地質構造，第四紀研究，38，469-477，1999.
- 2) 中村一明：広域応力場を反映した火山体の構造—側火山の配列方向—。火山，第2集，14，8-20，1969.
- 3) 千葉達朗・織田和夫：斜め空中写真と赤色立体地図から読み取る災害状況，小特集「平成25年台風26号による伊豆大島の災害」，写真測量学会誌，53(1)，4-20，2014.

(千葉達朗・上野将司・竹林洋史)

3.2 地質

(1) 全体の地質

伊豆大島の地質図を図3.2-1に示す。島の北海岸から東海岸にかけて、岡田火山、行者窟火山、筆島火山が分布している。これらの火山の活動年代はわかっていないが、第三紀鮮新世末から更新世と考えられている。伊豆大島火山はカルデラ形成前の先カルデラ火山と、カルデラ形成後の火山に区分できる。先カルデラ火山は約3-4万年から始まる活動で形成された。先カルデラ火山古期山体（泉津層群）は島の北・東部海食崖に主に露出するほか、南西部の海食崖にも一部露出している。



図3.2-1 伊豆大島火山地質図¹⁾

先カルデラ火山の新期山体（古期大島層群）の活動は約2万年前から始まる。主に降下スコリア堆積物、と黄褐色の風化火山灰の互層からなる。島の南西部の都道沿いの「地層大切断面」（図3.2-2）では新期山体を構成する約100の部層を見ることができる²⁾。



図3.2-2 古期大島層群の露出する地層大切断面

伊豆大島火山のカルデラ地形は複数のカルデラの重なりが認められる。最後のカルデラは約1,300-

1,500年前に起こった山頂部での爆発的噴火で形成された。この噴火では島のほぼ全域に火砕流を流下させている。

新期大島層群は、全体的に灰色ないしは黒色を呈する。降下火砕物と風化火山灰層（レス）の互層である。中村は、これらの地層について、火山噴火の周期性に着目し、スコリアから始まるマグマ噴火と、火山砂堆積、風化火山灰の堆積を1ユニットとして命名した³⁾。したがってY5というユニットには、最上部の黄土色のレスを含むことになる。

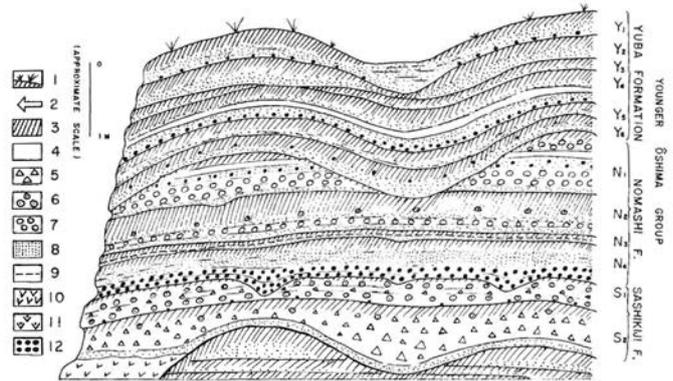


Fig. 5-3. An idealized sketch of a road-side exposure on the mid-slope of Oshima volcano (Nakamura, 1964).
1, present ground surface. 2, excavated horizon of pottery remains. 3, weathered ash or soil. 4, fine volcanic ash. 5, tuff breccia. 6, accretionary lapilli tuff. 7, rounded lithic lapilli. 8, coarse volcanic ash. 9, rhyolite ash in the N₃. 10, lava-flow. 11, agglutinated dribble. 12, scoria-fall.

図3.2-3 新期大島層群 中村一明による模式柱状図³⁾

小山・早川⁴⁾は、この地層命名基準は、国内外のほかの火山とは異なると指摘した。その上で、地層ユニット名から、噴火休止期の堆積物を除外し、降下火砕物のみについてY5.0などの名称をあたえ。また上位の降下火砕物との間の風化火山灰層は、層厚の変化傾向から、伊豆大島起源ではなく、遠方から飛来した「レス」であることを明らかにした。露頭写真を示す(図3.2-4)。



図3.2-4 新期大島層群の代表的な露出状況
オレンジ色の部分が風化火山灰（レス）

(2) 元町周辺の地質

2013年10月の台風災害は、元町の東側にある外輪山斜面で発生した。調査団では、発生域から堆積域にかけての現地調査を行った(図3.2-5)。この付近には、Y5.2の時期の割れ目火口と火砕丘、溶岩流(元町溶岩流)が分布する。

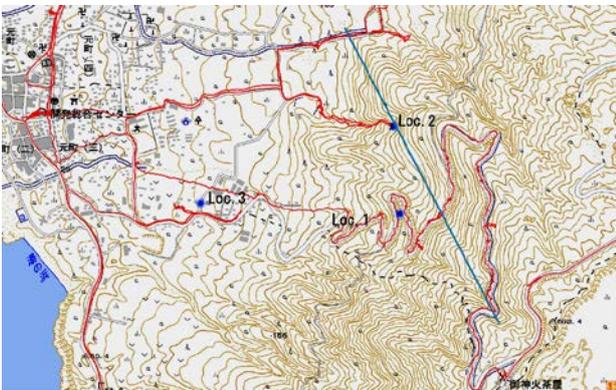


図3.2-5 踏査ルートと写真位置図 青線がY5火口、赤線が踏査ルート、青○が写真位置

Y5の火口列は、レーザ計測により推定されていた位置で、割れ目火口を示す、露頭を確認できた(図3.2-6)。



図3.2-6 Y5の割れ目火口の露頭 Loc.2
山側に傾斜する火山弾集積層がみられる

2013年の災害で生じた道路の法面の崩壊地では、新期大島層群のY1とY4降下火山灰中にパイピングが認められる、崩壊発生の要因と考えられる(図3.2-7)。



図3.2-7 崩壊と関連するパイピングの露頭 Loc.1

土砂が氾濫堆積する過程で、各所でガリーが形成され、ガリーの崖には、過去の土石流堆積物があらわれた(図3.2-8)。



図3.2-8 元町溶岩流を覆う新期大島層群の内部には、土石流堆積物をはさまれている Loc.3 鈴木撮影

(3) 表層崩壊の地質的背景

表層崩壊の直接のきっかけとなったのは、透水性の高い火山砂層とその直下の透水性の低い黄土色のレスの組み合わせであった。この組み合わせは、崩壊発生地点で広く確認できた。図3.2-8に、層準を赤矢印で示した。

表層崩壊を起こしやすいのは、2つの性質をもった地層の組み合わせであることが注目される。

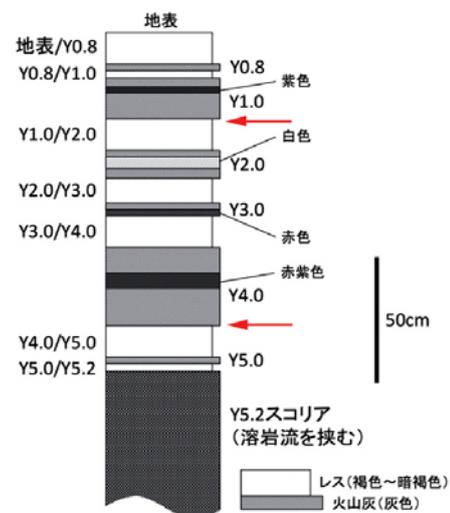


図3.2-8 元町周辺の降下火山灰柱状図と表層崩壊層準
柱状図は小山・鈴木⁵⁾による
赤矢印がパイピングおよび表層崩壊の多い層準

参考文献

- 1) 川辺禎久：伊豆大島火山地質図，地質調査所，1998.
- 2) 上杉陽・新川和範・木越邦彦：伊豆大島火山千波崎の地層切断面露頭群のテフラ標準柱状図一，第四紀研究，33，165-187，1994.
- 3) 中村一明：広域応力場を反映した火山体の構造一側火山の配列方向一，火山，第2集，14，8-20，1969.
- 4) 小山真人・早川由紀夫：伊豆大島火山カルデラ形成以降の噴火史，地学雑誌，105，133-162，1996.
- 5) 小山真人・鈴木雄介：伊豆大島噴火史からみた2013

年火山泥流災害, 地理, 59, 5, 34-41, 2014.

(千葉達朗)

3.3 地下水

伊豆大島の水系は地形の項で示したように、外輪山に多数のガリー状の浅い谷が放射状に発達する。これらの大半は降雨時以外に流水のない水無川である（写真3.3-1, 3.3-2, 3.3-3）。外輪山を構成する地質を透水性の面からみると、透水層としてスコリア層、溶岩流のクリンカー部、未固結の火山砂があり、相対的に透水性の小さな層としては溶岩層、固結した火山灰層、未固結のレス層がある。これらの透水性の異なる地質がサンドイッチ状に海に向かって傾斜して分布するため、雨水は地表を流下する表流水と、浸透して透水層を流下する地下水になる。

地下水は、今回の斜面崩壊に関係する斜面表層の浅い部分に一時的に形成される浅層地下水と、深部に浸透して安定した地下水流になる深層地下水がある。深層地下水は透水層の中を海に向かって流れるが、海蝕崖などの崖では湧水となって地表にあらわれる。島の東部の海蝕崖ではフノウの滝をはじめいくつかの湧水箇所がある。大島の水道水源は、これらの湧水や井戸からの取水によっており¹⁾、谷の表流水がほとんどないことを物語っ

ている。谷の流れは降雨時の表流水と降雨直後の浅層地下水の流出で短期間涵養され、海岸付近の下流部では深層地下水の流出で微量であるが比較的長期間涵養されるものと思われる。

一方、浅層地下水は未固結で相対的に透水性の小さなレスと透水性の良い火山砂の互層に浸透する雨水によって短期間形成される。これらの未固結層は、地層の広がりはあるが連続性に乏しいこと、層厚が1m以下と薄いこと、比較的急な傾斜であることから、降雨後しばらくすると不飽和状態になる。表層崩壊箇所ではレス層上面の透水性の良い火山砂の部分でパイピングホールが認められるので、透水層の火山砂には降雨時に浅層地下水が形成されることがわかる（写真3.3-4）。表層崩壊にはこのような降雨時のみに形成される浅層地下水が大きく関与したものである。

参考文献

- 1) 大島町：地域水道ビジョン 2008, www.town.oshima.tokyo.jp/information/suidou.pdf (2014年3月現在)。

(上野将司)



写真 3.3-1 長沢の流水は微量



写真 3.3-3 八重沢の下流は溜り水で流水認められず



写真 3.3-2 大金沢はコンクリートが湿る程度の流水



写真 3.3-4 崩壊後の湧水で拡大した火山砂層のパイピングホール。

3.4 植生

崩壊が発生した御神火スカイライン上部の森林は、条件の良いところを中心に落葉広葉樹林が分布している。これらの林ではアカメガシワを主としてオオシマザクラ、オオバヤシャブシなどの落葉広葉樹が林冠層を形成し、ハチジョウイヌツゲ、ヒサカキ、ヤブニッケイ、シロダモなどの常緑広葉樹が亜高木層を形成している。林冠高は10m以下、胸高直径は最大でも20cm程度で、株立ち状の樹木が多くみられた¹⁾。崩壊発生源となった崩壊地の最上部付近ではハチジョウイヌツゲとヒサカキ等が優先する常緑広葉樹林が見られた。樹齢は40年生内外のものが多く、樹高はおおむね5~6m程度で林冠層の高さがそろそろ特徴が見られる。崩壊発生源が、溶岩台地縁辺部の西向き斜面に位置していることから、西からの強風が崩壊発生斜面の樹高が小さいことに影響していると考えられる。

今回の災害では、深度が1m未満のごく浅い表層崩壊が卓越したが、これには崩壊発生源の斜面の樹木根系の到達範囲が深さ60~80cmといったごく浅い範囲に留まっていること²⁾が影響を与えていると考えられる。崩壊発生斜面の樹木根系は表層の暗色の火山灰層に多く見られ、その下位のレス層では急減する場合が多いが、その理由は現段階で明らかになっていない。レス層は火山灰層に比べると硬いが根系が侵入できないほどの硬さでは無いこと(図3.4-1)、根系の呼吸を阻害するほど透水性が低いわけではないこと、場所によってはレス層中にも樹木根系が発達する場合も見られること(写真3.4-1)などから、土壌の物理性だけでなく、森林利用や樹木の生育特性の面からの考察も必要と考えられる。

一般に、崩壊発生斜面に見られるような株立ち状の樹木は薪炭林として利用された広葉樹の二次林に見られることが多いが、伊豆大島の森林も過去において、薪炭採取などの人為の影響を強く受けてきたと考えられ、この地域の森林の特性に影響を与えていると考えられる。大島では山方村と呼ばれる差木地、野増、泉津の三村が大きな山林を持っていたとされ³⁾、崩壊発生域の山林もこれらの村による利用圧の影響を強く受けていると考えられる。大島諸島略誌の記述によると、かつては山林に燃料を得た製塩が盛んに行われていたが、18世紀頃より江戸への薪の出荷に切り替わったとされる⁴⁾。しかし、この薪生産も大正末期より衰退し、その後は炭焼き業が盛んになった⁴⁾。薪生産の衰退は濫伐によると考えられており、元村(現在の元町地区)では明治30年前には、年間1,600~1,700万本の生産量があったが、昭和8年には約350万本に減じていることが指摘されており⁵⁾、この間にきわめて顕著な森林植生の衰退が起きたことがうかが

われる。薪生産後の主要な林産物となった炭の生産は1960年代以降の石油革命により縮小し、近年では薪炭利用が山林に与える影響はきわめて小さなものになったと考えられる。

また、元町地区の山麓には、大径木からなるシイ林やスギ人工林が分布しているが、大島においては植林による木材生産は植林技術が向上するまでは、薪炭の生産額に比べると小さなものであったと言われている⁴⁾。

以上のような、塩業用の燃料採取、江戸向けの薪採取とその後の製炭目的の利用、近年の人工圧の減少という歴史的な背景は、萌芽林が多い崩壊発生域の森林の地上部、地下部の現存量に大きな影響を与えていると考えられることから、今後はこの地域の森林の成立を歴史的な視点からも考察する必要がある。



写真3.4-1 元町地区上部斜面の森林と崩壊面に見られる樹木根系

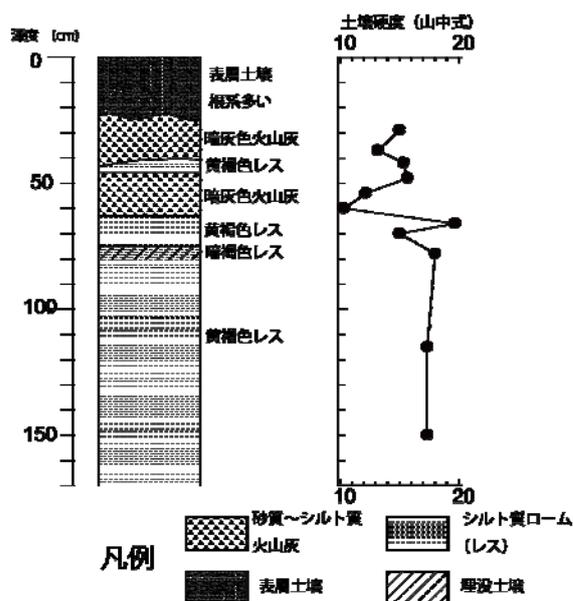


図3.4-1 崩壊源頭部における表層土壌の硬度の例 (山中式硬度計による)

参考文献

- 1) 大丸裕武, 杉田久志: 2013年10月に伊豆大島で発生した崩壊, 治山, 2014 (印刷中)
- 2) 村上 亘, 小川明穂, 小川泰浩, 大丸裕武: 2013年台風26号により伊豆大島で崩壊が発生した斜面の樹木根系の分布状況について, 日本地球惑星科学連合2014年大会発表要旨集, 2014 (印刷中) .
- 3) 立木猛治: 伊豆大島志考, pp. 59-60, 伊豆大島志考出版会, 1961.
- 4) 大島町史編さん委員会: 東京都大島町史資料編, pp. 420-421, 東京都大島町, 2001.
- 5) 山口貞夫: 伊豆大島図誌, pp. 193-194, 地人社, 1936.

(大丸裕武・桜井正明)

第4章 土砂災害のハード対策とソフト対策の概要

4.1 砂防施設

図4.1-1は、伊豆大島における砂防施設の分布である（東京都大島支庁、平成25年）。図中、緑色のものは計画中のもの、赤色は事業中のもの、および黒色は完成し

ているものである。これらの施設は、東京都によって整備されているが、1986年11月、三原山の噴火に伴う災害を契機として新設された火山砂防事業に基づくものである。これらは、また、溶岩流および火山泥流による災害を想定したものであって、溶岩流を無害化するための導流堤や土石流・泥流を対象とした堆積工、捕捉工、流路工などからなっている。

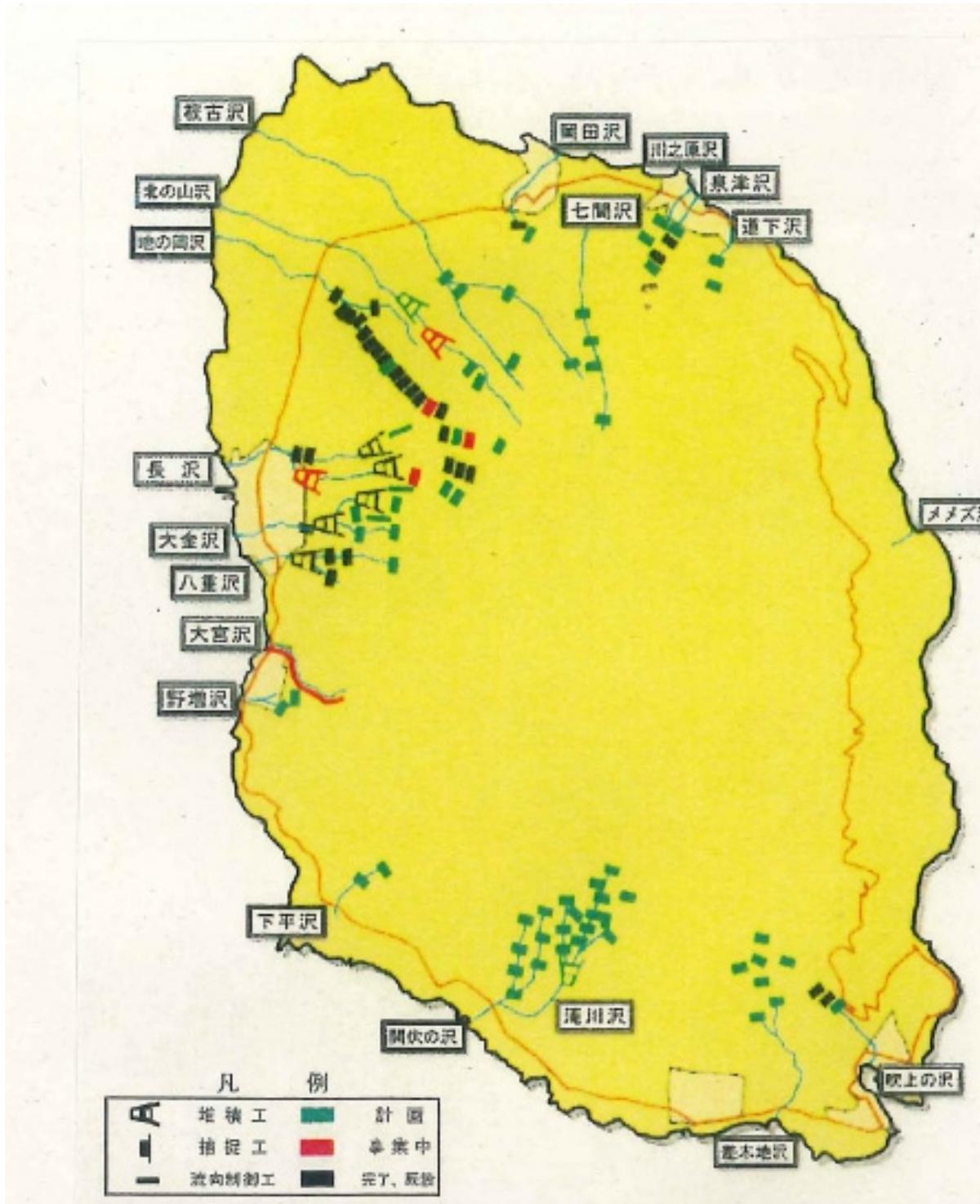


図4.1-1 伊豆大島における砂防施設の分布
 (東京都大島支庁：伊豆大島総合溶岩流対策事業，平成25年5月)

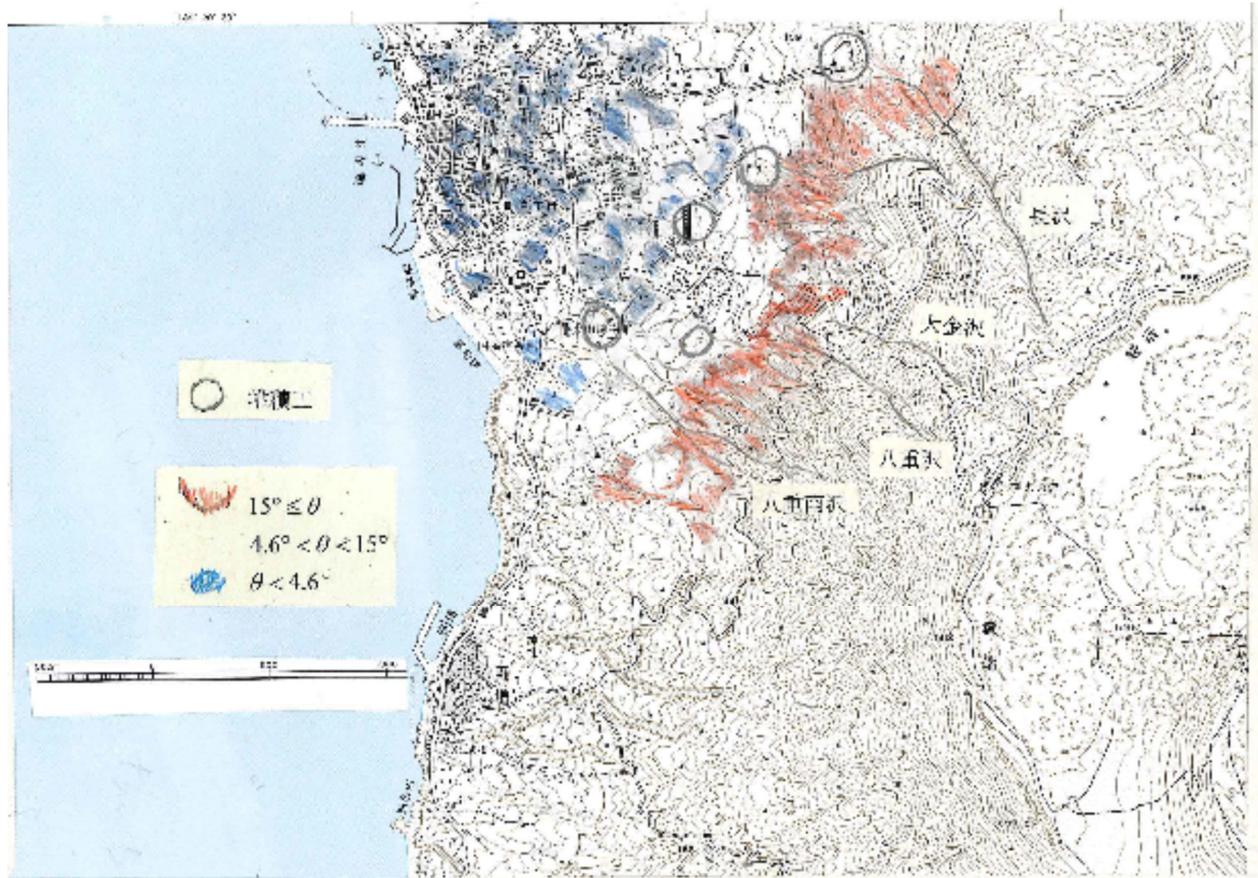


図 4.1-4 砂防施設の配置と地形勾配の関係(勾配は国土地理院 1:25000 の地形図を基に作成)

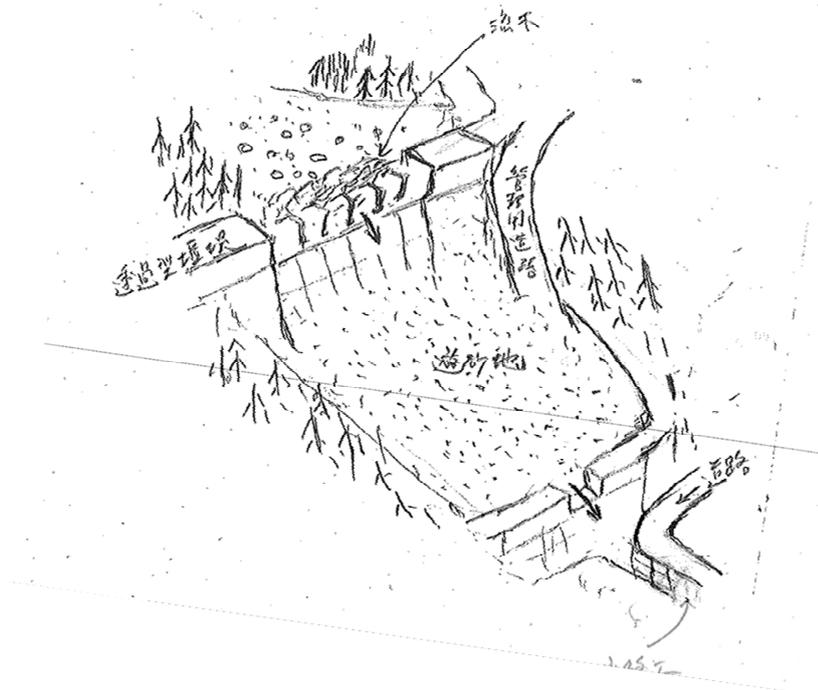


図 4.1-3 堆積工の模式図

図4.1-2は、顕著な被害のあった元町地区における砂防施設であって、赤で着色されている所は崩壊や泥流等による土砂流出の痕跡である（(独) 土木研究所）。

この地区の砂防施設は主に堆積工と流路工である。堆積工の機能は通常の砂防ダムのもとのほぼ同じであると推察されるが、その構造は図4.1-3のようにになっている。

これは、上流側に堰堤があり、其の水通し部は透過構造になっており、その下流は沈砂地或いは貯砂地になっている。沈砂地は貯留量を確保するために掘削されている。このような構造は、顕著な谷地形の発達が見られない領域に設置される土砂調節施設の特徴の一つであるものと推察され、土石流や泥流を構成する巨石・巨礫を上流側の透過工で捕捉して、そこを通過した土砂を下流側に貯留するといった構造になっている。

図4.1-4は、土石流や泥流に対する砂防施設の働きを見るため、これらの設置位置と地形勾配の関係を見たものである。地形勾配は、土石流の発生域に相当する15度よりも急な領域、流下堆積域に相当する15度から4.6度の領域、および4.6度以下の領域に区分されている。同

図によれば、堆積工も砂防ダムも勾配15度から4.6度の領域に設置されており、これらの機能が発揮されるように配置されているものと推察される。なお、勾配4.6度は、1:25000の地形図を用いて勾配を直接解析したときの便宜上の勾配であって、土石流の堆積勾配の下限値に近い値である。

参考文献

東京都大島支庁：伊豆大島総合溶岩流対策事業，第11版，平成25年5月。

(独)土木研究所(2014)：土木技術資料56-1，速報。

(江頭進治・関根正人・竹林洋史)

4.2 土砂災害警戒情報

(1) 過去の災害

近年発生している災害の多くは台風によるものであり、土砂災害も散見されるが、多くは風および波による被害であることが分かる(表4.2-1)。1958年狩野川台風においては、総降水量448.3mm、行方不明者2名、住家全壊15戸・半壊18戸・流出3戸・一部損壊10戸、浸水家屋67戸、山崩れ・崖崩れ16カ所等¹⁾、甚大な被害がもたらされた経験がある。

(2) 災害までの取り組み

大島測候所およびその後の伊豆大島火山防災連絡事務所では、1年に10回程度講習会を実施していた。測候所時代は各種災害に対して講習を行っていたが、火山防災連絡事務所になってからは火山防災が、東日本大震災以降は地震・津波が中心となっていた。参加者は10～30名/回程度であった。特に、測候所時代は台風防災にも注力しており、狩野川台風等の説明も行っていった。

(3) 地元住民の意識

住民の防災意識は決して低いものではない。1986年の三原山噴火時には全島民が島外避難しており、以来、地域防災力の強化が図られ、消防団の活動も活発である。しかしながら、水害・土砂災害に対しては十分な警戒がなされていたとはいえない。大島は火山で出来た島で

あり、水はけが良く、水害は起こらないと学校等において聞いた経験がある人が複数いたことから、このことが窺い知れる。

70代の住民へヒアリングを行うと、今回の災害で、55年前の狩野川台風の事を思い出したと言われていたが、災害の状況を見て思い出したに過ぎず、普段狩野川台風のことを話す事はないとの事であった。別の方も狩野川台風の時の話をされており、ある年齢層(55年前に小学校高学年程度)以上で、長沢、大金沢流域に住んでいた人、または、通学、通勤していた人には、この台風の記憶はあるようだが、その経験は十分に受け継がれているとは言い難い状況であったと考えられる。これとは別に、

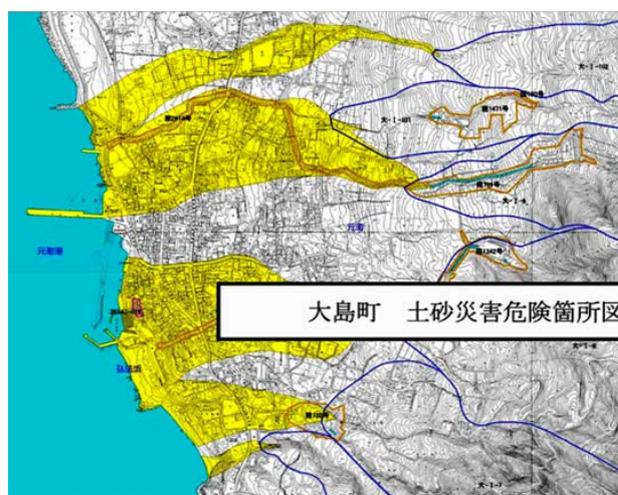


図 4.2-1 土砂災害危険箇所図(災害前・元町周辺)²⁾

表 4.2-1 伊豆大島で発生した主な気象災害(1991-2009)¹⁾

年月日	被害概要
1991.10.5-13(台風21号)	崖崩れ、土砂崩れ、倒木
1992.11.6-8(台風28号)	ビニールハウス破損
1993.7.4-5	道路冠水、法面剥離、林道等法面崩落8カ所、床上浸水2棟、床下浸水6棟
1995.9.16-17	住宅・農林水産被害
1997.6.18-20(台風7号)	家屋一部損壊、ビニールハウス損壊
1998.9.14-16(台風5号)	住家一部損壊、停電960戸
2000.7.7-8(台風3号)	崖崩れ6カ所、小規模土砂流出12カ所、公共施設損壊3カ所、ビニールハウス損壊多数、船舶流出1隻、損壊1隻、道路陥没1カ所
2001.7.7(台風4号)	港付近で漁船転覆、1名死亡
2002.9.30-10.1(台風21号)	住宅半壊1棟・全壊1棟、貨物船座礁、護岸破損、町道冠水、農業被害額17,867千円
2003.9.21-22(台風15号)	家屋一部損壊2棟、非住家一部損壊1棟、倒木6カ所、街灯損壊2カ所
2004.10.8-9(台風22号)	ビニールハウス等破損19カ所23棟、街灯破損1カ所、公共文教施設屋根一部破損2カ所、住宅一部損壊14棟、倒木20カ所、非住家全壊2棟・一部損壊7棟
2004.10.19-21(台風23号)	住家一部損壊及び海水浸水2棟、非住家全壊1棟、海岸転落防止策一部倒壊3カ所、元町港船客待合所の防潮扉及びガラスドア破損、波浮港港内入道路ガードパイプ破損、岡田港先端ケーソン倒壊、畜養施設ドア破損、離岸堤テトラポッド飛散、ビニールハウス損傷2棟、礫岩飛散及び一部冠水1カ所
2005.5.30-31	林道崩土5カ所、路肩崩壊1カ所、都道倒木2カ所
2005.8.25-26(台風11号)	林道一部崩壊、住宅一部損壊52棟、波浮港標識灯流出1カ所、街灯倒壊2カ所、車庫等全壊3棟・一部損壊26棟、倒木多数、土砂崩れ1カ所、自主避難者4世帯4人
2006.8.8-9(台風7号)	倒木
2007.7.12-15(台風4号)	港湾及び漁港被害
2007.9.5-7(台風9号)	住宅一部損壊9棟、倒木多数、消波ブロック飛散17個、根固ブロック移動・飛散6個

ホテル椿園の方によると、狩野川台風時、椿園が避難場所として利用されたとのことで、この経験から、安全な場所に立地していると考えられていたという話もあった。今回の災害は大金沢流域に被害が集中したため、狩野川台風時のこのメッセージは的を得ていない。しかしながら、狩野川台風時に被害が集中した長沢の上部でも土砂崩れは確認されていることから、被害の場所がずれていれば適切なメッセージとして扱われていた可能性もある。これらを勘案すると今後は、安全な場所という観点ではなく、長沢、大金沢、さらに八重沢も加えた各流域の面的な危険性として継承していく必要があると考えられる。

(4) ハザードの周知状況

町役場では、火山と津波に関する防災マップは作成されていたが、風水害に関する防災マップは策定されておらず、町長によると2014年度に作成予定であったと言うことである。なお、東京都により図4.2-1に示す土砂災害危険箇所図は作成されていた。しかしながら、その存在に気づいていない住民がほとんどであり、周知されていたとは言い難い。大島町のように多様な災害の発生可能性がある地域では、ハザード別の詳細なマップだけでなく、起こりうるすべてのハザードを考慮したマップの作成も必要となるであろう。また、ハザードに関しては、学校教育などを通じて小さな頃から周知していくことが有効であると考えられる。

(5) 自主防災組織、消防団

自主防災組織は元町・北の山・岡田・泉津・野増・差木地・クダッチ・波浮港地区に計274班ある。自主防災組織に対し、説明会や訓練を年1回は実施している。内容は、火山に対するものが主であったが、2013年は津波に関するものであった。台風に関しては、もっとも近年で5年前に実施していた。住民のうち、比較的若い層は消防団に入る（概ね45～50歳まで）ため、自主防災組織は相対的に高齢者が多くなっていた。

また、消防団員へのヒアリングによると、主として消防活動に関する訓練を行っており、水防に関する訓練は行っておらず、知識（特に土砂災害対策に関するもの）も殆どないということであった。

(6) 町役場からの情報発信と情報伝達手段

土砂災害警戒情報は15日18:05に発表されている。大島町では過去5年間で土砂災害警戒情報が7回発表されているが、実際に土砂災害が発生したことはない。町役場防災担当も認識しており、避難勧告の発令をためらった一つの要因であるとのことであった。

実際に災害が発生したのが深夜であったこと、災害の様相がつかめはじめた時点でも、まだ集中豪雨が継続し

ていたことから、避難勧告や避難指示を出すことで取られる避難行動自体がかえって危険な行為となると考え、情報発令をためらった部分もあるとのことであった。避難行動、特に命を守る避難行動は、現状よりも安全な場所へ移動することであり、避難所に移動する水平避難だけがすべてではない。ただ、これは避難に対して想像力をもって検討してきた人にもみ通用することであり、地域全体がこのような考えで動くように防災活動を行ってこなかった状態では、この判断もわからないわけではない（消防団員の話では、すでに大量の土砂が押し寄せていて危険な状態であったにも関わらず、車で別の場所に救助に行こうとした人がいたとのことである）。その反面、もし避難指示を出していれば無警戒であった人が何らかの命を守る行動をした可能性もある。少なくとも今後はこのような状況でも避難勧告、避難指示をためらわないような防災文化を醸成していくことが求められる。

情報伝達手段は、防災無線を中心に整備がなされていた。基本はスピーカによる音声放送だが、防災無線個別受信機は希望世帯に1つ配布していた（1つでは、寝室か居間かのどちらかしか置けないため、時間帯によって情報を得られないこともあるという指摘もあった）。また、近年ではTwitterを活用した情報発信も行っていた。室内にいる場合や室外でも降雨時にはスピーカーの音が聞こえにくいことは、他の地域でも指摘されており、情報伝達手段の多チャンネル化を行っている点で評価できる。Twitter情報を整理すると、台風接近時の港の駐車場利用に関する注意喚起が行われ、その後、御神火温泉の営業短縮等の情報が出されている。朝に台風再接近のため、暴風・高波への注意喚起、町道通行止め、船舶の欠航、路線バスの運休が伝えられている。15日17時38分に気象庁より大雨警報・洪水警報が発表され、21時21分には暴風・波浪警報が出されているが³⁾、Twitterでは伝えられていない。15日18時05分に土砂災害警戒情報、16日2時32分・3時47分・4時50分の記録的短時間大雨情報も伝えられなかった。このことから、取り扱われた情報にばらつきがあることがわかる。今回のような過酷な災害の中で、どのような情報を取り扱うべきか、また、発信された情報がこの経路を通じてどのように伝達されていたのかを検証し、運営面も含めたシステムのロバスト性を高めるように見直しを行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 東京管区气象台：大島測候所のあゆみ 71年間の足跡、2010。
- 2) 東京都：大島町土砂災害危険箇所図
- 3) 東京管区气象台：平成25年 台風26号に関する東京都気象速報、2013。

(神谷大介・畑山満則)

4.3 避難体制

(1) 避難所

元町地区の風水害時避難所は、つばき小学校、第一中学校、元町保育園、大島高校であった。これらと図4.2-1を合わせてみると、第一中学校と元町保育園は完全に土石流危険箇所になっており、つばき小学校はその一部が危険箇所に含まれている。市街地中心部から最も離れた大島高校のみ危険箇所には含まれていない。なお、福祉避難所として大島老人ホーム、大島恵の里、第2大島恵の里が指定されている。

(2) 職員の配備体勢

大島町地域防災計画によると、職員の配備体制は表4.3-1のようにになっている。これより、地域防災計画には具体的な気象情報等をもとに配備が決定することになっているわけではない事がわかる。なお、本部長は町長であり、町長不在の時は、副町長、教育長、総務課長の順に代理者をおくこととなっている。

(3) 避難勧告・避難指示の発令

台風26号では、土砂災害警戒情報は15日18:05に発表されているにも関わらず、避難勧告・避難指示の発令は見送られている。元町地区を中心に人的被害が発生しているが、人的被害のなかった地区でも土砂崩れは起こっており、事前に避難勧告を出すのであれば、全島が対象になる。土砂災害危険箇所が広大に広がっているため、危険箇所に住む全ての町民を避難させるに足る施設がなく、避難先を明示できない状況にあった。

台風27号（10月26日に最接近）の際には、全島に避難勧告が発令され、島外避難も視野に入れた対策がなされた。事前に手助けが必要となる高齢者や要介護者を中心に島外避難も呼びかけている。しかし、長距離避難による体調悪化の可能性もあり（1986年の三原山噴火に伴う全島避難時の経験によるところが大きい）、想定したほどの希望者は出なかった。

(4) まとめ

1958年狩野川台風で甚大な被害を経験した大島町であるが、その後の直接的・間接的な被害経験より、備えるべき災害が火山、津波、台風の風および波、と考えられるようになってきたと思われる。離島地域の多くは日常的に本土から離れていることにより、東日本大震災のような非常に大きな災害を除き、本土の経験が活かされにくい環境にある。これは様々な計画等においても、離島の特殊性に鑑みて行われており、本土とは別という意識が自然に生まれてくるものと推察される。このことは伊豆大島だけではなく、本土からある程度離れた（日常的な繋がりが薄い）離島において良く言われることでもある。また、土砂災害に対して確実に安全な避難場所が人口に対して十分に備えられていないために、避難勧告等を出すことをためらう事例も散見される。これについては、そのリスクを行政のみで抱えるのではなく、そのような地域で生活していることを住民と共に理解し、相対的に安全な場所を探し、住民と共に、少なくとも現状よりも安全な状況を創り出すことが必要だと考えられる。

(神谷大介・畑山満則)

表 4.3-1 大島町の非常配備体勢

配備体制	時期	体勢
第1非常配備体制	概ね 24 時間後に災害が発生する恐れがある場合、またはその他の状況により町本部長が必要であると認めたとき	各種災害の発生を防御するための措置を強化し、救助その他の災害の拡大を防止するための措置に必要な準備を開始するほか、通信情報活動を主とする体勢
第2非常配備体制	概ね 12 時間後に災害が発生する恐れがある場合、もしくは局地災害が発生した場合、またはその他の状況により、町本部長が必要であると認めたとき	第1非常配備体制を強化すると共に、局地災害に直ちに対処できる体勢
第3非常配備体制	事態が切迫し、管内の数カ所で災害が発生すると予想される場合、もしくは発生した場合、またはその他の状況により町本部長が必要と認めたとき	数カ所の災害に直ちに対処できる体勢
第4非常配備体制	災害が拡大し、第3非常配備体制では対処できない場合、またはその他の状況により町本部長が必要であると認めたとき	本部の全力をもって対処する体勢

第5章 災害の実態

5.1 気象

(1) 台風26号の概況

図 5.1-1 に台風 26 号の移動経路を示す¹⁾。10 月 11 日 3 時にマリアナ諸島付近で発生した台風第 26 号は、発達しながら日本の南海上に北上し、大型で強い勢力のまま、16 日明け方に暴風域を伴って関東地方沿岸に接近した。その後、台風は関東の東海上を北上し、16 日 15 時に三陸沖で温帯低気圧に変わった。この台風および台風から変わった温帯低気圧の接近・通過により、15 日と 16 日を中心に、西日本から北日本の広い範囲で暴風、大雨となった。

平成 25 年 11 月 25 日 17 時現在の内閣府の情報（最終報）²⁾によると、この暴風と大雨により、千葉県、東京都、神奈川県、静岡県で死者 39 名、行方不明者 4 名となり、その人的被害のうち、死者 35 名と行方不明者 4 名は伊豆大島で発生した。住家損壊、土砂災害、浸水害、河川の氾濫等に関しては、中国地方から北海道の広い範

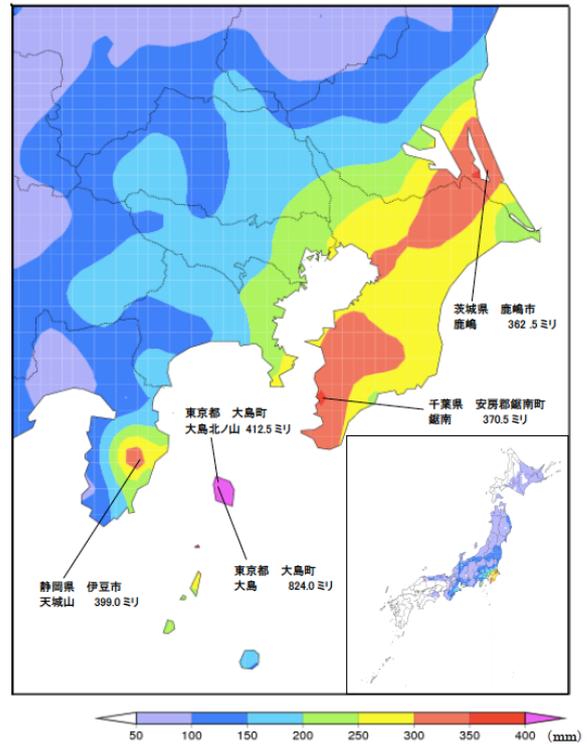
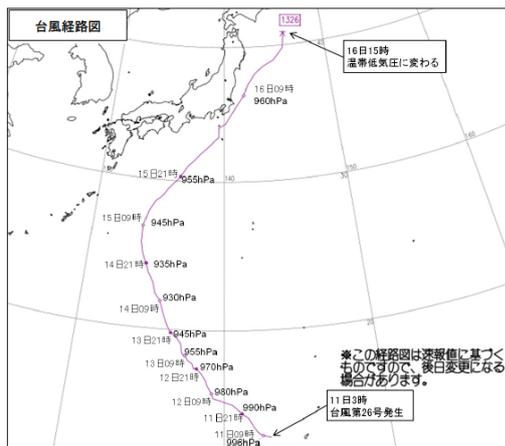


図 5.1-2 10 月 14 日～17 日の総降水量¹⁾

量で 9 地点、最大 24 時間降水量で 14 地点が統計開始以来の観測史上 1 位を更新した。風については、宮城県女川町江ノ島で 33.6m/s、千葉県銚子市銚子で 33.5m/s の最大風速を観測するなど、各地で暴風を観測した。伊豆大島では最大 1 時間降水量、総降水量、10 月の月降水量の平均値に対する今回の降水量の比の全てが大きくなっており、この地域では過去に経験したことのないような大雨となった。

伊豆大島にこのような降水をもたらしたレインバンドの挙動を知るため、国土交通省解析雨量データを用いて、大島周辺の降水量の 1 時間値(15 日 8 時～22 時は 1 時間おき、15 日 23 時～16 日 6 時は毎時)の連続図を作成した(図 5.1-3)。これをみるとわかるように、15 日にみられた降水システムは広範囲に小さな降水セルが散らばっているが、16 日に日付が変わってからの降水システムは伊豆大島を中心に北東から南西に伸びるレインバンドを形成しており、気流の収束がこの場所で持続的に形成されていたことを示している。このデータにはレーダーデータが用いられているが、その値はアメダス観測値より過小評価となっている。国土交通省は、気象庁の広域レーダよりも迅速・詳細に降水観測を行える X バンド MP レーダを展開しているが、伊豆大島は最寄りの MP レーダで観測できる限界に近い位置にあり、今回の降水イベントに関しては有効なデータが得られなかった。今後はこのような豪雨イベントが多発する可能性もあるため、X バンド MP レーダのさらなる配備が効果的と思われる。



経路上の○印は傍に記した日の 9 時、●印は 21 時の位置を示す。

図 5.1-1 台風 26 号の移動経路¹⁾

囲で発生した。また、停電、電話の不通、水道被害、鉄道の運休、航空機・フェリーの欠航等による交通障害が発生した。

図 5.1-2 に、アメダスで観測された降水量から気象庁が作成した 10 月 14 日～17 日の総降水量の平面分布を示す¹⁾。特に東京都大島町では、台風がもたらす湿った空気の影響で、16 日未明から 1 時間 100 mm を超える猛烈な雨が数時間降り続いた。10 月 14 日から 16 日までの総降水量は、東京都大島町大島で 824.0 mm、静岡県伊豆市天城山で 399.0 mm となるなど、関東地方や東海地方では 300 mm を超えたほか、統計期間が 10 年以上の測地点のうち、最大 1 時間降水量で 2 地点、最大 3 時間降水

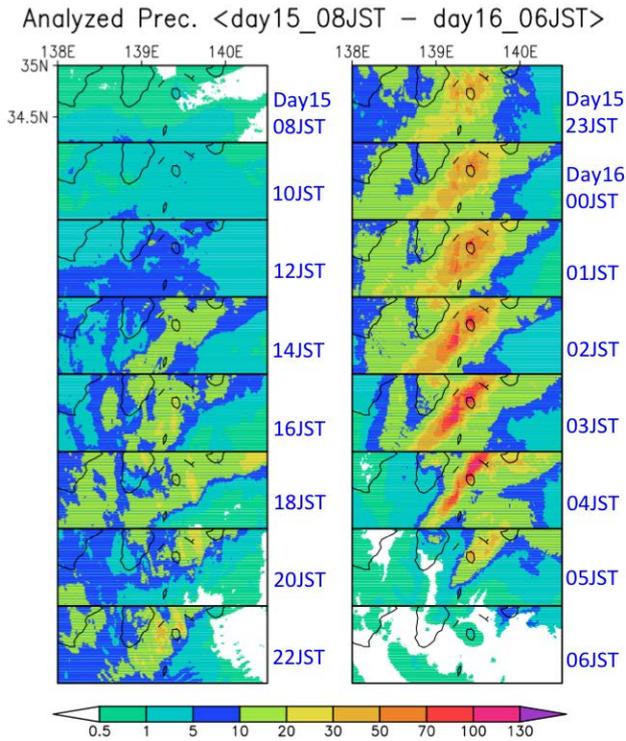


図 5.1-3 国土交通省解析雨量データから作成した、
台風 26 号襲来時の降水分布
 < 15 日 8 時～22 時 : 1 時間おきの 1 時間雨量 (mm)
 15 日 23 時～16 日 6 時 : 毎時の 1 時間雨量 (mm)>

(2) 降水量の時間変化と地域差



図 5.1-4 伊豆大島におけるアメダス観測地点

図5.1-2にも示されているように、伊豆大島には恒常的なアメダス観測所が2カ所存在する(図5.1-4)。今回の台風26号による総降水量は、島北西部(大島空港内)の大島北ノ山観測所で412.5 mmであるのに対し、大島元町にある大島観測所で824.0 mmとなり2倍の降水量となっている(図5.1-2)。

今回の台風による2地点の降水量の推移を10分値(1時間間換算)の時系列で示す(図5.1-5の棒グラフ)。これ

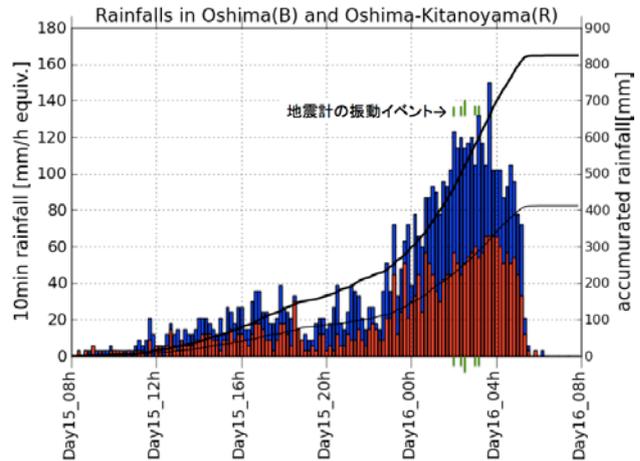


図 5.1-5 10 月 14 日～17 日における大島 2 地点の 10 分間
降水量(棒グラフ、左軸、mm/時換算)と積算雨量
(折れ線グラフ、右軸、mm)
 <大島: 青棒と太線, 大島北ノ山: 赤棒と細線>

をみると、大島(青)の降水量は15日の夜までは大島北ノ山(赤)の降水量を3割ほど上回る降水量を示していたが、16日に日付が変わったところから雨が止むまで、約2倍の降水量を示すようになった。大島のグラフを中心にみると、10月15日16時台にピーク(1時間あたり約38 mm)が一度あり、その後19時台は弱まったが、再び降水量が急増して、16日の3時台を中心に1時間あたり120 mmを超える降水量を記録した。その後急速に降水量は減少し、16日5時台には降雨イベントが終了した。この降水イベントの最中、防災科学技術研究所が伊豆大島に設置している地震計に、2:00から3:20までの間に6回の震動が観測されており、土砂災害の発生時刻を示すものと考えられる。その震動の発生時刻を図5.1-5に緑の線で示した(長い緑線は10分間に2回)。この図には積算雨量も示しているが(図5.1-5の折れ線グラフ)、この震動現象は大島の降水量の1時間換算値が120.0 mmを越えた時に始まり、大島の積算雨量が急上昇して480.0 mmから617.5 mmに至る間に生じていた。この値は、今後の伊豆大島の災害対策を考える際の参考値となりうる。

大島観測所(以後、大島)が現在の位置に移ったのは1991年12月であり、大島北ノ山観測所(以後、大島北ノ山)のデータは2003年1月からであるため、今回は2地点

の比較を重視して、2003-2012年の各月データの平均値を比較した(図5.1-6)。月平均気温は大島北ノ山のほう

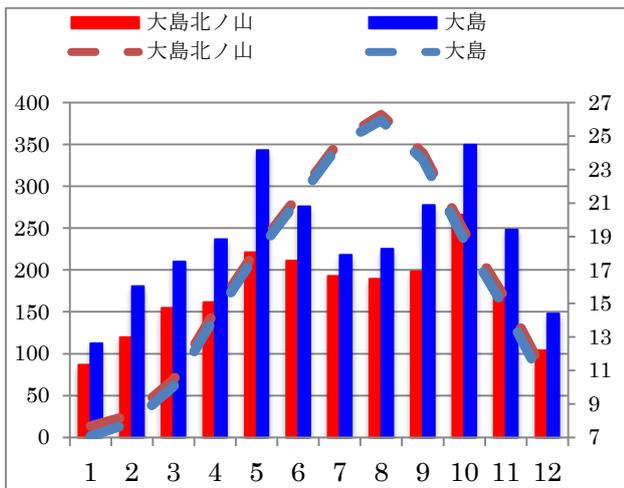


図 5.1-6 大島における気温(右軸, °C)と降水量(左軸, mm)の10年(2003-2012年)平均値

が大島より平均で0.41°C高く、これは標高差(大島が74m、大島北ノ山が38m)による影響と考えられる。降水量については、10年平均の年間降水量は、大島で2,826 mm、大島北ノ山で2,084 mmとなっている。その差は742 mmで、大島の降水量は大島北ノ山の値の1.36倍降っていることになる。2点の月降水量の年間パターンからもわかるように、常に大島北ノ山より大島の方が2~3割ほど多い降水量を示す傾向があるが、特に今回の事例はその差が倍と大きく、台風の影響が特に局地的に現れた事例であった。

(3) 過去の降水事例との比較

今回の台風26号による降水量は、月平均値も含め、多くの観測史上最多雨量記録を更新した。大島観測所は1991年12月にそれ以前の観測所と比べ、位置と標高が変わっており(図5.1-4)その影響は少なくないかもしれないが、1時間降水量<122.5 mm>、日降水量<525.5mm>、24時間降水量<824.0mm>、月降水量<1,255.0mm>が更新された。大島北ノ山についても、日降水量<267.0mm>、24時間降水量<412.0mm>、月降水量<648.5mm>が更新された。月間の最大値で比べた月単位の順位では、2013年10月は、大島の10分間降水量では歴代5位<25.5mm>、大島北ノ山の10分間降水量は歴代12位<12.0mm>、北ノ山の1時間降水量では歴代3位<64mm>であった。10分間の降水量では両地点とも過去最多雨量ではなかったが、日降水量や月降水量で過去最多を更新したことを考えると、今回は一時的な降水量としてはこれまでの台風や梅雨前線のほうが上回ることはあったが、数時間~数日単位のまとまった降水としては過去に例のない事例であったことがわかる。

過去に伊豆大島に大きな被害をもたらした台風には、昭和33年(1958年)9月の狩野川台風がある。この台風の中心気圧は9月24日に877 hPaを観測し、大型で猛烈な台風で、南海上の前線が活発化しながら北上したため、東海地方と関東地方で大雨となり、土砂災害や河川の氾濫が相次いだ。当時の大島観測所の月データを調べると、10分間降水量は15.5 mm(歴代76位)、1時間降水量は88.0 mm(歴代5位)、日降水量は419.2 mm(歴代3位)、月降水量は710mm(歴代12位)であった。今回の台風の降水量は狩野川台風の際の値と比べて、1時間降水量で1.4倍、日降水量で1.3倍の雨が降ったことになる。

長期的にみて、大島の降水量はどのように変化しており、今回の台風による降水量は大島ではどのような頻度で生じる現象なのかを探るため、年降水量の経年変化に

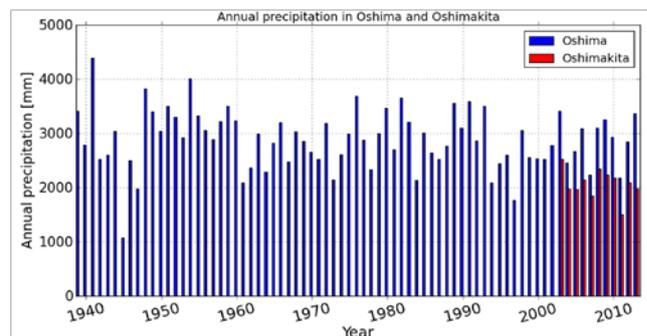


図 5.1-7 大島(青, 1939-2013年)と大島北ノ山(赤, 2003-2013年)における年降水量の経年変化

関する図を示す。図5.1-7は、2地点における年降水量の時系列(2013年は12月25日まで)で、これを見ると年降水量は若干減少傾向にあるように見える。2地点の値を比較すると、大島北ノ山の年降水量に対し、大島の値は最近11年では常に多く、1.2倍前後の値となっている。

さらに同期間の2地点の年最大2日降水量の時系列も示す(図5.1-8)。大島における顕著な事例は、今回の台

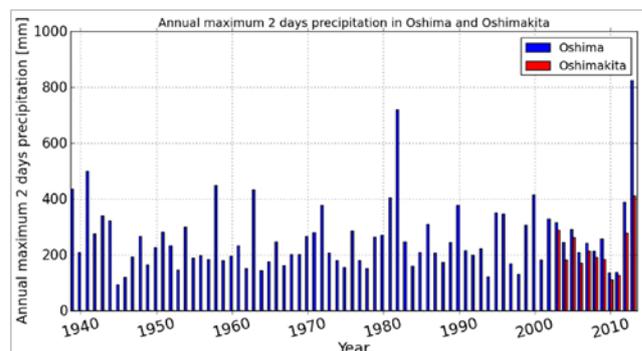


図 5.1-8 大島(青, 1939-2013年)と大島北ノ山(赤, 2003-2013年)における年最大2日降水量の経年変化

風がもたらした2013年<824.0mm>、9月の台風18号による1982年<719.4mm>である。狩野川台風による1958年<448.3mm>の事例は歴代4位となっている。

また、2013年における年最大2日降水量(824mm)の確率年(再現期間)を求めた。1939年から2013年における年最大2日降水量(824mm)の確率年(再現期間)を求めた。1939年から2013年における大島の年最大2日降水量をGEV分布にあてはめ、GEV分布のパラメータ推定にはL積率法を用いた結果、再現期間は170年であった。最近11年での2つの観測点の値を比較すると、年降水量に比べてその差は小さい傾向にあるが、2013年の値の大島の値は大島北ノ山の2倍もの値を示しており、今回の台風

26号の事例は特異な例であったことがわかる。

参考文献

- 1) 国土交通省気象庁：台風第26号による暴風・大雨，2013.
- 2) 内閣府：平成25年台風第26号による被害状況等について(第30報)，2013.

(鼎 信次郎)

5.2 表層崩壊の発生個所と規模

被災範囲は図5.2-1に示すとおりで、中央の広い面積の部分とその両側（南北）の筋状の部分がある。広い面積の部分は大金沢流域で、大規模な崩壊が発生したような印象をうけるが、あとで述べるように谷地形の未発達な平滑な斜面において多数の表層崩壊が並列で発生したために、土砂流の流下域が交錯して裸地化した箇所がつながったものである。筋状の被災箇所は長沢、八重沢、大宮沢などの流域で、谷地形の発達する斜面で崩壊が発生し、土砂流が谷沿いに流下したものである。

広い面積をなす崩壊頭部は、遠望すると御神火スカイラインに一致するように見えるが、外輪山頂部の緩斜面の直下に位置する一連の急斜面にあたり、地形的には遷急線

急線の下方斜面である。遷急線は崩壊前線と呼ばれることもあり、山腹斜面では表層崩壊や落石が起こりやすい位置にあたる。御神火スカイラインは遷急線に並行して少しづつ高度を上げて御神火茶屋の手前で遷急線の上の緩斜面へと登るため、遷急線沿いの崩壊頭部が御神火スカイラインに沿うようにも見える。

御神火スカイライン付近の崩壊について、踏査結果をもとに発生個所と規模を整理して遷急線とともに図5.2-2に示す。崩壊位置は遷急線の直下の傾斜30~40°の急斜面にあたり、0次谷やわずかに凹状の集水地形になっている。遷急線の上方斜面の傾斜は20°程度の緩斜面であるため、地形的に明瞭な遷急線になっている（写真5.2-1）。

個々の崩壊規模は、幅10~50m、斜面長20~50m、崩壊深度1m以下である。地すべりや大規模崩壊に比べる

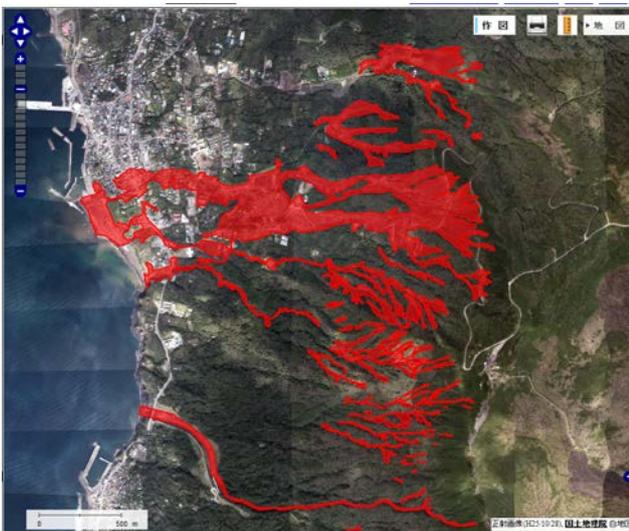


図 5.2-1 崩壊の発生域と流下域（国土地理院資料）



写真 5.2-1 遷急線（赤破線）付近の左右の表層崩壊と中央は過去の崩壊地でヤシャブシなどの植生が繁茂（①地点）

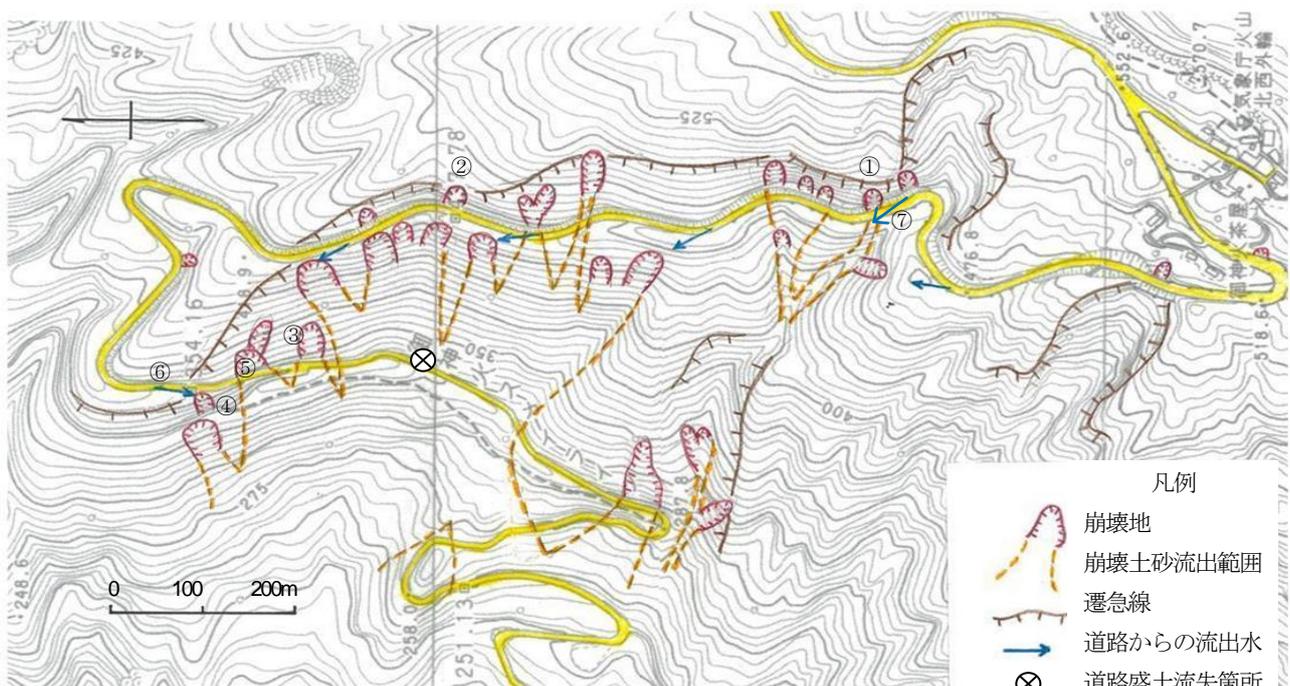


図 5.2-2 表層崩壊位置図（①~⑦は写真撮影地点）（国土地理院の火山基本図白地図を使用）

と、崩壊深度に比較して崩壊幅が広い特徴がある¹⁾が表層崩壊としては一般的な規模と形状である。火山地域でよくみられる表層崩壊タイプで、表層の植生部分を主体にマットのような薄い層が崩壊するもので根系層崩壊²⁾と呼ばれる。このような表層崩壊が図5.2-2に示すように並行して発生したため、崩壊で発生した土砂流が交錯して流下し、広大な裸地が形成されたものである。具体的な崩壊例は写真5.2-2, 5.2-3に示す通りで、崩壊深度は1m以下と浅く、崩壊幅は最大でも50m程度にとどまり、崩壊土砂はのり枠や道路を横断して斜面方向に流下している。



写真 5.2-2 のり枠の上方斜面が表層崩壊して枠内の樹木は倒伏したがのり枠は被災していない(②地点)



写真 5.2-3 道路沿いの赤褐色のスコーリア層には植生が残っており、表層崩壊範囲はこの上の斜面にあたる(③地点)

崩壊面(すべり面)には火山砂よりも透水性が小さく軟らかいレス層が元の地形に沿って広く露出する。崩壊地の頭部や側方の崖には崩壊した透水性の良い火山砂層が1m以下の層厚で斜面と同じ傾斜で分布する(写真5.2-4, 5.2-5)。火山砂層はスコップで容易に掘れる程度の緩い状態である。レス層と火山砂層は斜面に平行に堆積しており、元町溶岩の上位にはこれらが互層となって少なくとも各4層が確認できる。このため、斜面は流れ盤構造であり、急傾斜部では不安定な状態にあるものといえる。樹木の根系の大半は表層の火山砂層内にとどまっ

ており、下位のレス層まで侵入していないので根系による杭効果が見込めない状況にある。



写真 5.2-4 植生の根系は大半が表層の火山砂層に留まりすべり面になったレス層に貫入していない(④地点)



写真 5.2-5 崩壊層は層厚 80cm の透水性の良い火山砂層で、下位には透水性の小さなレス層が分布する(⑤地点)

また、御神火スカイラインの排水系統は一般的な道路よりも整備された状況であるが、数か所で路面排水が斜面へ流れ出ていた。その位置は図5.2-2の道路上の矢印に示す位置で、道路の曲線部や縦断勾配の変化点にあたる(写真5.2-6)。また、道路山側斜面の崩壊土砂が路面に堆積したため、道路排水がせき止められて斜面へ流れ出した個所もある(写真5.2-7)。このような場所で



写真 5.2-6 道路の流水が曲線部から斜面へ流れ出て表層崩壊が発生した個所(⑥地点)

は局所的な表層崩壊が発生しているため、道路の復旧に際しては路面排水の処理能力の向上が課題としてあげられる。全体的に見て、道路が他流域の表流水を導水したり、大量の排水が1か所に集中したわけではない。



写真 5.2-7 道路の流水が崩壊堆積物にせき止められて斜面に流れ出て表層崩壊が発生した箇所 (⑦地点)

なお、御神火スカイラインは図5.2-2に示す1箇所で道路盛土が流失する被害を受けた。ここは14世紀の元町溶岩が流れ出した小さな火口の一つにあたり、局所的な火口の凹地に盛土を行った部分である。このような特異な場所の盛土が土砂流等に流されたものであり、盛土の再構築に際しては盛土の締固めや排水処理に十分な配慮が望まれる。

参考文献

- 1) 上野将司：地すべりの形状と規模を規制する地形・地質要因の検討，地すべり，第38巻，第2号，pp.1-10，2001.
- 2) 稲垣秀輝：根系崩壊，地盤工学会誌，Vol.50, No.5, pp.5-7, 1996.

(上野将司)

5.3 崩壊土砂の地盤工学的特性

土石流の流下径路に当たる中腹斜面の表層が失われた機構の詳細説明にはさらなる検討が必要であるが、少なくとも、源頭部における土砂移動の最初の発端は、5.2 および6.1でも述べるように、浸透水がもたらした水圧上昇等に起因する表層崩壊によるものと推定される。本節では、表層崩壊の力学機構を定量的に論ずるため、採取した試料に基づく室内土質試験の結果²⁾を報告する。

(1) 試料採取

大金沢付近の土石流の上流側に位置する崩壊斜面群の中で、神達地区に流れ込んだ土石流の流路の最上方に位置する源頭部斜面のひとつ(図5.3-1)において、後述する二種類の土の試料採取を行った。

斜面崩壊部の最上部の滑落崖および側壁において、深さ1m程度の位置にパイピング様の洗掘孔(崩壊時、抜け落ちる土塊の背後で急に解放された水圧が、砂を吹き飛ばしたものと推定される)が断続的に見られ、それより下位の複数の深度においても、同様の孔が層状に点在している。また、孔の生じた部位は、その上下層に比し

て相対的に透水性の大きな薄い砂層内に位置し、その孔と隣接して比較的平滑なテラス状の平面が谷側に形成されている箇所が散見された。この階段状をなす面の多くには砂が洗い流されたような痕跡があり、レスやスコリアが露出していた。このような特徴は、隣接する他の斜面においてもほぼ同様に観察された。

いったん斜面上部で崩壊が発生すれば、崩壊土砂の移動経路に当たる斜面下部はその大きな掃流力に晒されるため、次々に崩壊が進行するものと思われる。したがって、表層崩壊の最初の発端について検討するためには、できるだけ初生的な崩壊箇所を対象にして議論することが望ましい。そこで、ここでは図5.3-1に示すように、背後に崩壊部を有さない、最上位(実際には側壁の地表面深度1m程度)に位置する洗掘孔に着目し、孔を生じた砂層およびその下位の相対的に透水性がやや小さい褐色層内からそれぞれ土を採取した。

なお、この褐色層は風成のレスから成り、これに挟在する透水性の高く薄い砂層(黒ないし暗灰色)は、三原山の噴火に伴う降下物である。以降の説明では、前者を単に「レス」、後者を「火山砂」と呼ぶことにする。

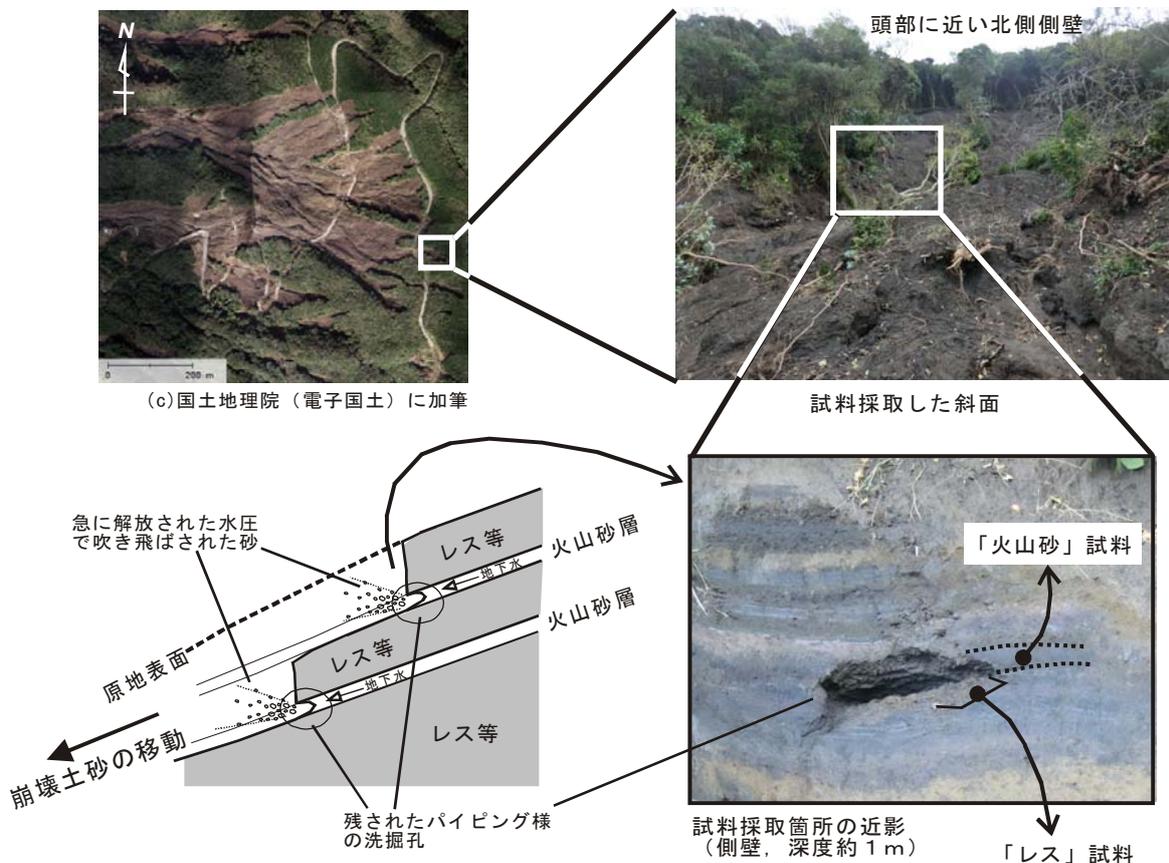


図5.3-1 試料採取した斜面および採取地層の概要

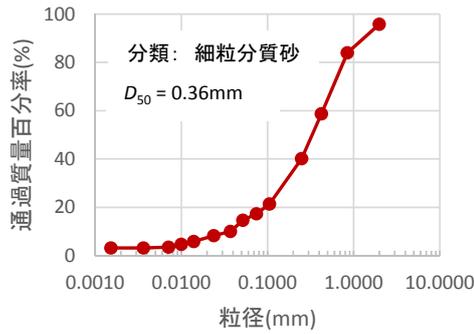


(a) 火山砂

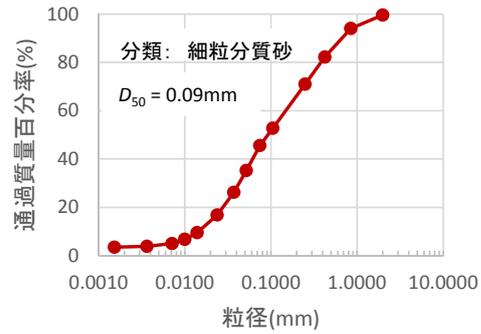


(b) レス

図5.3-2 採取した各土質の試料（自然含水比状態）



(a) 火山砂



(b) レス

図5.3-3 各土質の粒度分布

表5.3-1 各土質の基本的物性

項目	記号	単位	値
最大乾燥密度	ρ_{dmax}	(g/cm ³)	1.78
最小乾燥密度	ρ_{dmin}	(g/cm ³)	1.28
土粒子の密度	ρ_s	(g/cm ³)	2.79
液性限界	w_L	(%)	23.5
塑性限界	w_p	(%)	23.5
塑性指数	I_p	(%)	NP

項目	記号	単位	値
最大乾燥密度	ρ_{dmax}	(g/cm ³)	1.29
最小乾燥密度	ρ_{dmin}	(g/cm ³)	0.96
土粒子の密度	ρ_s	(g/cm ³)	2.81
液性限界	w_L	(%)	30.5
塑性限界	w_p	(%)	22.2
塑性指数	I_p	(%)	8.3

表5.3-2 各土質の原位置における自然状態の物性

項目	記号	単位	値
湿潤密度	ρ_t	(g/cm ³)	1.44
乾燥密度	ρ_d	(g/cm ³)	1.24
含水比	w	(%)	16.6
間隙比	e		1.25
相対密度	D_r	(%)	-11.5

項目	記号	単位	値
湿潤密度	ρ_t	(g/cm ³)	未測定
乾燥密度	ρ_d	(g/cm ³)	未測定
含水比	w	(%)	29.1
間隙比	e		未測定
相対密度	D_r	(%)	未測定

(2) 基本的物性

火山砂とレスの試料は図5.3-2のような色調である。これらを用いた各種試験に基づく基本的物性を表5.3-1に、粒度分布を図5.3-3にそれぞれ示す。なお、火山砂については、採土円筒を用いて原位置での密度および含水比を測定している（表5.3-2）。火山砂に比べてレスの方がやや細粒分が多く、わずかな塑性 (I_p) を有して

おり、相対的に透水係数のやや小さいことが推定される。

なお、絶乾状態の火山砂を用いた最大・最小密度試験の結果によると、原位置密度（乾燥密度に換算）は最小密度より小さい、すなわち相対密度が負値になる。これは自然堆積時の火山砂が極めて低密度であるためで、乾燥した場合に消失するサクションが、自然含水状態では高間隙比の骨格維持に寄与していることが考えられる。

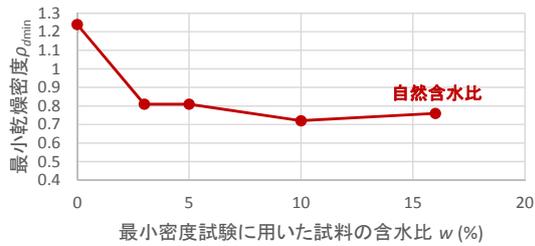
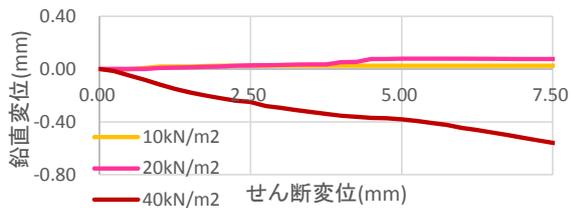
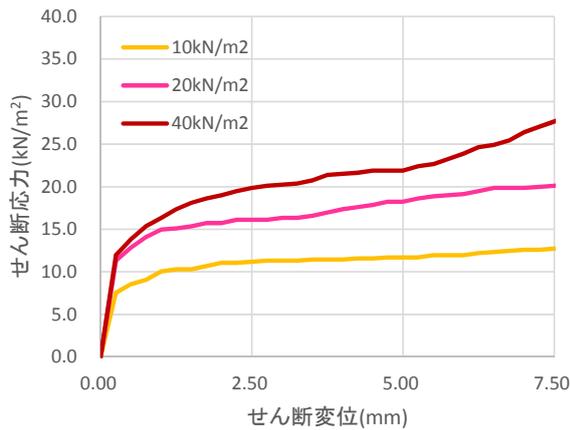


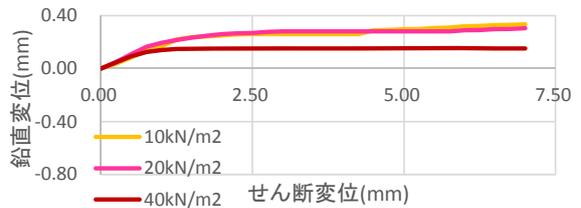
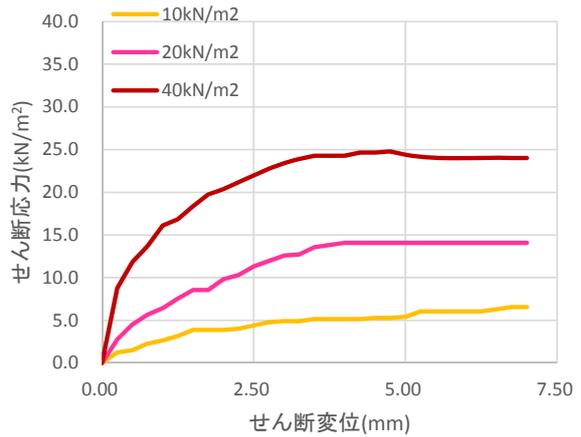
図5.3-4 最小乾燥密度と含水比との関係

表5.3-3 排水一面せん断試験に用いた供試体 (平均値)

(a) 自然含水比状態のケース			
乾燥密度	ρ_d	(g/cm ³)	1.44
含水比	w	(%)	16.1
(b) 絶乾状態のケース			
乾燥密度	ρ_d	(g/cm ³)	1.52
含水比	w	(%)	0.34



(a) 自然含水比状態のケース



(b) 絶乾状態のケース

図5.3-5 排水一面せん断試験の結果

この傍証として、含水比を変えた各ケースに対して一連の最小密度試験を実施した。図5.3-4によると、若干含水させるだけで、最小密度は絶乾状態のそれよりもかなり低くなるのがわかる。

このように、自然な不飽和状態の火山砂は極めてゆるい状態で斜面内部に存在することができるが、豪雨による地下水の流入がサクシジョンの効果を低減させると、ちょうど絶乾状態の時と同じように密度が大きくなる(体積収縮する)ことが想像される。このことが火山砂の薄層に体積収縮と間隙水圧の増加を促し、層内に一種の被圧状態をもたらすと同時に、砂層内の水みちを拡大させた可能性がある。このような薄層内の被圧状態は、一般に地形や地層厚さの変化などによって生ずるが、今回の火山砂のように間隙比の極めて高い砂が飽和化される際

には、被圧傾向がさらに助長される恐れがある。

(3) 火山砂の排水一面せん断試験

火山砂をすべり面として表層崩壊が生じた力学機構を検討するために、同砂の原位置の密度を目標として再構成した試料を用いて、排水一面せん断試験を実施した。

なお、自然含水比状態(平常時の c および ϕ)と、浸透水による飽和化が進んでサクシジョンが消失した状態を想定した絶乾状態(完全飽和時の c' および ϕ' を求める)の二種類の条件下での試験を実施した。両条件の試料の密度等(平均値)を表5.3-3に示す。絶乾状態の試料は原位置のような低密度に調製することが困難なため、やや大きい密度で試験をしていることに注意されたい。

各ケースとも10, 20, 40kN/m²の拘束圧を作用させた

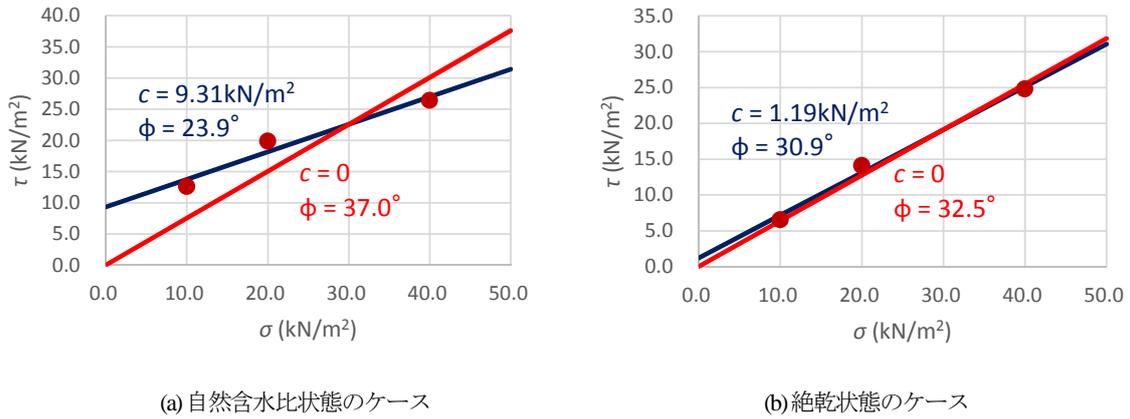


図5.3-6 排水一面せん断試験で得られた強度定数

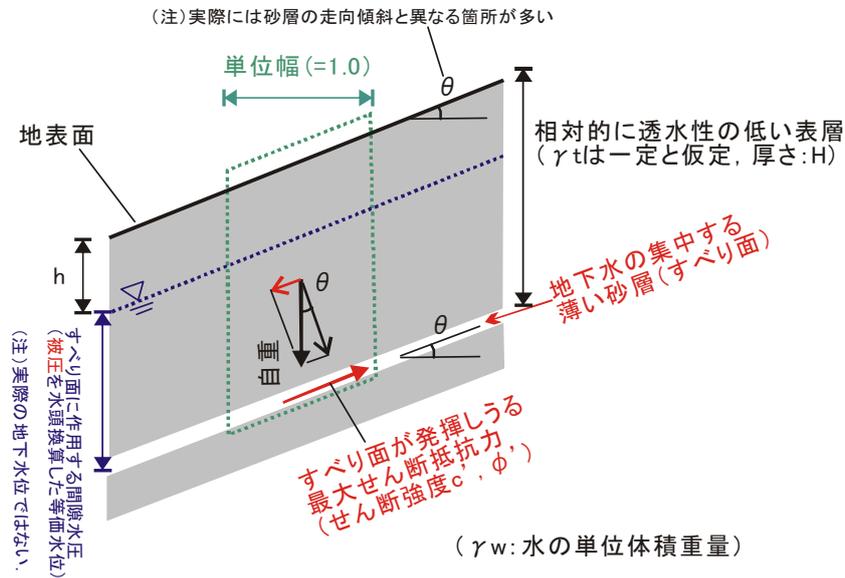


図5.3-7 半無限斜面を仮定した表層崩壊の簡単な安定計算の概念図

試験を実施したところ、図5.3-5のような結果が得られた。拘束圧が大きいケースほど、応力ひずみ関係のひずみ硬化の傾向が強くなるとともに、ダイレイタンスが小さくなる（収縮側に近くなる）ことがわかる。

破壊規準線を同定した状況を図5.3-6に示す。粘着力 c をゼロと仮定した場合もあわせて示した。既述のように、絶乾状態の試験結果は強度をやや過大評価していると思われるため、表層崩壊時に火山砂に発揮されていたせん断抵抗はさらに小さかった可能性がある。

(4) 表層崩壊の簡単な機構解析

前項で得た火山砂の強度定数を用いて、半無限斜面を仮定した簡単な機構解析を行い、表層崩壊の発生事実と

の整合性について考察を加える。図5.3-7に示すように、火山砂の薄層内に浸透する地下水から大きな水圧が作用して、火山砂層の上位にある土塊の滑動を助長した、という機構を前提に、斜面の安全率を計算すると、

$$F_s = \frac{c' + [\gamma_t H - \gamma_w (H - h)] \cos^2 \theta \tan \phi'}{\gamma_t H \sin \theta \cos \theta} \quad (5.3.1)$$

上式に基づけば、豪雨前の自然含水比状態とサクシヨンの失われた状態（絶乾状態の強度定数を使用）それぞれにおいて、表5.3-4のような値が得られる。ここで、 $H=1.0\text{m}$ 、 $\gamma_t=18\text{kN/m}^3$ と仮定した。

なお、後者の計算においては、地表面から h の深さに地下水（またはそれに相当する水頭）があることを想定した。斜面傾斜角 θ を20、30度と仮定した各ケースに

表 5.3-4 半無限斜面を仮定した安全率 ($H=1.0\text{m}$, $\gamma_t=18\text{kN/m}^3$)

(a) 自然含水比状態の強度定数ケース (水圧なし)

θ (deg)	F_s
20	2.83
30	1.96

(b) 豪雨時 (サクシヨン消失時の強度定数) のケース

θ (deg)	h (m)	F_s
20	1 (水圧なし)	1.75
	0.5	1.27
	0 (地表面)	0.80
30	1 (水圧なし)	1.10
	0.5	0.80
	0 (地表面)	0.50

において、地表面から約20cm, 80cmの深度までそれぞれ水位が上昇すると、安全率が1.0を割ることが示唆された。これらは実際の災害事象と大きくは矛盾しない。

ただし、伊豆大島三原山の斜面全体を巨視的に見ると、かなり透水性がよい地盤構成と考えられるので、よほどの降雨量が集中しない限りは、この火山砂層が完全飽和してさらに水位が上昇する（あるいは被圧状態になる）前に、地下水はより深部に浸透してしまうと推定される。すなわち、今回の台風豪雨はそれに勝るような集中した降雨量があったための事象と見るべきかもしれない。

参考文献

- 1) 本明将来, 横内啓隆, 若井明彦, 後藤 聡: 台風 26 号による伊豆大島土砂災害の表層崩壊機構の検討 (その 1: 遠心模型実験), 第 49 回地盤工学研究発表会講演集 (印刷中), 2014.
- 2) 横内啓隆, 本明将来, 若井明彦, 後藤 聡: 台風 26 号による伊豆大島土砂災害の表層崩壊機構の検討 (その 2: 解析的検討), 第 49 回地盤工学研究発表会講演集 (印刷中), 2014.

(若井, 内村, 荒木, 稲垣, 後藤)

5.4. 崩壊・泥流発生のタイミング

崩壊や泥流がいつ発生したかを知ることは、降雨との関係を検証する上で不可欠な情報であり、防災上も重要である。被災地に土砂が到達した時刻についてはおおまかな時刻が住民の証言に基づいて報じられているが、深夜に山腹で起きた崩壊や泥流の正確な発生・流下時刻については伊豆大島の火山観測網で捉えられた地震記録が今のところ唯一の手掛かりである。ここでは伊豆大島における火山観測網で捉えられた地震波記録に基づき、伊豆大島での崩壊・泥流の発生時刻について論じる。

伊豆大島の火山観測は東京大学地震研究所と独立行政法人防災科学技術研究所ならびに気象庁の3機関によってそれぞれ行なわれている。そして災害直後にプレス発表ないしWeb上にその情報が公開されている。ここではそれらの地震波形を比較検討し、今回の災害における表層崩壊・泥流の発生時刻について検討してみたい。

(1) 防災科学技術研究所の観測記録

防災科学技術研究所の火山観測点は、火山防災および火山噴火予知研究を目的に伊豆大島に4箇所設置されている¹⁾ (図5.4-1)。このうち2ヶ所は島の東海岸(大島動物公園)と南海岸近くの波浮にあり、今回の崩壊に近いのは御神火茶屋と温泉ホテルの2ヶ所である。

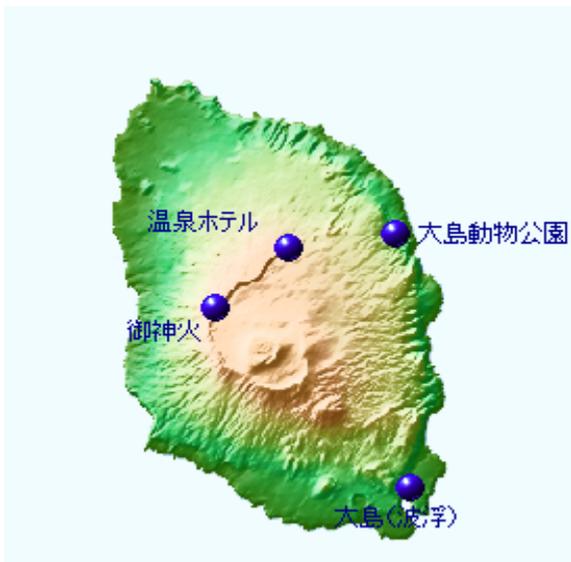


図5.4-1 防災科研の伊豆大島火山観測点¹⁾

防災科研で観測された地震記録(図5.4-2)は10月21日付けでプレス発表された。それによると島の東部の動物公園(ODKV)と南部の波浮(OSMV)の観測点は海岸に近いこともあり、台風の波浪起源の震動ノイズが大きく、地震波形から土砂移動と思われる震動を見いだすことは難しい。また表層崩壊発生域に最も近い御神火茶屋(GJKV)の観測記録は通信断によって午前2時30分以降のデータが取得出来なくなっている。それ以降は温泉ホ

テル(OOHV)に設置された記録が中心である。全期間にわたって土砂移動の波形を含む記録が取れている温泉ホテルの記録によると、土砂災害によると推定される震動は午前2時頃から3時台前半までに6回観測されている(図5.4-2の赤矢印)。午前2時台には03分をはじめ、22分、32分、および37分の4回。午前3時台には、02分と16分の2回である。各イベントの震動記録は図5.4-3と図5.4-4に示す様に、1分ないし2分程度継続しているのがわかる(図の左端から右端までが60秒)。

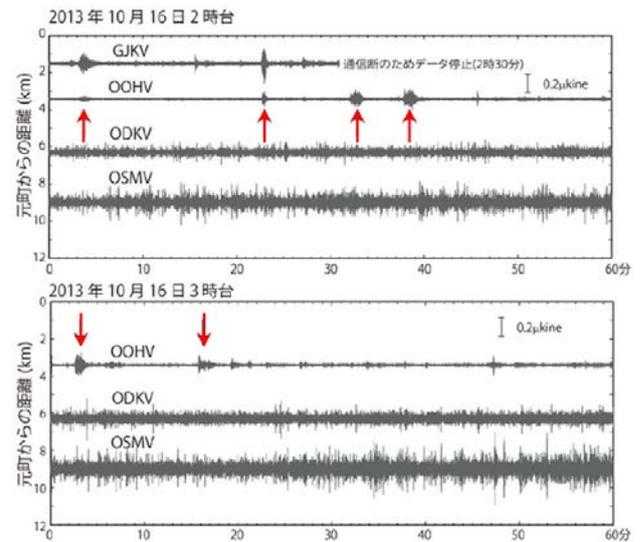


図5.4-2 防災科研の火山観測点の波形記録¹⁾

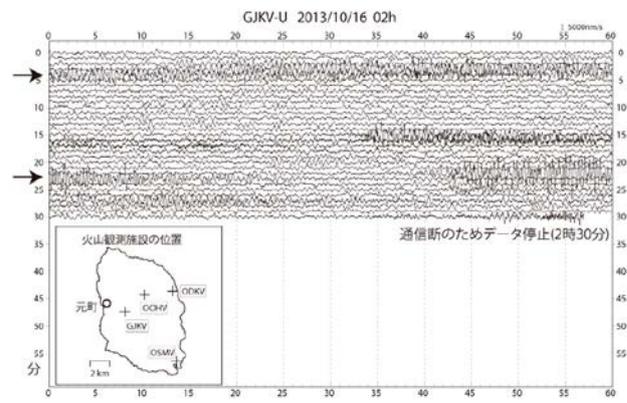


図5.4-3 防災科研御神火茶屋観測点の波形記録¹⁾

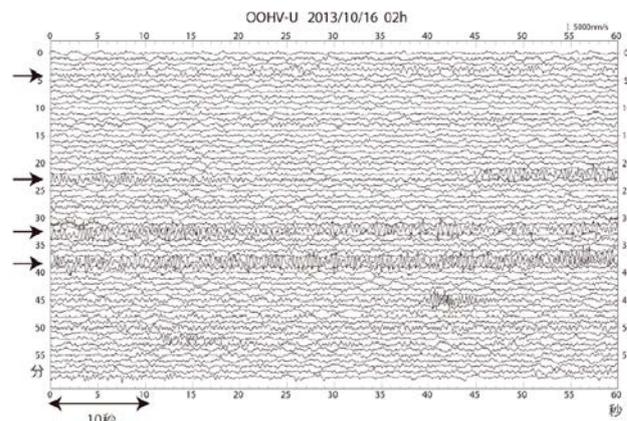


図5.4-4 防災科研温泉ホテル観測点の波形記録¹⁾

(2) 東京大学地震研究所による観測記録

東京大学地震研究所は伊豆大島島内に20箇所以上の地震観測点を設けている(図5.4-5)。伊豆大島の地震観測記録と10月16日の土砂災害との関係については第127回火山噴火予知連絡会(10月22日開催)において当日配布資料²⁾として公開されている。また京都大学防災研究所からは、東大地震研の地震観測記録を用いて解析を行った結果についてWeb上に公開されている。

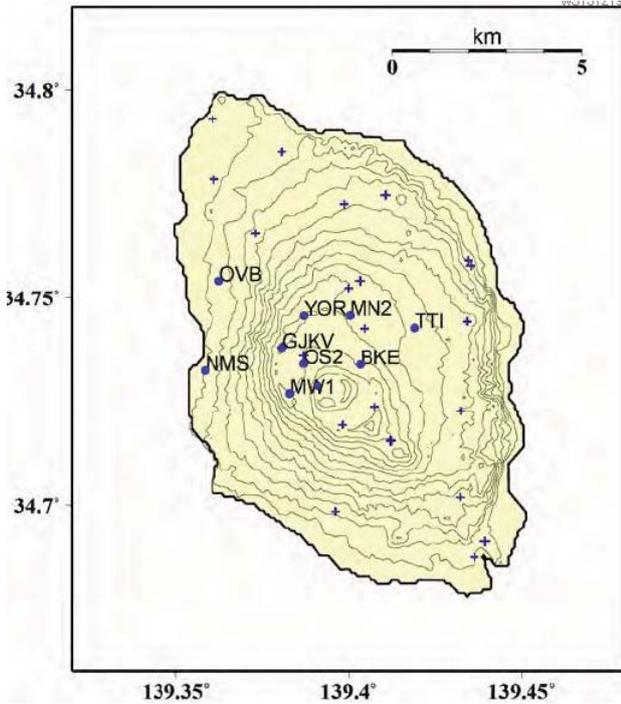


図5.4-5 東大地震研の火山観測点の位置²⁾

火山噴火予知連絡会資料²⁾には地震波形(図5.4-6)の特徴について、以下の様にまとめられている。

- 1) 振幅の大きな波群は02時03分、22分、32分、38分、03時02分に観測された。振幅の小さなものは、その他に数個見られる。
- 2) どの波群においてもYOR観測点の振幅が最も大きい。次いでOVB、GJKが大きい。振動源はYORに近い場所と推定される。
- 3) 地震動は短周期成分に卓越し、長周期成分は少なかったと思われる。

1) で述べられている5回の波群は防災科研プレス発表¹⁾の6回のイベントのうち最後の1回を除いたものと一致している。振幅の小さな震動についての記述は東大地震研の予知連絡資料²⁾に記載はないが、京大防災研究所の資料³⁾には東大が指摘した5つのイベントを大きな矢印で示すとともに、より小規模なイベントを小さな矢印によって6箇所示されている(図5.4-7)。

京大防災研は東大地震研の観測記録を用いて地震波形で示されるイベントのうち振幅の大きな5回のイベントについて各観測点での波形比較を示して、震動開始時

刻の時間差などを含めて以下のようにまとめている。

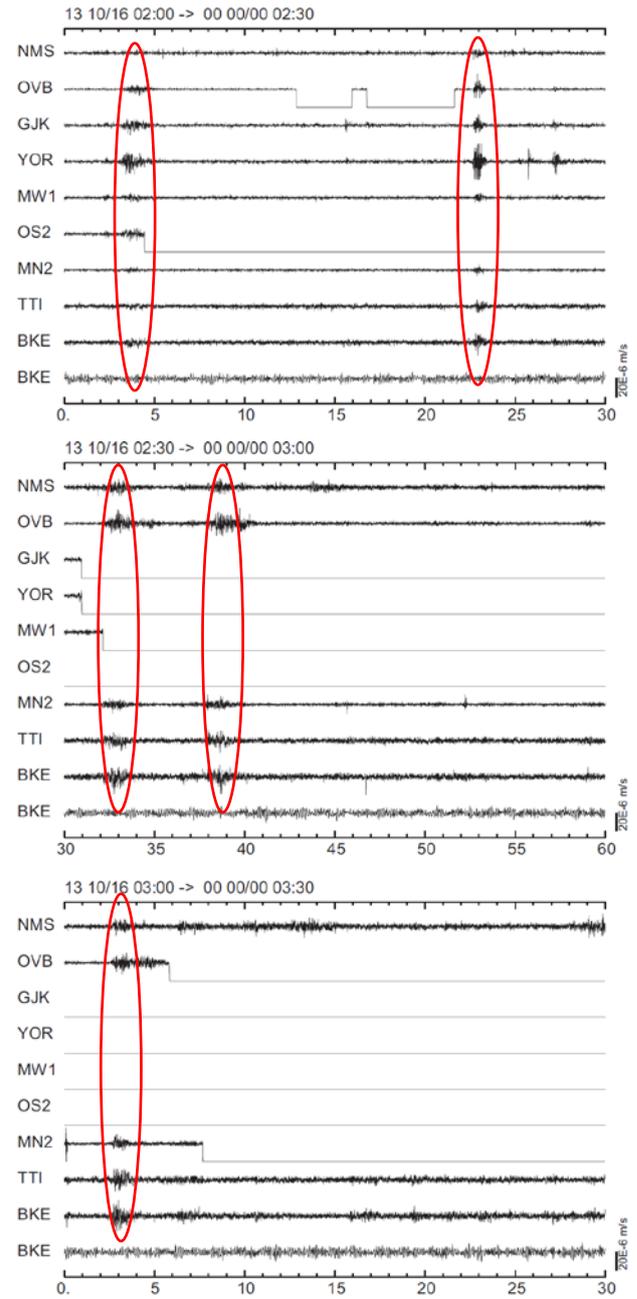


図5.4-6 東大地震研の波形記録²⁾ (30分ごと)
波形は1~8Hzのバンドパスフィルター

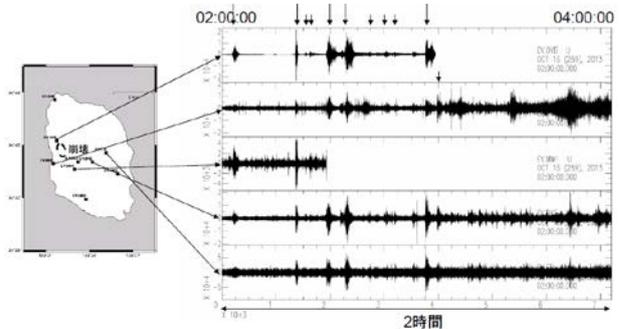


図5.4-7 東大地震研データの京大防災研の解析結果³⁾

- 1) 午前2時から午前4時にかけて継続時間が長く（30秒から数分程度）、常時微動とは異なる様相を示した波群が複数回、およそ同時（数秒程度の違い）に複数の観測点で記録されていた。
- 2) 午前4時から午前6時においては顕著な波群は少数にとどまった。
- 3) 検出された波群の卓越周期は1～数Hz程度であった。
- 4) 震動の開始時刻は崩壊地近くの観測点で最も早い。

(3) 観測記録と崩壊・泥流発生タイミング

以上見て来たように、伊豆大島の観測網によって捉えられた地震波形記録によって、やや振幅の大きいイベントが5～6回、振幅の小さなイベントが6回程度発生していることが分かった。観測点ごとに多少の違いはあるが、合わせて11～12回程度の通常地震波形とは異なる震動を記録した時間帯があり、各々30秒前後から最大4分程度の継続時間を持つ。これらの記録は表層崩壊、泥流などの土砂移動によって生じた震動である可能性が考えられた。

新聞記事に掲載された被災住民の証言から場所ごとの被災時刻の一覧を作成し表5.4-1に示した。証言による被災時刻は1件を除いて震動波形が記録された午前2時から3時半にかけての時間帯と一致している。各研究機関が伊豆大島に設置した地震計で捉えられた波形記録は崩壊・泥流の流下時に生じた地表震動を記録したものと推定できる。

表5.4-1 新聞取材による被災に関する証言記録

場所	時刻	証言内容	出典	証言者
神達地区	2.00頃	ドーンという音で目が覚めると上流の家が流されてきて衝突、キッチンや風呂が埋まる	朝日10/17朝刊	男性(29)
椿園ホテル	2.00頃	何かが裂けるような音と振動、その後玄関ドアが破れ土砂が流入し1階廊下は腰の高さまで埋まる	朝日10/17朝刊	ホテル社長
お寺住職	2.00頃	泥・水・草・がれきが流入	朝日10/16夕刊	男性(36)
大金沢	3.30頃	大金沢の氾濫を確認	朝日10/18朝刊	大島署員
元町地区 大金沢	3.00頃	夫婦で床から天井まで押し上げられ屋根裏へ逃げた	朝日10/19朝刊	女性(75)
元町地区	2.00過ぎ	豆球が停電と同時にガラスが割れて水が流入、夫婦で別棟の熊野佳佑(28)宅へ濁流の中を素足で避難、自宅は全壊	朝日10/19朝刊	女性(86)
元町地区	2.45	テレビで台風情報確認中に「ガーッ」の異音で沢と反対の部屋へ夫婦で移動した直後に窓から泥流が入る	朝日10/19朝刊	男性(83)
書店	1.30 2.00頃	ゴオーという地鳴りのような音 2階に避難後に1階1部屋が流される	朝日11/1朝刊	男性(64)
元町2丁目	3.00過ぎ	家族に起こされたら室内は水浸し	朝日10/16夕刊	女性(84)
元町2丁目 海治い	3.00頃	水や土砂が流入、テレビが消えて停電	朝日10/17朝刊	男性(60)

(4) 崩壊・泥流発生タイミングと降雨の関係

次に伊豆大島における降雨状況（時間雨量、積算雨量）と崩壊の発生との関係について検証したい。図5.4-8は5.1節でも紹介した10分ごとの降雨強度の推移と積算

降雨のグラフである。図中に震動イベントの生起時間も書き入れている。崩壊発生地点に近いアメダス大島観測点の雨量データでは、地震計の震動イベントが始まる午前2時までに約500mmに達する積算降雨があり、この時点からの雨量強度は時間降雨に換算して120mmと激しい雨になっている。そしてこの降雨強度は震動イベントが続く、午前2時台から午前3時台前半まで断続的に続いている。時間雨量で100mm前後の豪雨は3時半以降もさらに2時間程度続いていたが、地震計には大きな震動イベントは記録されておらず、地震計に記録されるような大規模な土砂移動はほぼ収束したと考えられる。

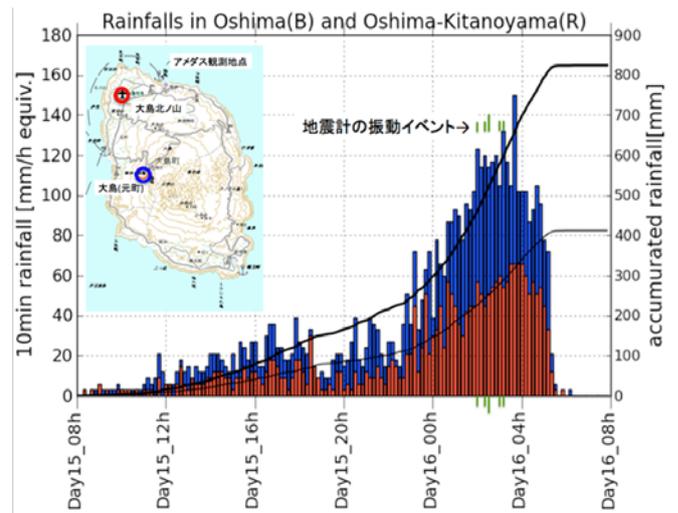


図5.4-8 10月14日～17日における大島2地点の10分間降水量と積算雨量

(5) 類似の土砂災害との比較

今回の伊豆大島で発生した表層崩壊は、何層もの火山砕屑物が薄く斜面と平行に堆積した場所で発生している。これと類似する状況で起きた過去の土砂災害としては、1990年の九州熊本のアサカカルデラ内で起きた豪雨災害（写真5.4-1）や同じ地域で2012年に起きた災害がある。また基盤の地質は異なるがイタリアのナポリ近郊のSarno山で1998年に起きた土砂災害（写真5.4-2）は、石灰岩の山の斜面に堆積したベスビオ火山起源の火山砕屑層が雨によって表層崩壊を起こしたもので、その災害状況は、伊豆大島2013年災害と酷似している。そこで、それらの災害を引き起こした降雨の記録と今回の災害の降雨を簡単に比較して見た。



写真5. 4-1 1990年に阿蘇外輪山で起きた表層崩壊⁴⁾



写真5. 4-2 1998年Sarno市で起きた火山碎屑層の表層崩壊

図5. 4-9から図5. 4-11まで、各土砂災害の発生前後における最近傍地点で得られた降雨記録を示した。阿蘇1990年災害では図5. 4-9の赤矢印で示した時刻が、被災地において土砂災害が発生の時間帯である。おそらく、この数分から10数分前頃に崩壊や泥流が起きはじめたと推測される。起きはじめる時刻までに、累積で300mmに達する降雨と時間雨量にして60~70mmの強度の降雨が続いて降っていた。また同じ阿蘇の2012年災害では累積雨量が300mmから400mmに達し、時間雨量にして90mm~120mmとかなり強い降雨の時間帯に多く発生したことが

示された。伊豆大島ほどではないがそれに近い累積雨量と降雨強度によって発生している。しかし一方イタリアのSarno山の1998年の災害では累積雨量で80mm~100mmとさほど多くない積算降雨のあと時間雨量4~5mm程度の非常に弱い雨の状況下で起きている。

このような差異は、過去の降雨履歴や斜面勾配、堆積している火山碎屑層の物性等の違いによって生じると考えられ、一概には決められないようである。

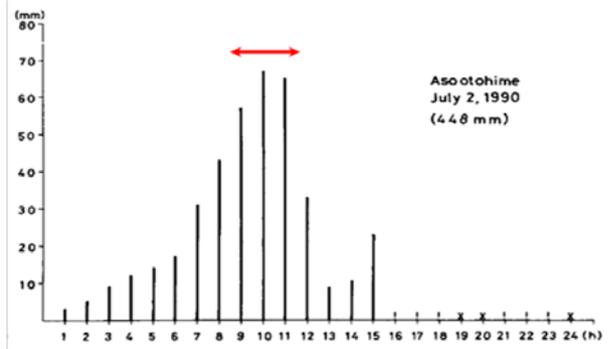


図5. 4-9 阿蘇1990年災害における降雨記録（乙姫）⁴⁾

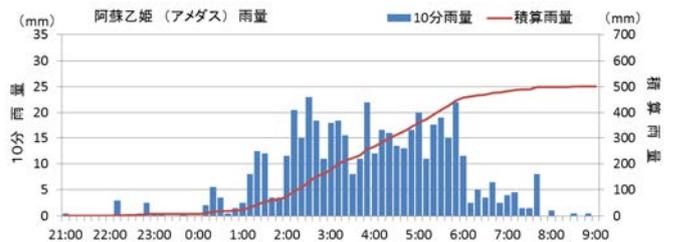


図5. 4-10 阿蘇2012年災害における降雨記録（乙姫）⁵⁾

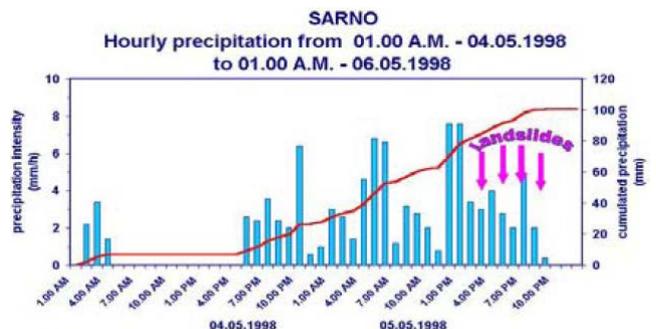


図5. 4-11 イタリアSarno山の降雨記録⁶⁾

(6)まとめ

伊豆大島の火山観測データから規模の大きな震動波形が5~6回、小さな震動が6回程度記録されている。

これらは住民の被災した時刻等から表層崩壊・泥流の流下によって生じた震動であると考えられる。

地震波形が記録されている午前2時から3時半前の間には、大規模な土砂移動が起きた時間帯であったと考えら

れる。

崩壊・泥流は、積算雨量が450mmを超え、降雨強度が120mm/hを越えた2時過ぎに始まり、1時間半程度断続的に続いた。3時半以降も100mm/h前後の豪雨が2時間近く続いたが、顕著な震動は記録されておらず、大規模な土砂移動は収束しつつ、洪水氾濫的な災害に移行したと思われる。

地表附近に降下火山砕屑物が堆積している類似の地質状況の地域における表層崩壊・泥流の発生事例においては、伊豆大島より少ない累積雨量でも発生が確認できた。より少ない降雨強度で発生しており、地域ごとの地形や堆積物の物性に依存すると思われる。

参考文献

- 1) 防災科学技術研究所（防災科研）：防災科研の火山観測施設で観測された伊豆大島の土砂災害に伴う震動，プレス発表資料，2013.
- 2) 東京大学地震研究所：第127回火山噴火予知連絡会（2013年10月22日）資料（その8）当日配布資料 pp.5-6, 2013.
(<http://www.seisvol.kishou.go.jp/tokyo/STOCK/kaisetsu/>

CCPVE/shiryo/127/127_no08.pdfにて公表).

- 3) 京都大学防災研究所斜面災害研究センター（文責：土井）：2013/10/16 伊豆大島の斜面崩壊に伴う振動，2013年10月16日未明の伊豆大島における斜面崩壊に関する報告（その3），2013.
(http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/web_j/contents/event_text/20131016-3.pdfにて公表)
- 4) 大八木規夫・佐藤照子・八木鶴平：1990（平成2）年7月豪雨による九州地方の洪水・土砂災害調査報告. 防災科学技術研究所主要災害調査 No.31, 126pp, 1991.
- 5) 公益社団法人土木学会 九州北部豪雨災害調査団；平成24年7月九州北部豪雨災害土木学会調査団報告書，2013
- 6) Andrea Arturi, Fabio Del Frate, Emanuele Lategano, Giovanni Schiavon and Salvatore Stramondo : THE 1998 SARNO (ITALY) LANDSLIDE FROM SAR INTERFEROMETRY . Proceedings of the FRINGE 2003 Workshop (ESA SP-550). 1-5, 2003.

(井口 隆, 上野将司, 鼎信次郎, 稲垣秀輝, 二瓶泰雄, 清水義彦, 後藤 聡)

5.5 土砂・洪水流出特性

(1) 地盤の侵食及び土砂の堆積深分布

図5.5-1に神達地区周辺の地盤の侵食及び土砂の堆積深の平面分布を+1m~-1mの範囲のコンターで示す。用いたデータは、平成24年度に国土地理院が航空レーザー測量によって測定したDEMデータと被災後の平成25年10月に東京都によって航空レーザー測量によって測定されたDEMデータであり、これらの差によって地盤の侵食深及び土砂の堆積深の平面分布としている。なお、平成25年の被災後のデータについては、堆積した流木をデータから適切に除去できていないため、流木及び流木の下空隙等も含めて「土砂の堆積」として判断しているため、実際の土砂の堆積量よりも多くなっている点に注意が必要である。図5.5-1より、神達地区よりも東側の地盤高さの高い領域での土砂の流動域の多くは、道路上での土砂の堆積などの一部の場所を除いて、地盤の侵食域となっていることがわかる。これは、泥流の流下方向（西向き）に沿った斜面勾配が0.15よりも大きく、斜面勾配が非常に急勾配となっており、崩壊及び流動した土砂が堆積せずに地盤を侵食したためと考えられる。また、泥流流動後、時間雨量100mm以上の豪雨が1時間以上降り続けており、泥流によって樹木が流出し、地盤が露出した領域では雨によってさらに地盤が侵食されたと考えられる。土砂の堆積域は、神達地区の北の地区、大金沢の堆積工の中、神達地区の西地区となっている。神達地区から下流域は、斜面勾配が0.1以下と土砂が堆積しやすい勾配であるとともに、家屋等による抵抗も加わるため、神達地区よりも西側に土砂の堆積域が広がっていることが分かる。なお、堆積工は、今回の災害が発生する前の時点ではほぼ空の状態であり、流れてきた土砂の多くを捕捉したことがわかる。

ここで、神達地区から大金沢の堆積工の下流の流路工南までの領域において土砂が堆積せずに、地盤が侵食、もしくは侵食も堆積も発生していない状況について考察する。この領域は、泥流発生直後は周辺の領域と同様に、土砂が堆積していたと思われる。しかし、当該領域は、その後の時間雨量100mm以上の降雨により発生した流れの流下領域となり、一旦堆積した土砂が洗い流されたものと考えられる。

図5.5-2に神達地区周辺の地盤の侵食及び土砂の堆積深の平面分布を+5m~-5mの範囲のコンターで示す。図より、地盤が5m以上侵食されている領域も一部発生している。しかし、5m以上侵食されている領域は非常に少なく、斜面の崩壊及び泥流による地盤の侵食が薄く広い領域で発生したことが分かる。

神達地区周辺に着目し、DEMデータを用いて図5.5-1の黒枠で囲まれた領域で地盤の侵食量と土砂の堆積量を

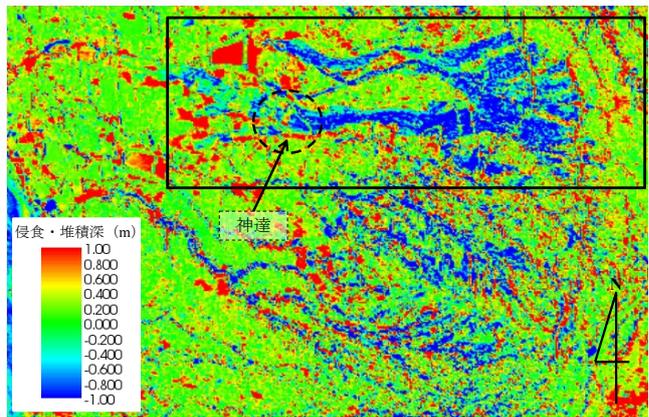


図 5.5-1 神達地区周辺の地盤の侵食及び土砂の堆積深の平面分布 (+1m~-1mのコンター) ^{1),2)}

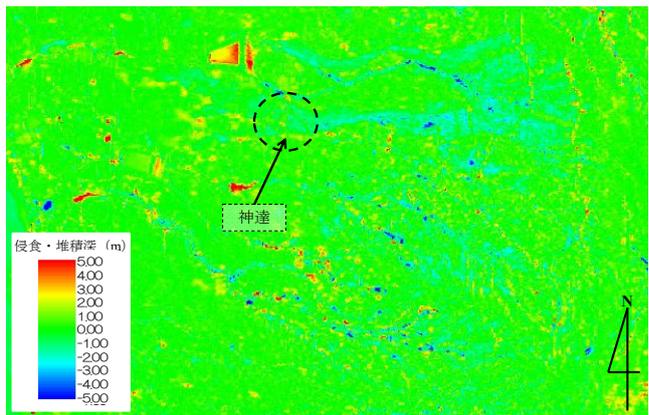


図 5.5-2 神達地区周辺の地盤の侵食及び土砂の堆積深の平面分布 (+5m~-5mのコンター) ^{1),2)}

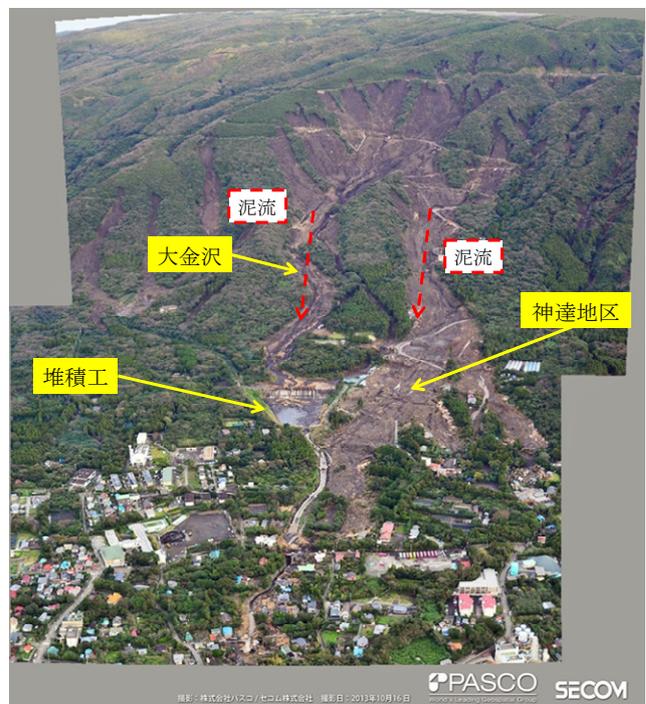


図 5.5-3 被災後の神達地区周辺の様子

算出すると、それぞれ、約30万 m^3 と約39万 m^3 となる。下流へ流出した土砂があることを考えると、堆積量は侵食量よりも小さくなるべきであるが、DEMの値から得ら



図5.5-4 源頭部周辺の様子

れる堆積量は、侵食量よりも多くなっている。これは、前述のように、流木及び流木の下有空隙等も含めて「土砂の堆積」として判断していることと、当該斜面は樹木が密生しており、樹木域のDEMの精度があまり高くないためと考えられる。

(2) 泥流の流動後の現地の状況

図5.5-3に神達地区周辺の航空写真を示す。図に示すように、泥流が流れた経路は、大金沢を流れた経路と神達地区を流れた経路の大きく二つあることがわかる。両方を合わせると、南北約600mの広い範囲で土砂が流動しており、複数の場所から斜面崩壊が発生したことが分かる。これらの斜面崩壊は、起点が異なるため同時に発生して一気に下流に流れたとは考えにくく、数波に分かれて下流に流下したと考えられる。実際、地震計も複数回の揺れを観測している。

図5.5-4に、源頭部周辺の様子を示す。調査は山頂から少し下った道路（御神火スカイライン）から行った。道路の上方斜面（東側斜面）では、近くで3ヶ所の斜面崩壊が発生していた。これらの斜面崩壊は小規模であり、

崩壊厚さは約50cm、それぞれの崩壊幅は5m以下であった。これらの斜面崩壊によって、図5.5-4 (c) と (d) に示すように、道路上の電柱、ガードレール、道路標識などが破壊され、道路上には土砂と樹木が氾濫していた。流出した土砂は、図5.5-4 (b) に示すように、平均粒径約0.5mmの火山灰であった。調査地の崩壊斜面からは、火山灰層の下に存在すると思われる溶岩層は見られなかった。

図5.5-5に、図5.5-4よりも北西の中腹部の様子を示す。図5.5-5 (a) に示すように、中腹部では泥流及び豪雨によって地盤が侵食され、流路が形成されたことを確認できた。地盤の土砂は粘着性を有しているようであり、流路幅が狭く、流路深が深い形状特性を有していた。中腹部で地盤が侵食された領域の多くはこのような粘着性材料を含む地盤が露出した状態であったが、図5.5-5 (b) , (c) , (e) に示すように、一部の地盤からはスコリア層や溶岩層が露出しており、10cm～1m程度の粒径の岩石が流出していた。ただし、後述するように、これらの岩石は下流の宅地までは到達していなかった。前述のように、侵食厚さは非常に薄く、図5.5-5 (d) に示すよう



図 5.5-5 中腹部の様子



図 5.5-6 神達地区及びその下流域（西側の領域）の様子

に、多くの領域で侵食厚さは1m以下であった。

泥流による土砂は、道路を横切るように流れてる場所が多かったが、寸断させるほど道路を破壊した場所は図 5.5-5 (f) に示す1カ所のみであり、多くの場所では道

路の損傷は少なく、道路は斜面崩壊や泥流による土砂や流木の堆積域となっていた。

図5.5-6に神達地区及びその下流域（西側の領域）の被災状況を示す。図5.5-6 (a) および (b) に示すよう

に、道路や住宅の敷地内には、約50cmの厚さで火山灰が堆積した痕跡があった。また、図5.5-6 (c) に示すように、住宅の敷地内には、塀を乗り越えて侵入した多くの流木が堆積していた。これらの流木に火山灰があまり付着していないことや地震計による揺れの計測時刻などから、これらの土砂や流木は、泥流発生時に一気に流れて来たのではなく、泥流発生後も続いた豪雨によって流されてきた可能性がある。また、図5.5-6

(e) に示すように、流路工の中には土砂がほとんど堆積していない。これは、上流の堆積工が多くの土砂を捕捉したことと泥流発生後も豪雨が続いたためと考えられる。なお、堆積工は調査時点では満砂であったため、土砂流出時の途中からは土砂が流路工に供給されたと考えられる。また、図5.5-6 (e) に示すように、流路工は周辺の地盤よりも数m低い。そのため、泥流発生時に土砂や流木が南の神達地区から流入したと思われる。しかし、その後の豪雨によって土砂濃度の低い水と土砂の混合物が大量に流れ込み、土砂及び流木を流下させたものと思われる。

前述のように、神達地区では土砂の堆積と侵食の両方の作用を受けたものと推察される。調査時の神達地区の地盤の様子を見ると、図5.5-6 (f) のように、溶岩層が露出している場所も見られ、約2mのステップ状の地形となっている場所もあった。また、この地点よりも上流域（東側の領域）においても図5.5-7に示すように、多くのステップ状の地形が見られた。これらは、被災前の地盤形状の影響を受けているとともに、火山灰層の下の溶岩表面の形状を反映している可能性もある。つまり、溶岩層形成時、溶岩流は何波も発生し、それぞれの溶岩流先端の停止位置が異なり、階段状の溶岩層表面形状を形成し、その上に火山灰が堆積し、宅地として利用しやすい階段状の地形となっていた可能性がある。これについては今後の検討・確認が必要である。

(3) 泥流の数値シミュレーション

神達地区周辺で発生した泥流の流動特性を明らかにするために、泥流の平面二次元解析を行った。解析に用いた基礎方程式を以下に示す。

水及び土砂の混合物の質量保存則⁴⁾を一般座標系で記述すると以下のようである。

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{h}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{hU}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{hV}{J} \right) = \frac{E}{c_* J} \quad (5.5.1)$$

ここに、 t は時間である。泥流の流動深は h である。 U と V は ξ と η 方向における反変速度成分であり、以下のように定義される。



図 5.5-7 ステップ状の地形⁴⁾

$$U = \frac{\partial \xi}{\partial x} u + \frac{\partial \xi}{\partial y} v \quad (5.5.2)$$

$$V = \frac{\partial \eta}{\partial x} u + \frac{\partial \eta}{\partial y} v \quad (5.5.3)$$

ここに、 u と v は x と y 方向における流速成分、 c_* は静止堆積層の砂礫の堆積濃度、 E は河床の侵食速度であり、以下の江頭らの式⁴⁾を用いる。

$$\frac{E}{\sqrt{u^2 + v^2}} = c_* (\tan \theta - \tan \theta_e) \quad (5.5.4)$$

ここに、 θ は流動方向の河床勾配であり、以下の関係がある。

$$\sin \theta = \frac{u \sin \theta_x + v \sin \theta_y}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (5.5.5)$$

ここに、 θ_x は x 方向の河床勾配、 θ_y は y 方向の河床勾配である。 θ_e は水及び土砂の混合物中の鉛直平均土砂濃度

\bar{c} に関する流動方向の平衡河床勾配であり、以下の関係がある。

$$\tan \theta_e = \frac{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \bar{c}}{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) \bar{c} + 1} \frac{h_s}{h} \tan \phi_s \quad (5.5.6)$$

ここに、 ϕ_s は土砂の内部摩擦角である。流体中の土砂の質量保存則⁴⁾を一般座標系で記述すると以下のようである。

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\bar{c}h}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\bar{c}hU}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\bar{c}hV}{J} \right) = \frac{E}{J} \quad (5.5.7)$$

運動量保存則⁴⁾を一般座標系で記述すると以下のようである。

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{hU}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(U \frac{hU}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(V \frac{hU}{J} \right) \\
& \quad - \frac{hu}{J} \left(U \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right) + V \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right) \right) \\
& \quad - \frac{hv}{J} \left(U \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \right) + V \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \right) \right) \\
& = -gh \left(\frac{1}{J} \left(\left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \right)^2 \right) \frac{\partial z_b}{\partial \xi} \right. \\
& \quad \left. + \frac{1}{J} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) \frac{\partial z_b}{\partial \eta} \right) \\
& \quad - \frac{1}{\rho_m} \left(\frac{1}{J} \left(\left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \right)^2 \right) \frac{\partial P}{\partial \xi} \right. \\
& \quad \left. + \frac{1}{J} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) \frac{\partial P}{\partial \eta} \right) \\
& \quad - \frac{\tau_{b\xi}}{\rho_m J} \tag{5.5.8}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{hV}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(U \frac{hV}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(V \frac{hV}{J} \right) \\
& \quad - \frac{hu}{J} \left(U \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + V \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right) \right) \\
& \quad - \frac{hv}{J} \left(U \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + V \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right) \right) \\
& = -gh \left(\frac{1}{J} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) \frac{\partial z_b}{\partial \xi} \right. \\
& \quad \left. + \frac{1}{J} \left(\left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right)^2 \right) \frac{\partial z_b}{\partial \eta} \right) \\
& \quad - \frac{1}{\rho_m} \left(\frac{1}{J} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) \frac{\partial P}{\partial \xi} \right. \\
& \quad \left. + \frac{1}{J} \left(\left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right)^2 \right) \frac{\partial P}{\partial \eta} \right) \\
& \quad - \frac{\tau_{b\eta}}{\rho_m J} \tag{5.5.9}
\end{aligned}$$

ここに、 g は重力、 z_b は河床位である。 P は圧力であり、以下の関係を用いる。

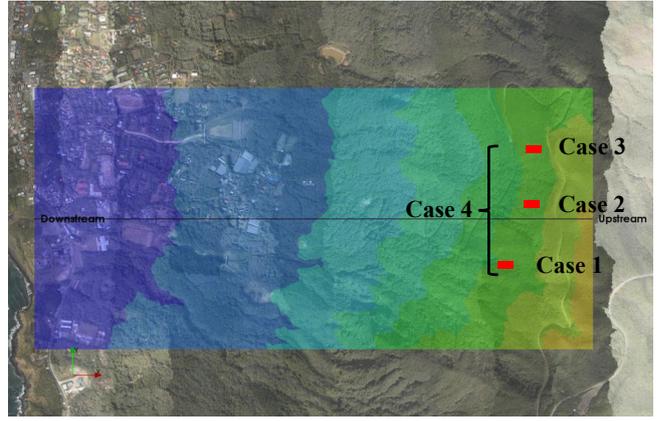


図 5.5-8 解析領域

$$P = \int_0^h \rho_m g (h - z) \cos \theta dz \tag{5.5.10}$$

ここに、 z は鉛直方向の軸である。 ρ_m は以下の関係がある。

$$\rho_m = (\sigma - \rho) \bar{c} + \rho \tag{5.5.11}$$

ここに、 ρ は水の密度、 σ は土砂の密度である。 $\tau_{b\xi}$ と $\tau_{b\eta}$ は ξ と η 方向における反変掃流力成分であり、以下のように定義される。

$$\tau_{b\xi} = \frac{\partial \xi}{\partial x} \tau_{bx} + \frac{\partial \xi}{\partial y} \tau_{by} \tag{5.5.12}$$

$$\tau_{b\eta} = \frac{\partial \eta}{\partial x} \tau_{bx} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \tau_{by} \tag{5.5.13}$$

ここに、 τ_x と τ_y は x と y 方向におけるの掃流力成分であり、以下のようなものである。

$$\tau_{bx} = \rho \frac{f_b}{8} (u^2 + v^2) \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} \tag{5.5.14}$$

$$\tau_{by} = \rho \frac{f_b}{8} (u^2 + v^2) \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} \tag{5.5.15}$$

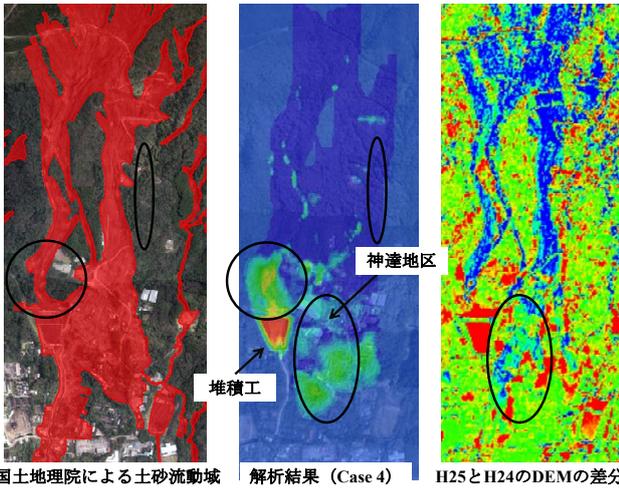
f_b は抵抗係数であり、本泥流解析では以下の関係を用いる。

$$f_b = 72\alpha^2 \tag{5.5.16}$$

$$\alpha = \frac{\kappa}{6} \tag{5.5.17}$$

河床位方程式⁴⁾を一般座標系で記述すると以下のようである。

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{z_b}{J} \right) = -\frac{E}{c_* J} \tag{5.5.18}$$



国土地理院による土砂流動域 解析結果 (Case 4) H25とH24のDEMの差分
 図 5.5-9 地盤の侵食・土砂の堆積域の平面分布, 国土地理院による泥流流動域の平面分布⁹⁾, DEMによる侵食・堆積域の平面分布^{1), 2)}

解析領域は、図5.5-8にコンターで示した領域であり、神達地区及び大金沢を流れた泥流の流動域が含まれている。初期地形データは、平成24年度に計測された国土地理院による5mメッシュデータである。解析格子は、流下方向（東西方向）に15m、横断方向（南北方向）に12mとした。斜面崩壊は3ヶ所を想定した。Case 1は最も南側の斜面崩壊であり、神達地区に多くの土砂が流れ込むと想定したものである。Case 2は神達地区の真東に位置している場所からの斜面崩壊であるが、大金沢流域内に位置している。Case 3は最も北に位置している斜面崩壊であり、多くの土砂が大金沢に流れ込むことを想定したものである。Case 4は3ヶ所の崩壊が同時に発生した場合である。各斜面崩壊の崩土の大きさは同一であり、厚さ0.5m、流下方向の長さ45m、横断方向の長さ36mであり、体積は810m³である。なお、地盤は飽和しており、斜面崩壊とともに土砂だけでなく空隙に存在する水が供給され、泥流が形成されるとしている。

まず、本解析による泥流現象の再現性について検討する。図5.5-9はCase 4による地盤の侵食・土砂の堆積域の平面分布、国土地理院による泥流流動域の平面分布⁹⁾、DEMによる侵食・堆積域の平面分布^{1), 2)}を示したものである。国土地理院による泥流流動域の平面分布と解析結果を比較すると、解析結果は神達地区東部や堆積工東部での流動域が広く評価されている。これは、解析格子が粗く、深い谷の形状が十分考慮されておらず、泥流が平面的に広がりすぎたためと考えられる。このように、本解析では実際に発生した泥流現象を再現できていない部分もあるが、それぞれの斜面崩壊の発生位置からの泥流の流下経路、流動速度、侵食・堆積域の概形など、泥流のいくつかの特性は評価できると考えられる。なお、本解析では神達地区は土砂の堆積域と評価されているが、DEMによる侵食・堆積域の平面分布では、侵食か堆積

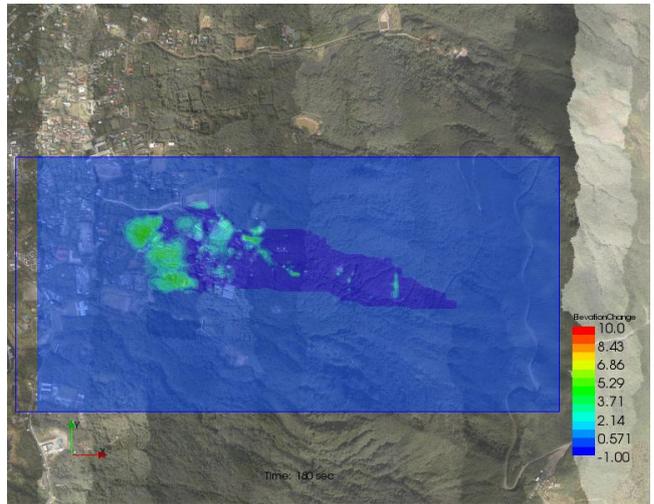


図 5.5-10 Case 1の180秒後の侵食・堆積域の平面分布

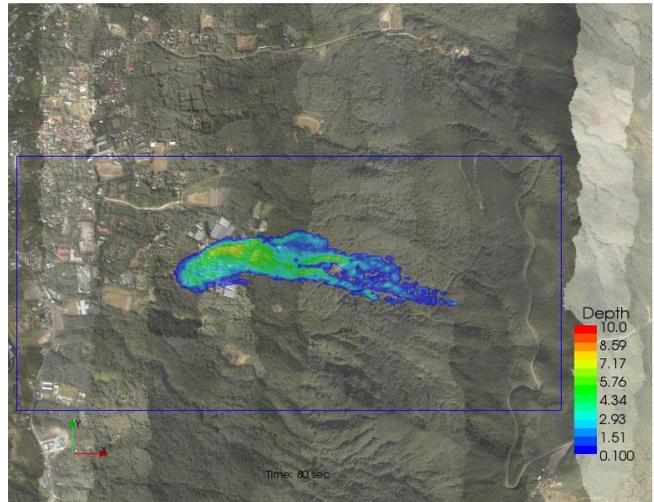


図 5.5-11 Case 1の80秒後の流動深の平面分布

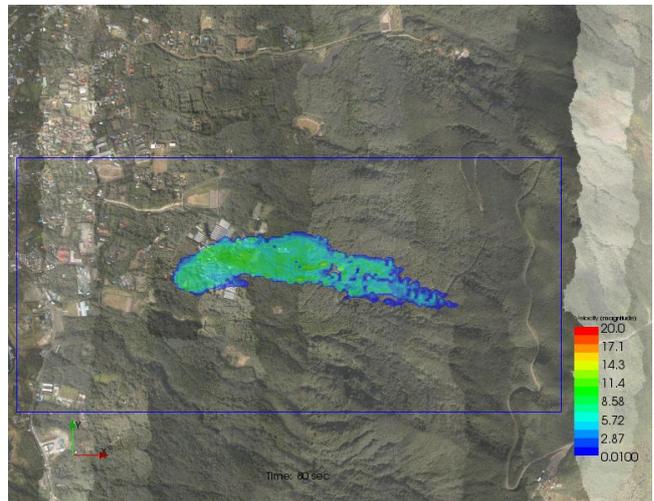


図 5.5-12 Case 1の80秒後の流速の平面分布

も侵食も発生していない領域となっている。これについては、前述の通り、泥流発生後の時間雨量100mm以上の豪雨によって、泥流によって堆積した土砂が侵食されたと考えられるため、本解析条件の対象外である。

図5.5-10にCase 1の180秒後の侵食・堆積域の平面分布を示す。図より、南側の斜面からの崩壊による泥流は全

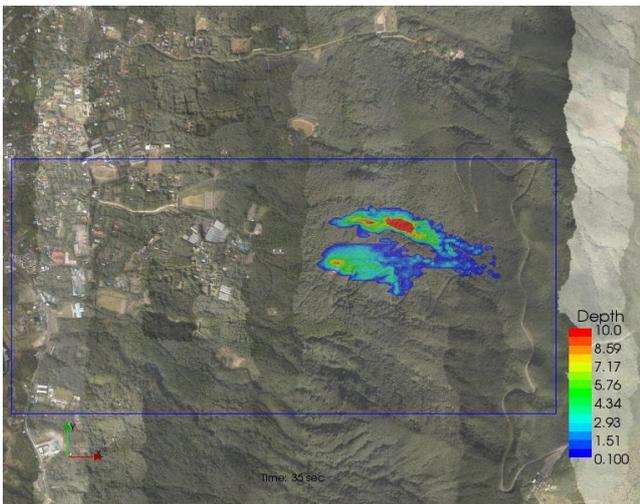


図 5.5-13 Case 2 の 35 秒後の流動深の平面分布

てが神達地区に流れ込んでいることがわかる。また、図 5.5-11 に示すように、斜面崩壊発生地点から神達地区までの 1200m を約 80 秒で泥流は流下している。時速に換算すると約 54km/h であり、泥流が非常に速い速度で斜面を流下したと推察される。また、図 5.5-12 に示すように、神達地区に到達したときの泥流の速度は約 11m/s (時速約 40km) であり、非常に速い速度で家屋や樹木を流出させたと考えられる。

図 5.5-13 に Case 2 の 35 秒後と流動深の平面分布を示す。Case 2 の斜面崩壊発生地点は大金沢の流域に位置しており、図に示すように Case 2 の斜面崩壊に起因した泥流の多くは大金沢に流れている。しかし、泥流の一部は神達地区の方にも流れていることがわかる。大金沢に流れた土砂の多くは、図 5.5-14 に示すように、堆積工に捕捉され、堆積工を越流して堆積工下流域の流路工に流れ込む土砂は非常に少なかった。

図 5.5-15 に Case 3 の 180 秒後の侵食・堆積域の平面分布を示す。図に示すように、Case 3 の斜面崩壊による土砂は全て大金沢に流れ、堆積工に流れ込んだことがわかる。

図 5.5-16 に Case 4 の 180 秒後の侵食・堆積域の平面分布を示す。本解析では 3ヶ所の斜面崩壊を同時に発生させているが、実際にはこれらの斜面崩壊は異なる時間で発生していると考えられる。そのため、本解析は一度に多くの泥流が流れる解析となっているにもかかわらず、住宅地が密集している都道 208 号線までは泥流は到達していないことがわかる。これは、神達地区から西側の地区の流下方向斜面勾配が緩やかであるためである。なお、一部の土砂は都道 208 号を越えて海まで到達している。これは、前述のように、泥流発生後の豪雨によって流路工の沿って流れたものと推察される。

参考文献

- 1) 平成 24 年度 DEM は国土地理院から提供
- 2) 平成 25 年度 DEM は東京都から提供

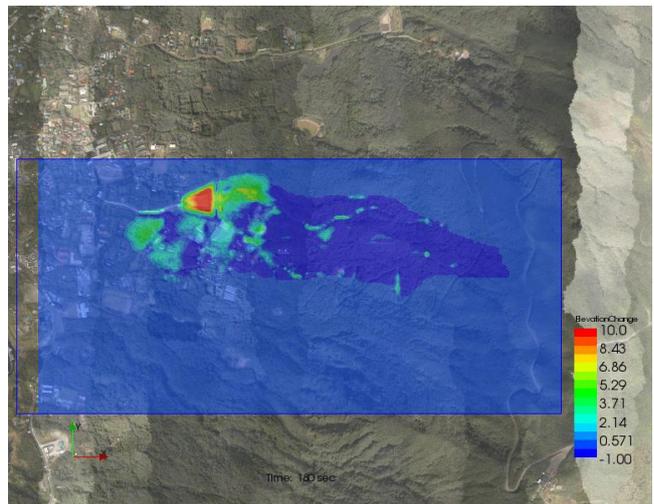


図 5.5-14 Case 2 の 180 秒後の侵食・堆積深の平面分布

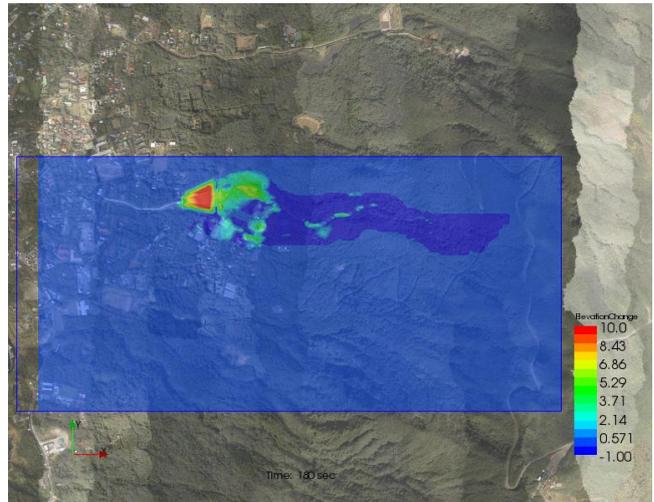


図 5.5-15 Case 3 の 180 秒後の侵食・堆積深の平面分布

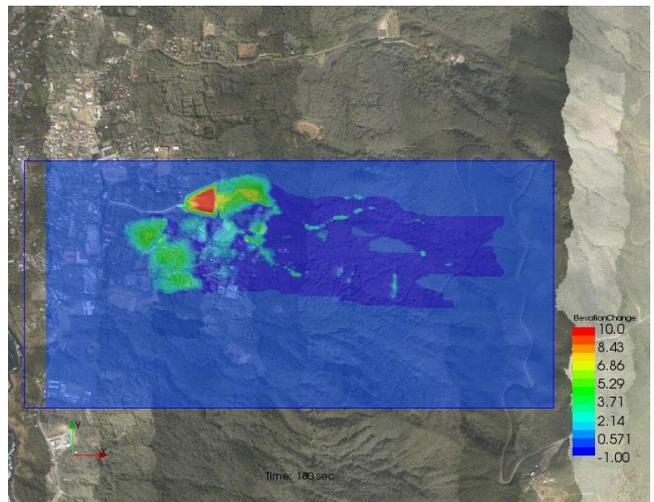


図 5.5-16 Case 4 の 180 秒後の侵食・堆積深の平面分布

- 3) 土井一生：2013/10/16 伊豆大島の斜面崩壊に伴う震動，2013年10月16日未明の伊豆大島における斜面崩壊に関する報告（その3），京都大学防災研究所HP，2013.
- 4) 江頭進治・伊藤隆郭：土石流の数値シミュレーション，日本流体力学会数値流体力学部門Web会誌，第12

卷, 第2号, pp. 33-43, 2004.

- 5) 国土地理院災害情報共有マップ (地理院地図)

(竹林 洋史)

5.6 流木の生産・流出特性

(1) 流木の生産・堆積・収支

a) 流木の生産

航空写真(図5.6-1)の画像解析によって各流域の崩壊割合を算出し、その割合を用いて崩壊面積を各流域で算出した。崩壊地の状況(図5.6-2)ならびに残存樹木を調査したところ、樹林は標高が高い地点では直径が小(5-10cm)密度が大(0.5-1本/m²)で、低い箇所では直径が大きく(10-20cm)密度が小(0.5-0.1本/m²)であった。



図5.6-1 各流域の定義 (Google earthの画像を用いて作成)



(a) 源頭部付近の崩壊状況



(b) 神達地区上流域の流木の堆積

図5.6-2 流木の生産と堆積 (源頭付近)



図5.6-3 崩壊領域 (Google earthの画像を用いて作成)

航空写真(図5.6-3)の画像解析によって各流域の崩壊面積を各流域で算出した。この崩壊面積から生産樹木の大まかな重量を算定したところ、約3700 tとなった(算出条件:樹高6m, 直径10cm, 樹木密度0.25本/m², 生木の比重は約1)。

東京都の速報値⁹⁾では、他流域も含む総量が11.4万t(土砂8万t, 流木2.4万t)となっており流木の割合が20%を超える。しかし、繁茂密度と崩壊深さ(0.5-1m)から、土砂がついていない流木量(地下部・枝・葉を除く)の割合は10%程度と推定される。八重沢や長沢でも流木は同程度生産されていることから、この対象とした流域内のみでは概ね妥当な値とし、約3700 tを以下の解析に使用した。なお、密度を一定に与えている点や航空写真から算出しているため精度に課題があること、また、他の資料では流木生産量をもっと大きな値で算定している資料もあるため、今後さらに精査する必要がある。

b) 流木の堆積と収支

現地調査ならびに航空写真で崩壊地に残る樹木を計測したところ、最も残存が確認された神達地区上流域においても局所的な集積であることより、全体的に見てみると0.1%以下であった。次に、堆積位置を特定し、その高さ・面積から体積を出した。計測位置に関しては、流木の堆積が比較的多かった箇所(海岸エリア1, 海岸エリア2, 流域工1エリア, 元町橋上流, 元町橋の5エリア)を中心に、源頭部, ①流域, 神達地区流域の樹木がどのようなルートでどこに流れ、堆積したかを調べた。

図5.6-4に堆積状況の写真を示す。



図5.6-4 堆積した流木の調査(a)元町橋周辺(b)元町橋(c)大金沢本川堆積工(d)海岸, (a),(c)は(株)パスコ, (b)は東京都大島支庁より提供



図5.6-5 流木堆積位置の領域分け
(株)パスコより提供を受けた写真を元に作成

流木の収支を抑えるため、堆積範囲を図5.6-5の4箇所(水色点線)に分類した。現地調査ならびに航空写真で各地域に堆積した樹木を計測した。計測方法は、堆積エリアの面積、高さ、正味の流木の割合(写真より推定)である。なお、海岸部は堆積厚さは写真から判別できなかったが水面で浮いて広がることを想定し0.5mとした。それに加え、堆積した箇所の写真より流木の塊内の空隙率を0.8と想定し、正味の樹木割合0.2をかけると、流木堆積量は約3700tで、流木生産量と概ね合う値となる。

これをもとに、各地域から発生した流木と堆積した流木の収支を表すと図5.6-6のようになる。

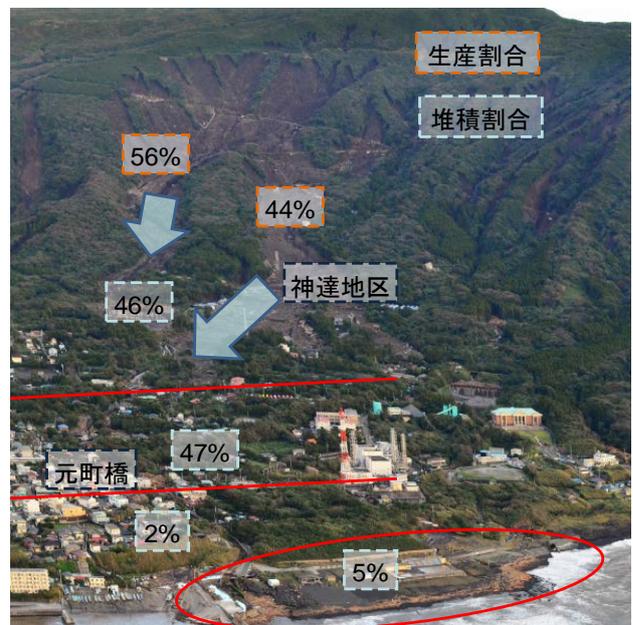


図5.6-6 流木の生産と堆積の収支(株)パスコより提供を受けた写真を元に作成)

これより、以下のことが明らかとなった。

- ・ 大金沢流域北支川で生産された流木の一部と、神達

地区上流で生産された流木のほとんどが、本川堆積工下流の流路工に流入し、流路工沿いに流下した。

- ・ 流路工途中の橋桁にぶつかり堆積した。
- ・ 元町橋においても橋桁にぶつかり、ここで大量に堆積した。
- ・ 残りは海岸へ向かい、全体の約7%が元町橋下流もしくは海岸に堆積した。

(2) 泥流の流量、流速、水深の算出（神達地区）

a) 流出解析方法

ここでは、泥流がどの程度の流量で神達地区を通過したかを見積もり、神達地区の家屋に働いた力を算出することに重点を置く。そのため、崩壊時の流出量、崩壊土砂に含まれていた水の量（貯留量）、崩壊土砂量を解析する必要がある。

災害箇所において流量観測データはないことから、精密なモデル作成を行なうことは難しいが、ここでは、山地上流域のデータをもとに作成された木村の総合貯留関数²⁾（式(5.6.1)、(5.6.2)）を用いて、流出量と貯留量の解析を行った。

$$s_l = 40.3q_l^{0.5} \quad (5.6.1)$$

$$\frac{1}{3.6} f_1 A q_l + \frac{1}{3.6} (1 - f_1) A q_{sa,l} = Q_l \quad (5.6.2)$$

ここに、 s_l ：単位貯留高(mm/hr)、 q_l ：単位流出高(mm/hr)、 f_1 ：流出係数、 R_{sa} ：飽和雨量(mm)、 $q_{sa,l}$ ：飽和雨量以後の単位流域面積当たりの流出高(mm/hr)、 A ：流域面積(km²)、 Q_l ：流出流量(m³/s)である。

また、 f_1 と R_{sa} については火山岩地域における値としては、経験上は0.5、300mm程度と想定されるが、本地域は火山灰堆積層があり貯留能力も高いと推定され、かつ既往研究事例も少ない。そのため、解析結果に与える影響を評価するため、以下のように複数のケースでの検討を行う。

まず f_1 に関しては、対象とした流域が第四紀火山岩流域であるため、通常0.53~0.73の値が用いられる²⁾。この点を考慮し、0.5~0.8の値で計算を行った。 R_{sa} に関しては、崩壊のタイミングと飽和するタイミングを考慮するのが困難であったため、第四紀火山岩流域における代表的な値である300mmの他、400mm、460mm（災害発生時午前2時時点での累加雨量）の3ケースについて試すこととした。

なお、防災科学技術研究所のデータからは、10/16未明に6回の地震波形が観測され、神達地区に近い観測所GJKV（三原山頂口展望台近くに設置）で、最も大きな震動が観測されている³⁾。本解析に関係するのは、多い場合で源頭部と、神達地区の山側にある小さな尾根越え

の2回があることが想定されるが、この解析に相当する範囲では源頭部の崩壊が神達地区を直撃したと考え、1回で同時に発生したと想定した。

図5.6-7に気象庁大島観測所の降雨ハイトグラフを示す（縦軸は10分間降雨強度と累加雨量を示す。災害発生時は降雨ピークの前であったことがわかる。図5.6-8は神達地区の流出ハイドログラフである（泥は含まない）。

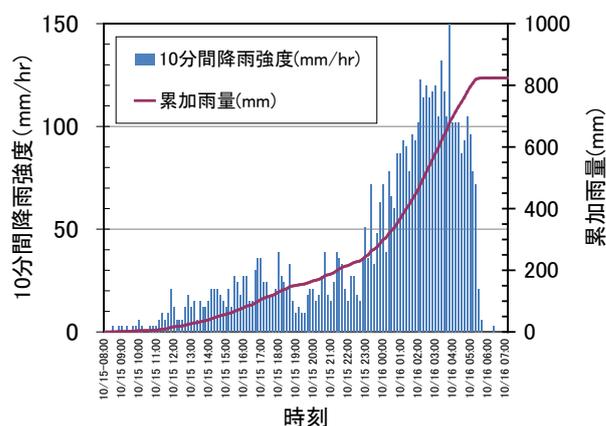


図5.6-7 降雨ハイトグラフ

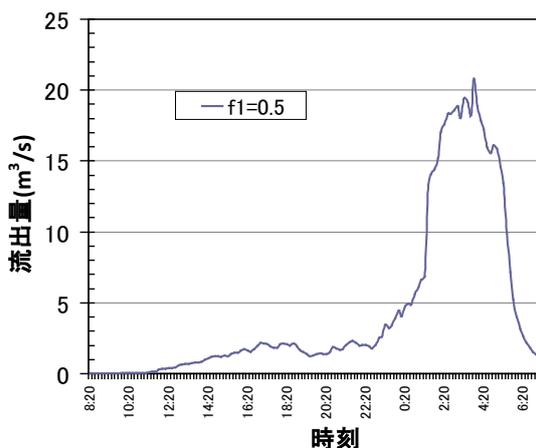


図5.6-8 流出ハイドログラフ

b) 神達地区における泥流のピーク流出量

感度分析の結果、 f_1 の値は災害発生前の流出には影響を与えるが、災害発生時には飽和していることから、泥流が発生した時刻以降の流出量には影響をあまり与えないことがわかる。一方、式(2)より f_1 と R_{sa} は地盤に含まれる貯留量そのものに関係するため、パラメータの推定値により誤差が大きい。以上のことから、 f_1 の値を第四紀火山岩流域において一般的に用いられる値の前後を含む0.2,0.5,0.8の3通り、 R_{sa} を300,400,460の3通りの計9ケースについて、計算結果を幅で示すこととする。

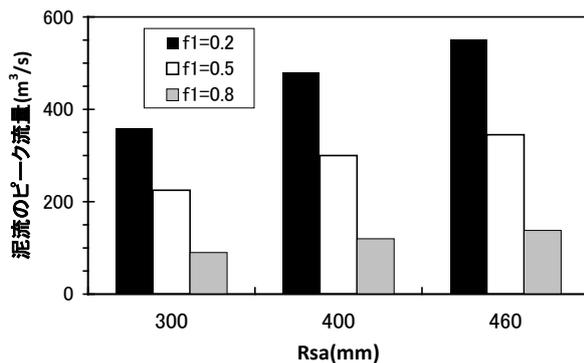
ただし、斜面崩壊発生時には斜面崩壊の起きた流域においてその崩壊面積分の水の量を加える必要がある。この点に関しては、崩壊した面積全体が飽和した状態で、

短い時間のうちに流出すると仮定し、式(3)より流出流量を計算した。

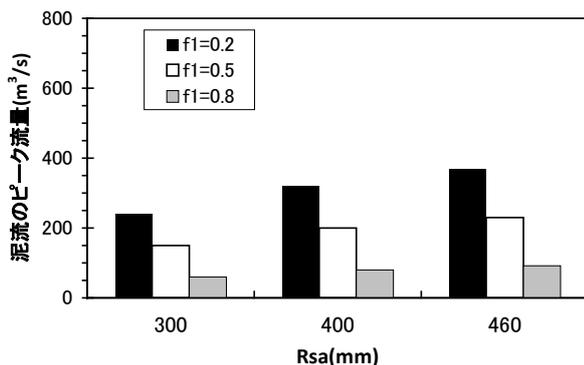
$$\frac{1}{3.6} A q_l + \frac{1000}{T} R_{sa} A_{co} = Q_{co} \quad (5.6.3)$$

ここに、 A_{co} ：崩壊面積(km²)、 Q_{co} ：崩壊時流出量(m³/s)、 T ：崩壊した土砂が到達する時間(秒)を示す。

この時間に関しては、京都大学防災研究所の調査(朝日新聞の速報値)によると、崩壊した土石流が源頭部の崩壊した付近から下流へ1.5~2.0kmを2分間で通過した⁴⁾と推定されている。また、1/23の報告会資料⁹⁾では、「斜面崩壊発生から土砂が神達地区まで到達する時間は、約80秒、神達地区での泥流の流速は時速約40km/h程度であったと推察される」とされている。このことを考慮し、源頭部と崩壊流域からの泥流が一体となって神達地区を泥流ピークまで80秒かけて流下したと仮定した(波形は三角波形とした)。以上より、神達地区における泥流のピーク流量を式(3)より計算した。図5.6-9にその解析結果を示す。



(a) ピーク到達時間 T を80秒とした場合



(b) ピーク到達時間 T を120秒とした場合

図5.6-9 泥流のピーク流量 (f_i , R_{sa} , T)による相違

泥流のピーク流量は、当然ながら、 f_i , R_{sa} , T によって大きく異なる。この流量を神達地区の幅90mで割って、水深と流速を求め、平均到達時間を求めると、 $T=80$ 秒、 $R_{sa}=400$ mmのとき、 $f_i=0.2, 0.5, 0.8$ のとき、時速51, 42,

29km/h、 $T=120$ 秒、 $R_{sa}=400$ mmのとき、 $f_i=0.2, 0.5, 0.8$ のとき、時速44, 36, 25km/h、となる。源頭部から神達地区の距離は約1000mであり、 $T=80$ 秒、120秒の仮定は平均時速40km/h、30km/hに相当することから、 $T=80$ 秒の仮定の方が仮定に近い値を算出していることがわかる。なお、この値は、前述した竹林らの1/23報告会資料「土砂・洪水流出特性」⁹⁾とも整合するものである。以上より、 $T=80$ 秒、 $R_{sa}=300, 400$ mmのとき、 $f_i=0.2, 0.5, 0.8$ のときのデータを用いて家屋に働いた流体力を次節で推定する。

また、泥流のピーク流量は平均的な $R_{sa}=400$ mm、 $f_i=0.5$ の場合でも400m³/s程度と大であり、洪水のピーク流出量20m³/sの約20倍も大きいことがわかる。これは地盤内部に貯留された水が一気に押し寄せてくるためである。同地域における今後の危険度を推定するため、また、類似した地域における被害特性を把握するためには、貯留特性の精度を向上するような観測が必要であることがわかる。

c) 神達地区の家屋に働いた泥流と流木の流体力

流体力には泥流の密度が関係するため、以下の情報より密度を推定する。崩壊土砂の深さは50-100cmで飽和雨量が300から400mmとすると、崩壊した土砂の量は貯留されていた水の量と同程度であると推定できる。そのため、泥流の比重 s を約2と推定した。

マンニングの式を用いると、水深 h を式(4)より推定できる。

$$h = \left(\frac{Q_{co}}{B} \times n I^{-1/2} \right)^{3/5} \quad (5.6.4)$$

ここに、 B ：神達地区における泥流の流路幅 (=90) (m)、 h ：水深(m)、 n ：マンニングの粗度係数、 I ：流路勾配である。

崩壊面は粘土のような不透水層なので、 $n=0.02$ とすると、 $T=80$ 秒 ($R_{sa}=300$ mm, $R_{sa}=400$ mm) の場合、家屋にあたってせき上がる前の水深 h は、それぞれ14-32cm, 16-37cmとなる。土砂を含めてせき上がる前の水深を想定し約2倍とすると、土石流の水深は28-64cm, 32-74cmであったと推定される。なお、これは家屋にぶつかってせきあがる前の水深であり、流木がぶつかる分の高さを含めていない。そのため痕跡よりも低い値となる。

この土石流の水深を用いて流体力指標 $\rho_a v^2 h$ 、モーメント指標 $\rho_a v^2 h^2$ を計算 ($\rho_a = s\rho$ で、 ρ , ρ_a はそれぞれ水と泥流の密度、 s は比重) し、表5.6-1から表5.6-3に示す。なお、1/23の報告会資料⁹⁾は $T=120$ 秒の場合の推定値を示しているため、 $T=80$ 秒 ($R_{sa}=300$ mm, $R_{sa}=400$ mm) で示される値は、報告会資料より大きな値となる。また、表5.6-3の値が1/23報告会資料⁹⁾と異なるのは、神達地区に流入する幅を精査し150mから90mに修正したためである。

表5.6-1 家屋に働いた流体力（到達時間 $T=80$ 秒， $R_{sc}300$ mmの場合）

f_I	泥流の平均時速 (km/h)	単位幅流体力 $\rho_a u^2 h_a$ (kN/m)	単位幅流体力によるモーメント $\rho_a u^2 h_a^2$ (kN)	単位幅流体力 $\rho u^2 h$ の限界値 (kN/m)	単位幅流体力によるモーメント $\rho u^2 h^2$ の限界値 (kN)
0.2	46	203	128	30(50%破壊) ⁶⁾	34 田中ら ⁷⁾
0.5	38	105	50	100(100%破壊) ⁶⁾	76 高橋ら ⁸⁾
0.8	26	29	8		

表5.6-2 家屋に働いた流体力（到達時間 $T=80$ 秒， $R_{sc}400$ mmの場合）

f_I	泥流の平均時速 (km/h)	単位幅流体力 $\rho_a u^2 h_a$ (kN/m)	単位幅流体力によるモーメント $\rho_a u^2 h_a^2$ (kN)	単位幅流体力 $\rho u^2 h$ の限界値 (kN/m)	単位幅流体力によるモーメント $\rho u^2 h^2$ の限界値 (kN)
0.2	51	304	228	30(50%破壊) ⁶⁾	34 田中ら ⁷⁾
0.5	42	157	89	100(100%破壊) ⁶⁾	76 高橋ら ⁸⁾
0.8	29	44	14		

表5.6-3 家屋に働いた流体力（到達時間 $T=120$ 秒， $R_{sc}400$ mmの場合）

f_I	泥流の平均時速 (km/h)	単位幅流体力 $\rho_a u^2 h_a$ (kN/m)	単位幅流体力によるモーメント $\rho_a u^2 h_a^2$ (kN)	単位幅流体力 $\rho u^2 h$ の限界値 (kN/m)	単位幅流体力によるモーメント $\rho u^2 h^2$ の限界値 (kN)
0.2	44	172	101	30(50%破壊) ⁶⁾	34 田中ら ⁷⁾
0.5	36	89	40	100(100%破壊) ⁶⁾	76 高橋ら ⁸⁾
0.8	25	25	6		

前節でも示したように、 $T=120$ 秒の場合は仮定とやや合わないこと、シミュレーションの値との整合性を考慮することより、 $T=80$ 秒の場合、すなわち表5.6-1, 2に基づいて考察を行なう。同表で、 $f_I=0.2\sim 0.5$ に対し、単位幅流体力は100%限界値を大きく超えており、 $f_I=0.8$ の場合で50%破壊の限界値の前後の値をとる。モーメントによる限界値も同様に、 $f_I=0.2\sim 0.5$ は限界値を超え、 $f_I=0.8$ は限界値を超えていない場合もある。本事例は水深が薄い場合であることから、流体力によって、家屋の1階部分を横にずらして破壊するようなせん断破壊が生じたと推定される。災害後の現地において、破壊された家屋の家財道具があまり泥まみれになっていなかったこと、基礎がむき出しになっていたこと（埋没していなかったこと）は、上記の考察を裏付けるものであると考えられる。

次に、流木の衝突力を求める。流木（質量 m ）と家屋の衝突は完全非弾性衝突と仮定し、流速 V における衝突力 F は力積により求めた（式(5)）。

$$mV = F\Delta t \quad (5)$$

ここに、 V は衝突直前の流木の速度（流速と同じとした）、 Δt は衝突力が加わる時間で、FEMAの基準（木材と木材の衝突の場合）¹⁰⁾より1秒とした。

衝突力の算定結果を表5.6-4、表5.6-5に示す。衝突力そのものは泥流の流体力に比べて小さいため家屋そのものをなぎ倒すには複数本が同時にぶつかるか集積したこ

とによる力が働いた場合であることがわかる。なお、家屋にぶつかる面積が小さいため、同じ面積で比較すると実際はもっと大きい。応力換算の流木衝突力は、 $R_{sc}300$ mm, 400mmの場合で、それぞれ約40-80kPa, 約50-90kPaに相当するため、泥流流体力の応力換算値（表5.6-1, 2を水深で序して単位面積値にしたもの：約210-640, 270-810kPa）と比較して、小さくはなく、壁を局部的に破壊する力を有していたと判断される。また、複数本が固まった場合は、泥流そのものと同程度の破壊力を有していることがわかる。

表5.6-4 家屋に働いた流木1本あたりの衝突力（到達時間 $T=80$ 秒， $R_{sc}300$ mmの場合）

f_I	1本あたりの衝突力 (kN)	1本あたりの衝突力によるモーメント (kNm)
0.2	0.60	0.19
0.5	0.50	0.12
0.8	0.34	0.05

表5.6-5 家屋に働いた流木1本あたりの衝突力（到達時間 $T=80$ 秒， $R_{sc}400$ mmの場合）

f_I	1本あたりの衝突力 (kN)	1本あたりの衝突力によるモーメント (kNm)
0.2	0.67	0.25
0.5	0.56	0.16
0.8	0.39	0.06

(3) 本節のまとめ

本節の検討より、泥流被害の主たる要因は、台風26号に伴う豪雨によって第四紀火山岩流域である元町地区の火山灰層に大量の水が貯留され、10月16日午前2:00頃に斜面崩壊をきっかけとして、極めて早い速度で泥流が神達地区を襲ったためであるといえる。個別の結論は以下のとおりである。

- ・神達地区の泥流は崩壊最上流部から1分程度で到達したと推算され、そのピーク流量は崩壊が生じない場合の流出量に比べて20倍程度とはるかに大であった。
- ・神達地区上流域で発生した泥流の破壊力は泥流だけでも家屋のほぼすべてを破壊する流体力を保持していたと考えられる。
- ・流木衝突力は家屋の壁全体が泥流から受けた力に比べると小さいが、ぶつかる面積が小さいので壁を破壊する衝突力をもっていたと考えられる。
- ・流木の収支解析結果より、泥流は流動性が高かったた

め、家屋に衝突後も流木と共に流れ続け、大金沢本川堆積工下流の流路工に流れ込み氾濫した。

・流木の収支上は、流路工沿いに氾濫した流木の多くは神達地区の家屋を破壊したものが、流路に流入し氾濫したものと考えられる。

・流路工沿いの流木の氾濫は、道路橋桁付近に流木が集積したことで、その近傍の家屋周辺の氾濫が増大した。

・火山灰が堆積した地形の場合は貯留量が多いものの、いったん崩壊した場合には、貯留された分だけ破壊力が増大する。こうした地形における流出特性については、今後、観測で知見を高めていくことが必要である。

参考文献

- 1) 産経ニュース (2013.11.4) (URL : <http://sankei.jp.msn.com/affairs/news/131104/dst13110421550007-n1.htm>), 2013.
- 2) 建設省水文研究会：流出計算例題集 2, 社団法人全国建設技術協会発行, 1971.
- 3) 井口隆：崩壊・泥流発生のタイミング, 土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会平成 25 年 10 月台風 26 号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団報告会, 2014.
- 4) 朝日新聞ニュース (2013.10.23) 「伊豆大島の土石流,

最大時速 60 キロ 京大調査で判明」 (URL: <http://www.asahi.com/national/update/1023/TKY201310230086.html>)

- 5) 竹林洋史, 江頭進治, 関根正人, 清水義彦: 土砂・洪水流出特性, 土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会平成 25 年 10 月台風 26 号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団報告会, 2014.
- 6) Hatori, T.: A study of the damage to houses due to a tsunami, Bulletin of the Earthquake Research Institute, 42, 181-191, 1964.
- 7) 田中規夫, 八木澤順治, 飯村耕介, 近藤康太: 津波による海岸林および流失家屋が家屋被害に与える影響, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.68, No.2, pp.I_301-I_305, 2012.
- 8) 高橋 保, 中川一, 加納茂紀: 洪水氾濫による家屋流失の危険度評価, 京大防災研究所年報, 第 28 号 B-2, 1985.
- 9) 田中規夫: 流木の生産・流出特性, 土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会平成 25 年 10 月台風 26 号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団報告会, 2014.
- 10) FEMA: Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis, 2008. (<http://www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=3463>)

(田中 規夫)

5.7 家屋等の被害特性

(1) 調査方法の概要

本災害における家屋被害を把握するために、図5.7-1に示す神達地区やその海側を調査範囲として、1) 家屋被害調査、2) 痕跡水深・水位調査、という2種類の調査を行った。1) の調査では、対象範囲における住宅地図を持参し、地図上に記された建物の被害状況を確認し、家屋情報を収集した。ここでの家屋被災状況としては、「全壊」、「半壊大」、「半壊小」、「損壊無」の4つに分類した。被災状況の定義は、津波被災調査^{1)・2)}を参考に図5.7-2に示すように、「全壊」は家屋が流出したものの、「半壊大」は家屋全体が壊れているものの、「半壊小」は破損が部分的か浸水のみのもので、その他を「損壊無」とした。次に、2) の調査では、家屋や樹木に残されている痕跡（打撃痕も含む）の高さ（痕跡水深）をスタッフで計測し、一部の地点では合わせてVRS方式RTK-GPS（R4、Trimble製）を用いて現場標高を計測し、その値とスタッフで読み取った痕跡水深から痕跡水位を求めた。これらの調査を2013年12月26、27日に実施しており、発災から2カ月以上たち復旧も進んでいる箇所も多いため、家屋被災状況について過小評価している家屋もあり、今後、他機関の調査結果も踏まえて精査する必要がある。また、洪水・泥流の痕跡も残されている箇所も限られていることにも留意されたい。

(2) 対象エリア全体の家屋被害状況

図5.7-3は、調査対象範囲全体における家屋被災マップを色分けして表示している。ここでは、土石流（泥流）の氾濫範囲も合わせて表示している。これより、神達地区において全壊家屋が集中していることが分かる。また神達地区の海側では、大金沢沿いに家屋の全壊や半壊大が記録されている。全壊した家屋の状況としては、図5.7-4に示すように、家屋の基礎や土台のみを残し、そ



図5.7-1 調査範囲



図5.7-2 家屋被災状況の分類例



図5.7-3 家屋被災マップ（全体）



図5.7-4 全壊家屋の状況



図5.7-5 痕跡水深（神達地区，単位：m）

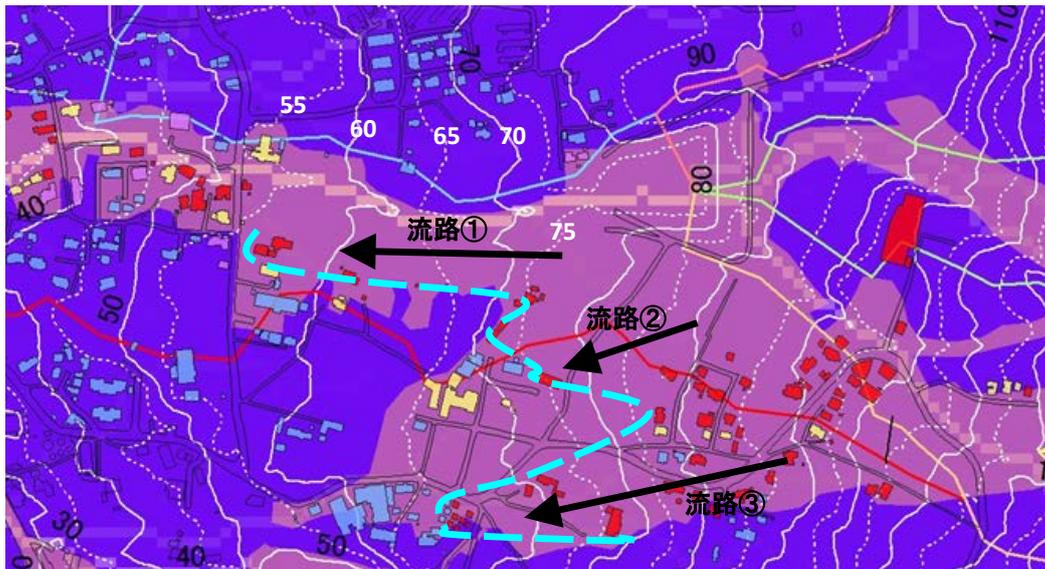


図5.7-6 神達地区に家屋被災状況の詳細マップと地盤高コンター（H24DEM（5mメッシュ）を使用）

れ以外は全て流出していることが分かる。また、大金沢本川の堆積工では越流が確認されているが、その直下流に密集している家屋のうちわずかに1棟のみ半壊小であり、その他の大部分は被害が生じていない。このように堆積工による流木や泥流トラップはある程度機能しており、その下流被害を大きく軽減していることが分かる。

以下では、被害が集中した神達地区と大金沢沿いに分けて、被災状況や泥流の流下状況を詳細に記述する。

(3) 神達地区について

神達地区における痕跡水深の概略を図5.7-5に示す。神達地区では、図中矢印で示すように、泥流の流路は主に3方向に分かれていた。まず、大金沢に近い流路①では、痕跡水深は山側で3.0～5.5m、海側で1.4～3.1m、ホテル椿園に向かう流路②では1.3～5.2m、流路③では山側で2.4～4.4m、海側で2.0～6.0mとなっていた。このように、どの流路も最大で5.6mの痕跡水深に達しており、広範囲に泥流氾濫が生じている様子が伺える。現地には流木も散乱しているが、神達地区における家屋被害は、こ高

速の泥流³⁾が家屋に当たったことが主要因であると考えられる。なお、本調査における痕跡の最大値は、植生や樹木が引っかかっているケースや樹木表面の打撃痕で見られているため、これらの最大痕跡水深は、泥流厚さそのものというよりも泥流とともに運ばれた流木や植片の上端高さに相当しているものと推察される。

上述した泥流の三つの流路の状況を比較するために、被災状況マップと地盤高コンターをオーバーレイしたものを図5.7-6に示す。この地盤高は被災前のデータ（H4DEM, 5mメッシュ）である。また、図中の点線は、観測された全壊家屋のうち最も海側の家屋位置をトレースしたものである。これより、各流路における最も海側に位置する全壊家屋の地盤高は流路①, ②, ③それぞれにおいて57, 75, 67mとなっており、地形勾配が最も緩い流路①に泥流がより集中している様子が伺える。

このような泥流の到達状況と地形特性を比較するために、大金沢の流域界と泥流到達範囲を重ねたものを図5.7-7に示す。ここでは、大金沢を本川、右支川、左支川1, 2と分け、それぞれの流域界を表示している。こ

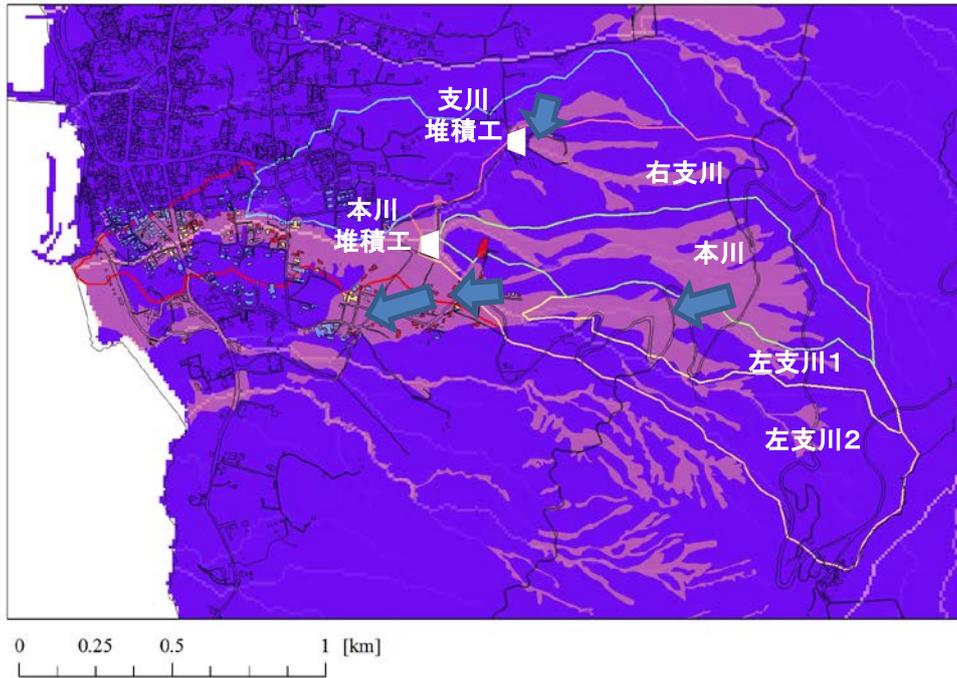


図5.7-7 大金沢流域界と泥流到達範囲



図5.7-8 大金沢での流木捕捉状況（空中写真：国交省提供）

れより、本災害の泥流は流域界を乗り越えて流下しており、それが少なくとも4か所で見られる。本川流域の一部や左支川流域で発生した泥流は、本川堆積工に流れず、流域界を越えて神達地区に流下し、その後、その一部が大金沢本川（流路①）に合流している様子が伺える。地形データを詳細に確認すると、泥流が乗り越えた流域界

の部分ははっきりした尾根があるわけではなく、時速50kmを越える泥流³⁾は容易にこのような尾根を乗り越えたものと考えられる。高速流となり直進性が高い泥流発生域における流域界の設定や流下範囲に関する評価方法の深化・精緻化が今後必要がある。

(4) 大金沢沿いについて

次に、神達地区の海側で被害が集中して見られた大金沢沿いの被災要因について検討する。図5.7-8は、被災直後に撮影された大金沢沿いの元町橋付近における空中写真（国交省提供）を示す。また、地上撮影された写真（元町橋とその下流の橋の様子）を合わせて示す。このように、元町橋には大量の流木が引っかかっていることが分かる。このように橋梁に流木が捕捉され、土砂堆積と合わせて河道閉塞を引き起こして、結果として、大金沢周辺域に洪水・泥流氾濫が発生し、3m以上の痕跡水深を記録している場所も存在した。このような流木による河道閉塞は、元町橋の上流側の橋梁でも確認されている。以上より、大金沢沿いの家屋被害の主要因は、橋梁による流木捕捉に伴う河道閉塞の発生とそれによる洪水氾濫であるものと考えられる。

このように、流木が橋梁に引っ掛かることによる河道閉塞もしくは河道断面積減少による洪水氾濫は様々な水害で観測されている（例えば、近年では2012年九州北部豪雨災害⁴⁾）。そのため、流木が捕捉されにくい橋梁構造の検討等のように、山間部の渓流域で生じやすい流木起源の洪水氾濫を最小化するための橋梁設計の検討が不可欠である。

(5) まとめ

本調査で得られた主な結果は以下の通りである。

- ・神達地区では泥流氾濫、その下流の大金沢沿いでは流木・土砂の河道閉塞による洪水氾濫（泥流も含む）が主な被災要因となった。
- ・渓流域における流木災害・洪水氾濫を防ぐための対策（例えば、流木を考慮した橋梁設計の検討）を早急に検討する必要がある。
- ・直進性の高い泥流発生域における流域界の設定方法や泥流氾濫域の見直しが必要である。

参考文献

- 1) 庄司学, 森山哲雄, 幸左賢二, 松富英夫, 鳴原良典, 村嶋陽一: 2006年ジャワ島南西沖地震津波による家屋等構造物の被災分析, 海岸工学論文集, Vol.54, No.2, pp.861-865, 2007.
- 2) 前川俊明, 二瓶泰雄, 中田遥香: 海岸砂丘・盛土による津波減災効果の検討, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.69, No.4, pp.L1453-L1458, 2013.
- 3) 竹林洋史: 土砂・洪水流出特性, 本書 5.5 節, 2014.
- 4) 土木学会九州北部豪雨災害調査団: 平成24年7月九州北部豪雨災害土木学会調査団報告, 2013.

(二瓶 泰雄)

5.8 土木構造物等の被害特性

(1) 御神火スカイライン：大金沢の土石流による被害

御神火スカイラインに被害をもたらした土砂流のうち、大部分は、斜面の遷急線付近から始まり、大金沢本川堆積工および神達地区に流れ込んだ一連の斜面崩壊によるものがある(図5.8-1のA)。これとは別に、南側の沢から始まり、狭い沢をつたってスカイラインと何度も交差した土砂流がある(図5.8-1のB)。

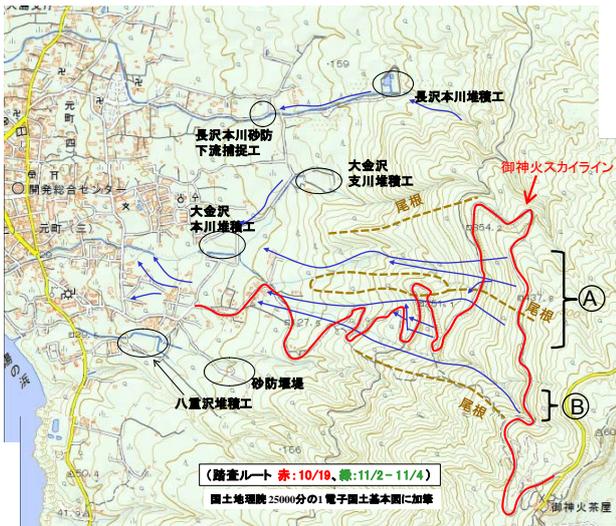


図5.8-1 スカイラインと斜面崩壊、土石流の位置関係

図5.8-1Aの土石流について、スカイラインの最上段(源頭部付近)では、ガードレールなどの付帯設備は流れ落ちているが、道路面、切土側/盛土側の擁壁、切土法枠工とも、構造物にはほとんど損傷がなかった(図5.8-2)。切土側法面は、ほぼ全長にわたって、擁壁と法枠工が組合せて設置してある。斜面崩壊は、法枠工よりも上の部分、および、沢との交差などのために法枠工のなかった部分で生じた(図5.8-3, 4)。



図5.8-2 スカイライン上部の源頭部付近の様子

法枠工のほとんどは植生で覆われて見えにくいですが、斜面崩壊のあった箇所は、植生が土砂流によってなぎ倒され、法枠がむき出しになっている。そのような場所でも、法枠の変状や亀裂はほとんどない。盛土側の擁壁も、すぐ下の斜面が崩壊、あるいは浸食を受けている場所であっても、壁体に変状はない。道路面や路肩が壊れている箇所もなかった。



図5.8-3 切土側の擁壁、法枠工と崩壊



図5.8-4 切土側の擁壁、法枠工と崩壊



図5.8-5 切土側の擁壁、法枠工と崩壊

一方、スカイラインの2段目以降は、上流からの土砂流、水流による強い侵食を受けて、特に、切土側、盛土側の法面や擁壁の被害が大きい(図5.8-6, 7, 8)。

図5.8-8の箇所は、尾根を開削した道路と思われるが、山側法面から流下してきた土砂流、水流が、谷川法面を乗り越えていったようである。舗装面には落石によるくぼみや穴が多数のこり、谷川の路肩の下には、強い水流によってえぐられたと思われる跡がある。道路を含む斜面全体を強い流れが襲ったことが伺える。また、この箇所の沢部には、神達地区への土石流が集中し、道路擁壁の基礎部分が侵食されて壁体が大きく動き、道路面も沈下して段差ができていた。

また、道路が完全に崩落して通行できなくなった箇所が1箇所ある(図5.8-9)。



図5.8-8 スカイライン中腹部の侵食



図5.8-6 スカイライン中腹部の侵食



図5.8-9 スカイラインが完全に崩落した箇所



図5.8-7 スカイライン中腹部の侵食

(2) 御神火スカイライン：南側の沢の土石流による被害

図5.8-1Bの南側の土石流は、上記の大金沢の一連の斜面崩壊による土石流とは違い、1箇所の斜面崩壊から始まって、狭い沢を流下し、最後は神達地区に流出している。源頭部は、図1に示したように、御神火スカイラインと深い沢が交差するあたりで、スカイラインから谷川に10mほど離れた箇所から始まっている。崩壊後のすべり面は約40度の傾斜がある(図5.8-10)。



図5.8-10 南側の土石流の源頭部

例えば図5.8-8の箇所が横断流の例である。

一方、道路に沿う流れの痕跡もスカイラインの上部、中腹部の全体を通して多数見られた。図5.8-14のように、土砂の流線に沿って石やレキが整列しており、土砂が道路に沿って流れたあとに、大量の雨が降り続いて細粒分を洗い流した痕跡と思われる。また、図5.8-15のように、道路に沿って運ばれてきた大量の流木と土砂が堆積している箇所が、スカイライン上にいくつもある。これらの流木の根に、ほとんど泥がついていないことから、やはり堆積したあとに大量の雨が降り続いて細粒分を洗い流したと思われる。

また、道路の擁壁には、図5.8-16のような水平方向のひっかき傷があり、倒木や石などが流れるときにできたものと思われる。傷の高さが1mを超える箇所もあり、一度に運ばれた土砂、倒木の量の多さが伺える。



図5.8-13 源頭部付近の道路を横断する土石流



図5.8-14 道路を縦断する土石流・水流の痕跡



図5.8-15 道路上に堆積した倒木、土砂



図5.8-16 道路擁壁についたひっかき傷

(4) 排水・砂防設備の被害

図5.8-12に見えるような排水設備や、図5.8-17などの砂防堰堤などがあつたが、大きな損傷は多くはなかつた。スカイラインに沿って、L字・U字型の排水溝もあり、路肩と一緒に浸食された部分を除くと、排水溝自体の被害は少なかつた。ただし、図5.8-7に見える排水路など、中腹の侵食の激しい場所では、周囲の侵食に伴って被災

した箇所もあった。いずれも、土砂や水はその容量を上回っていた。

スカイラインを下って、沢の水を道路の下をくぐって大金沢本川堆積工に誘導する流路があったが、これは容量不足であふれるとともに、図5.8-18のように周囲が強く洗掘されていた。またその下流の堆積工に向かう流路も、構造物としては損傷はないが、図5.8-19のように土砂で埋まっていた。

大金沢、長沢、八重沢に6つの堆積工や堰堤があり、大量の土砂や流木を捕捉した。手すりや階段などの付帯設備に被害があったほかは、構造物としての損傷は少なかったが、大金沢本川堆積工の上流側の堤体は、内部が吸い出されて大きな空洞になっていた（図5.8-20）。



図5.8-17 スカイライン法面の砂防堰堤



図5.8-18 大金沢本川堆積工への導水路



図5.8-19 大金沢本川堆積工への導水路
(左：被災直後、右：復旧後（左図よりも下流で撮影）)



図5.8-20 大金沢本川堆積工（下：内部が流失した上流側堤体）

(5) その他の土木構造物の被害

より下流では、弘法浜に沿った施設に被害があった。弘法浜の海水浴施設などが土砂で埋まったほか、大金沢が海に流れ出る河口付近の湯の浜橋周辺にも、図5.8-21のような護岸の洗掘による被害があった。

また、大金沢よりも南に位置するが、やはり河口部の護岸施設に洗掘による被害があった（図5.8-22）。



図5.8-21 大金沢の河口付近の護岸の被害



図5.8-22 大金沢の河口付近の護岸の被害

その他、台風26号による土木構造物の被害は、伊豆大島全島にいくつかある。北部の泉津橋の周辺でも斜面崩壊があり、沢を越える旧道が封鎖された(図5.8-23)。

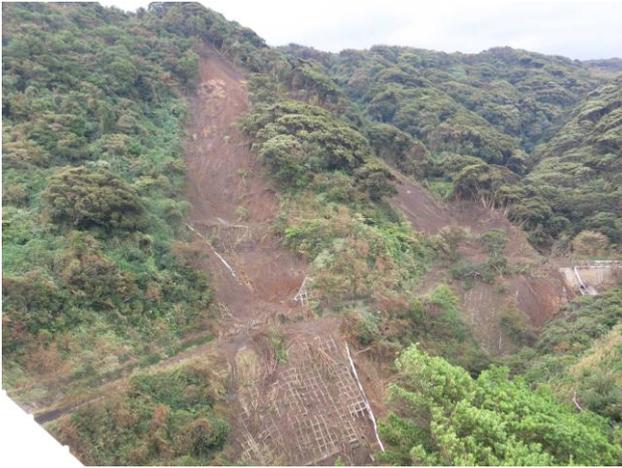


図5.8-23 泉津橋付近の旧道の斜面崩壊

(内村, 若井, 櫻井, 後藤)

5.9 砂防施設の効果

写真5.9-1は、災害直後における大金沢本川に設置されている堆積工の状況である。上流側には顕著な土砂の堆積があり、下流側の沈砂地は土砂で満杯になっている。上流側堰堤の透過部には多量の流木が捕捉されている。

写真5.9-2は、大金沢支川に設置されている堆積工の状況である。これは、下流側の沈砂地の方から撮影されたものであるが、透過部には流木が密に捕捉されており、下流の沈砂地は土砂で満杯になっている。なお、河川及び堆積工の配置図は、前述の図4.1-2のとおりである。



写真5.9-1 大金沢本川堆積工における土砂の貯留
(パスコ提供)



写真5.9-2 大金沢支川堆積工における土砂の貯留と流木の捕獲
(パスコ提供)

当該災害では長沢、大金沢、および八重沢において顕著な土砂流出が見られた。伊豆大島土砂災害対策検討委員会の報告書（案）⁹によれば、大金沢の土砂流出量は、16万5千m³と見積もられており、全体の中で卓越している。此の土砂量には、神達地区への流出したのものも含まれているが、16万5千m³のうち大金沢本川及び右支川の堆積工に貯留された土砂量は約4万7000千m³と推定

されている。今回の災害は壊滅的であったとはいえ、堆積工は下流域の被害軽減に寄与しているものと推察される。また、写真に示されるように、堆積工の透過部には流木の顕著な捕捉が見られ、それによって下流域の被害がいくらか軽減されているものと思われる。

堆積工の土砂貯留機能は、対象とする流れが泥流か、或いは土石流かによって少し異なる。泥流を砂・微細砂と水の混合体の流れであると定義すれば、その流動性は石礫と水から構成される土石流よりも高くなる。このことは、土砂濃度に対する平衡勾配に関する次式（江頭・佐藤・千代（1994）²）からも明らかである。

$$\tan \theta = \frac{(\sigma/\rho - 1)c}{(\sigma/\rho - 1)c + 1} \frac{h_s}{h} \tan \phi \quad (5.9.1)$$

ここに、 θ は土砂濃度 c に対する平衡勾配、 σ は砂粒子の質量密度、 ρ は水或いは流体相の質量密度、 ϕ は砂粒子の内部摩擦角、 h_s は層流領域或いは掃流砂層の厚さ、および h は流動深であって、 h_s/h は次のようである。

$$h_s/h \leq 1 \quad (5.9.2)$$

上式において等号は、掃流砂層が水面にまで広がった状態、すなわち土石流の条件である。式（5.9-1）は、堆積工における泥流の堆積勾配は土石流の場合よりも緩くなることを示している。

金山沢本川に設置されている堆積工の効果を見るため、泥流の特性を考慮して数値シミュレーションを行い、堆積工の有無による泥流の挙動を調べた。基礎式及び数値シミュレーション法は後述のとおりである。その結果を図5.9-1に示している。図の上段は堆積工の貯留部が空の場合の結果であり、下段は堆積工が無い場合の結果である。計算結果にはグリッドサイズに起因する解像度等の課題はあるものの、上段の図から、流下した泥流は、堆積工にほぼ全体が貯留されており、堆積工が無い場合には下流まで流下することが示されている。

砂防施設の設計のあり方や配置計画など今回の災害から学ぶことは多い。山地溪流や土石流扇状地の砂防施設の配置計画や設計については、かなりの知見が蓄積されている。しかし、今回の災害のように、顕著な谷地形の発達が見られないところでは、土石流や泥流の流出過程を的確に予測することは容易ではなく、これらを制御するための施設設計および配置計画に関する知見が乏しい

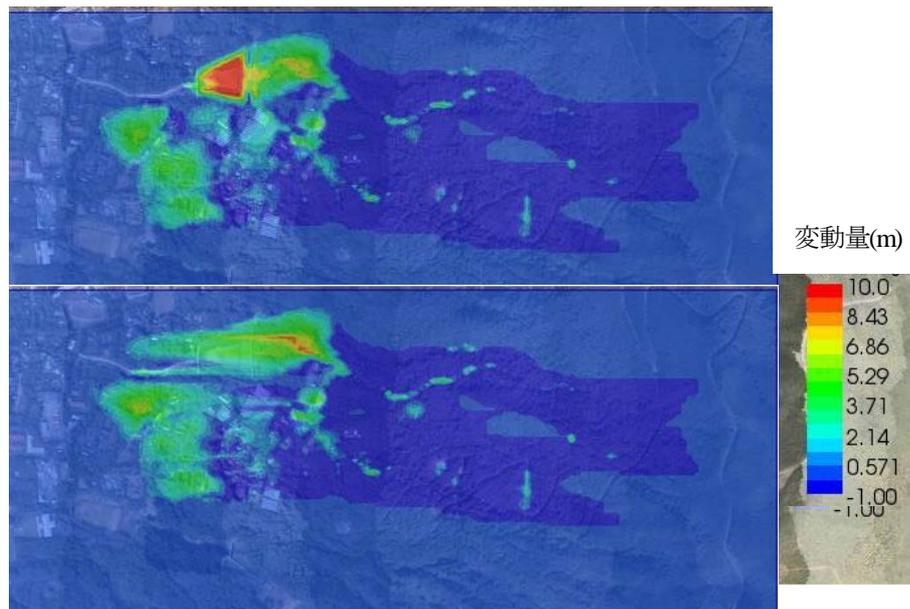


図5.9-3 大金沢 本川堆積工による泥流の貯留に関するシミュレーション
 上段：堆積工の遊砂地は空の状態 下段：堆積工なし

状況にある。このような状況を改善していくためには、経験の蓄積に加え、ここで一部述べているように、泥流の構成則や数値解析法等に関する研究の進展が必要である。今回の災害を契機にこれらの課題を明らかにしていく必要がある。

参考文献

- 1) 伊豆大島土砂災害対策検討委員会（平成26年3月）：
 伊豆大島土砂災害対策検討委員会報告書（案），
 概要版，p.33.
- 2) 江頭進治・佐藤隆宏・千代啓三（1994）：砂粒子を
 高濃度に含む流れに及ぼす粒子径の影響，京大防
 災研究所年報，37号 B-2, pp.359-369.

（江頭進治・関根正人・竹林洋史）

5.10 自衛隊の対応

(1) 自衛隊の災害派遣活動の変遷

平成25年10月16日の台風26号による東京都大島町での災害に対する自衛隊の派遣行動の特徴は、自衛隊発足後2回目の統合任務部隊を編成し対応したことにある。初回は、平成23年3月の東日本大震災時であるが、これは被災地域が広域で、災害態様が複雑であり、何と云ってもその規模の大きさから、統合任務部隊を編成することの必然性が容易に認識できるものである。一方、伊豆大島の豪雨災害への派遣における統合任務部隊を編成した理由は、離島災害であったことである。本島と1時間程度の時間距離にある伊豆大島であっても、陸路の補給が出来ない離島においては、海上や航空自衛隊の輸送支援が欠かせない。

表5.10-1には、阪神・淡路大震災以降の自衛隊の災害派遣活動に対する活動形態（意識）の変化について、経緯を追っている。

平成7年の阪神・淡路大震災においては、県知事の派遣要請があいまいなまま、発災後12日間を要したことや、当時の自衛隊活動全体に対する国民の認識が不安定であったことなどが複雑に影響して、派遣活動は「おそろおそろ」なされた。しかし、この後の国民の自衛隊認識は急激に変化し、加えて、国は自衛隊の災害派遣活動を阻害する要因の改善を図った。具体的には、知事の派遣要請時に求められていた過剰に詳細な規模・装備・活動地域制限項目の軽減、自衛隊指揮官の近傍災害派遣等の自主判断要領の具体化、自衛隊のヘリコプターの飛行形態の自由度を高めること、緊急車両の移動を阻害する残置物の撤去権の付与などである。

これらの改善は、平成16年の新潟県で生じた中越地震において功を奏し、部隊の迅速な展開、および適切な活動となって現れた。特に、発災10時間後の午前4時から、小千谷地区の被災民をヘリコプターによって救出したこと、その翌朝4時から、2日間にわたって山古志村（当時）の全村避難をやはりヘリコプター輸送によって成功させたことは、国民の注目を集めた。

一方で、その後の災害派遣活動の参考となる経験もしている。その第一は、災害派遣における自衛隊の主任務は、人命救助であるが、倒壊家屋の処理などについても活動を広げたことがある。この点は、平時の建設業との引き継ぎ問題を認識させられた。また、県庁における統制組織の形成問題がある。災害対処は、知事の指揮のもとに行われるが、警察、消防、土木部などの組織は、平時においても県庁舎内に各部署ごとの部屋を有しており、外部からやってきた自衛隊だけが、臨時に設けられた部屋において指揮活動を行っていた。これでは、危機管理

表 5.10-1 阪神大震災以降の主な災害派遣

時 期	災 害	特 徴
1995.1.17	阪神・淡路 大震災	躊躇
2004.6.16	中越地震	派遣意思決定等の変更
2006.3.27	防衛省内に統合幕僚監部発足	
2007.7.16	中越沖地震	確信、 原発災害予兆
2008.6.14	岩手・宮城 内陸地震	2県にまたがる大規模災害
2011.3.11	東北地方太平洋沖地震	統合任務部隊編成 (複数県、原発複合)
2013.10.16	伊豆大島豪 雨災害	統合任務部隊編成 (離島)

において、迅速な情報の共有ができないという難点がある。

奇しくも、3年後の平成19年に、中越沖地震が、同じ新潟県で生じた。このとき、県は危機管理監の元で、同一の部屋に置いて、自衛隊、警察、消防、水道、電気、その他の災害対応に必要な部署ごとに10名程度の連絡調整に携わる人員を集めた臨時的組織体を形成して対応している。

これは、情報が輻輳してもたらされる危機管理状況において、外部情報と内部情報を共有できる点において非常に重要である。また、災害時でも継続すべき知事の活動と災害対応との業務を分離するだけでなく、危機管理対応に必要な活動と平時の分業を有機的に結びつけることが可能である。この点については、既に各自治体の防災計画等において、反映されているようである。ところで、中越沖地震では、柏崎原発が被害を受けている。大事に到らなかったとはいえ、その後の大規模災害の予兆を経験したともいえる。

平成20年の岩手・宮城内陸地震における自衛隊の活動においては、複数県にまたがる災害（大規模）を経験した。前述のように、災害対応の指揮権は、各知事にあるため、自衛隊は法制上、各知事の指揮を受ける部隊を派遣することになる。これは、本来中央統制によって、部隊間の人員・装備・活動地域を入れ替えたり拡張・縮小が可能な自衛隊組織を、分離・分割したことによる弊害が生ずる。

これらの事前経験を経て、東北地方太平洋沖地震では、複数県にまたがる広域災害で有り、原発災害が複合化した災害に対処するため、原発災害を除く災害対応を統合任務部隊を編成して当った。参考までに、自衛隊は平成18年に、統合幕僚監部を発足させて、陸・海・空自衛隊の統合運用を円滑化する施策を講じていたことも功を奏

表 5.10-2 初動

時 期	災 害
16日未明3時頃	土石流災害発生
16日10時20分	東京都知事：第一師団へ災害派遣を要請
同日,10時40分	大臣指示：「離島災害であることを踏まえ、各自衛隊はもとより、関係省庁と協力して救助活動等に全力をあげること」
11時30分前後	UH-1（ヘリ）計3機偵察
11時57分	FAST-Force10名出発 (12時40分着)
13時18分	車両1両+人員30名現地到着
13時40分	後続人員40名到着
13時52分	患者空輸用UH-60J館山発、15時04分収容、続いて2名を別便で07分収容
15時12分	C-1（空自輸送機）、大島町長を乗せて美保出発
17時04分	C-1が警視庁22名、国交省2名（TEC-FORCE）を乗せて入間発
18日午後	海自輸送管おおすみ出航 (LCAC搭載、陸自施設科部隊)
20日21時	統合任務部隊発令



防衛省HPより

写真 5.10-1 空輸（警察、国交省人員輸送）



防衛省HPより

写真 5.10-2 海輸（おおすみとLCAC）

表 5.10-3 派遣規模

項目	派遣数
人員	約1,660名
車両	約470両
艦船	2隻(延べ17隻)
航空機	26機（陸(12),海(2),空(12)）
派遣期間	～11月8日(24日間)

した。

この経緯を踏まえて、今回の自衛隊の対応・活動を眺めると、その特徴が浮き彫りとなる。

(2) 初動

表5.10-2に、伊豆大島災害派遣活動の初動について示す。東京都知事から、陸上自衛隊第一師団に災害派遣要請があったのは、土石流発生時と想定される午前3時から4時間ほど経過した10時20分である。その20分後、派遣命令ともなう大臣指示が出されており、そこには統合運用の重要性が示唆されている。その後、1～2時間は、主としてヘリコプターによる初動人員の現地派遣を行っており、2時間後には、初めての急患輸送を実施している。3時間後には、航空自衛隊の輸送機が町長、警察、および国交省のTEC-FORCEを現地輸送している。

なお、土砂災害に対する災害派遣においては、土木技術を有する陸上自衛隊の施設科職種の隊力が必要であるが、この災害では翌々日の18日午後の海上自衛隊の輸送艦の運航をまたねばならなかった。つまり、18日の午後に海上自衛隊の輸送艦「おおすみ」は、施設科職種を主力とする130名とトラックや油圧ショベルの重機50台を搭載し輸送している。なお、これらの上陸には、砂浜海岸で揚陸可能な、LCACを用いるため、LCACも搭載運搬している。

このように空自・海自と共同連携しているが、正式に指揮系統を統一するために、統合任務部隊が発令されたのは、20日夜の21時である。

以上を要約すると、離島災害時の活動の概略の時程としては、要請後1-2時間で現地に少人数を派遣し現地情報を収集するとともに、ヘリコプターによる患者輸送を開始する。4時間後くらいには、軽装備の人員を現地派遣し活動を開始する。なお、現地空港の使用可能性が確認されれば、5時間程度で空輸機能が開始され、7時間後に他省庁等の人員輸送に応じている。最後に、重機材を輸送可能な海上自衛隊の輸送機能開始には2日強を要している。



防衛省HPより

写真 5. 10-3 人命救助活動

(3) 派遣規模と活動

表5. 10-3に派遣規模を示す。人口8,400名の島に1000名規模の人員を派遣している。陸の補給路がない地域において、人口の1/8を超える人員が活動するには、自前で寝食を確保できる組織の簡潔性は必須であり、前述の空輸や海上輸送能力の必要性がより深く理解できる。参考までに、写真5. 10-1に今回使用されたC-1輸送機を、写真5. 10-2に輸送艦おおすみと上陸直後のLCACを示す。

前述したように、自衛隊の災害派遣活動の主任務は人命救助である。このためには、写真5. 10-3に示すように、人力による丁寧な捜索と阻害構造物・土砂の除去が必要であり、迅速な人員派遣と展開が重要である。

また、今回の災害では、一週間後に台風の再来が予測され、土石流の再発に備えて、満砂した砂防堰堤の機能回復工事が必要となった。写真5. 10-4には自衛隊と地元の建設業者との共同の除石作業の状況を示す。また、河川橋脚を閉塞して堆積した大量の流木除去の作業も必要



防衛省HPより

写真 5. 10-4 官民一体の砂防堰堤除石

となり、やはり油圧ショベル等の共同作業によって対応したこともある。建設作業では、作業域の管理や立ち入り統制などの安全管理も必要なため、自衛隊と地元業者の重機材運用能力の迅速的確な、すりあわせが必要である。

(4) 今後に向けて

参考までに、自衛隊の災害派遣の必要性判断と撤収判断には、「公共性」、「非代替性」、「緊急性」の3要件が用いられる。しかし、地震、津波、土石流といった自然災害では、発災は昼夜を問わず、災害状況の把握辞退が地方自治体では手に余ることが多い。人命救助の観点から許される時間からは、「拙速を尊ぶ」必要がある。一方で、離島災害では、人員の投入と必要な器材を逐次に行うことは、活動の大幅な遅延や非効率性を招く。また、隊力投入後では迅速な隊力展開と活動開始が必要である。このためには、地元自治体や建設業から、「必要器材や土木作業遂行を阻害する課題等に関する早期適切な情報提供が重要である。

(香月 智)

第6章 災害発生のメカニズム

6.1. 表層崩壊の発生メカニズム

今回発生した斜面崩壊はすべて火山地域特有の表層崩壊であった。その発生規模や位置については、5.2章が詳しいのでここでは、この表層崩壊の発生メカニズムについて以下にまとめる。

表層崩壊が発生した箇所はほとんどが、山地の自然斜面であり、幅広いが、崩壊の深さは1m未満で0.5~0.8m程度の非常に浅いものが多い（写真6.1-1）。図6.1-1には、これらの表層崩壊の発生メカニズムがわかりやすく示した2つの崩壊箇所（Loc.1及びLoc.2）について、地質構造と表層崩壊の特徴を述べる。

Loc.1で発生した表層崩壊を図6.1-2および写真6.1-2に示した。崩壊は地表下0.5~0.8m前後に分布する降下火山砂が崩壊しているのがわかる。この降下火山砂は細~中粒であり、斜面に平行に堆積したもので、たいへん透水性がよく根茎についてもこの表層に集まっている。その下には写真6.1-3に示したレスと呼ばれる¹⁾細粒分の多い地層が認められる。



写真6.1-1 幅の広い表層崩壊

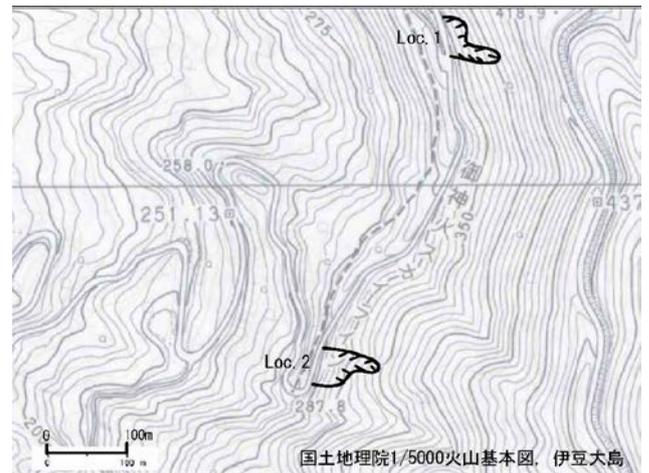


図6.1-1 表層崩壊の地質平面図・断面作成位置

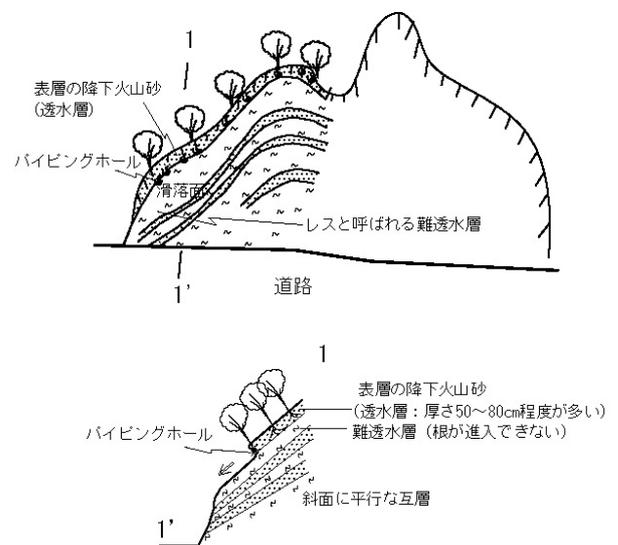


図6.1-2 Loc.1での表層崩壊発生状況



写真6.1-2 Loc.1 表層崩壊部 (表層でパイピング)



写真6.1-3 滑落面は難透水層のレス

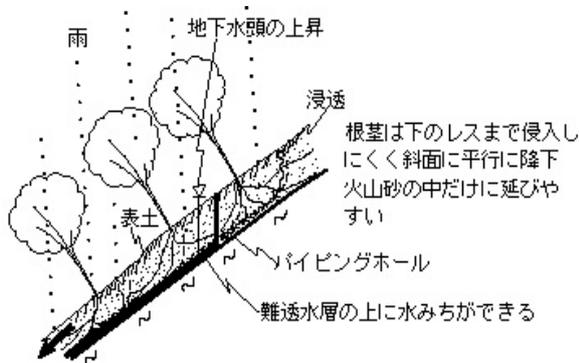


図6.1-3 表層崩壊の発生メカニズム

このレスと呼ばれる地層も斜面に平行に堆積したものであるが、たいへん細かい浮遊じんが空中に滞留していたものが徐々に積もってきた地層でよく締っており、根茎の侵入が少なく難透水層となっている。したがって、表層崩壊の発生メカニズムは図6.1-3に示したように、火山地域特有の地形・地質構造にあり、次のようにまとめることができる。

- ①素因：斜面表層に斜面と平行したゆるい降下火山砂が堆積しており、その直下に難透水層で植根の侵入を妨げるよく締ったレスが斜面に平行に分布している火山地域特有の地質構造を示す。
- ②誘因：時間雨量100mmを越え、連続雨量約800mmの豪雨。
- ③発生メカニズム：豪雨が表層のゆるい降下火山砂に多量に浸透し、過剰な間隙水圧が発生した表層の降下火山砂層内の下位の難透水層の上面に水みち（写真6.1-4のようなパイピングホール）を作りながら難透水層上面をすべり面として表層崩壊が発生した。この時、樹木の根系は、降下火山砂層内の緊縛効果は発揮するが、難透水層まで根が侵入していないことが多いので、根の杭効果はあまり期待できず、表層の降下火山砂層が植生と一緒に一体化して高速にすべり落ちることになる。このような表層崩

壊は、「根系層崩壊」²⁾とも呼ばれており、火山地域ではよく発生する表層崩壊である。図6.1-4には一般的な根系による表層崩壊抑制効果を示し、図6.1-5には根系層崩壊の概念図を示した。また、1998年8月に発生した台風4号による白河豪雨災害時に発生した根系層崩壊事例を写真6.1-5に示した。白河地域は、火山地域であり、レスとよく似た性格をもつ弱溶結火砕流堆積物が広く分布しており、この火山地質特有の地盤が根系層崩壊を発生させたのである。

もう1つの典型的な表層崩壊であるLoc.2を図6.1-6および写真6.1-6に示した。この図からもわかるように、表層崩壊は表層の降下火山砂でLoc.1と同様のメカニズムで発生している。ただし、ここでは最下端に1338年に流下した元町溶岩とスコリア層等がみとめられ、その上位に少なくとも4層のレスが認められる。これらのレスの間には、透水性の高い降下火山砂層が挟まっており、最上位より下位のこの挟み火山砂層でも部分的に表層崩壊を発生させているが、その発生範囲は小さい。また、Loc.2の左側はガリーとなっている。このガリーは表層崩壊の後に多量の降水が続いたことを考えると後続流による浸食によってもたらせたもので、その形態から崩壊とは考え難い。Loc.2のさらに下流の集水地形で認められるガリーが硬い溶岩の直上まで浸食していることも、このことを支持している（写真6.1-7参照）。

さて、ここで今回の表層崩壊が、なぜここまで広範囲に発生したかを考えてみる。今回多くの犠牲者を出した神達地区を中心とした斜面は先に述べた1338年の元町溶岩流下部とほぼ一致している（図6.1-7参照）。しかし、今回の表層崩壊は元町溶岩の直上では発生していない。では、どうして表層崩壊箇所と元町溶岩流出箇所がほぼ一致しているのか。この元町溶岩が広範囲に表層崩壊を発生させやすい傾いた大きな土台を作ったからではないかと考えられる。

つまり、この溶岩がなければ谷の発達した通常の火山山麓斜面となり、幅の広い表層崩壊は起こりえない。先に表層崩壊の①素因を斜面に平行した難透水層と透水層の重なりと述べたが、この構造は通常開析された谷などで分断されるもので幅の狭い表層崩壊しか起らない。したがって、表層崩壊をこれ程大面積にした素因は元町溶岩が作った起伏の少ない広い斜面にあったと考えられる。当然、これらの広い斜面全体は力学的にも水理的にも一度に動き出すことは少ないので、雨の降り方や地下水の集まり方からいくつかのブロックに分けて順次崩壊していくことになる。地震計の記録からも複数回の土石流が発生しているのもこのためと考えられる。

元町溶岩にかかわるもう1つの問題として、この元町溶岩を作り出した広く緩やかな斜面地形は、土砂災害防止法に基づく土石流や急傾斜地の警戒区域や特別警戒区

域の対象域とはならないところに注目したい。火山地域ではこのように通常の土砂災害の想定を越えた地質構造があるものであり、今後の防災・減災上の課題である。



写真6.1-4 パイピングホールの拡大

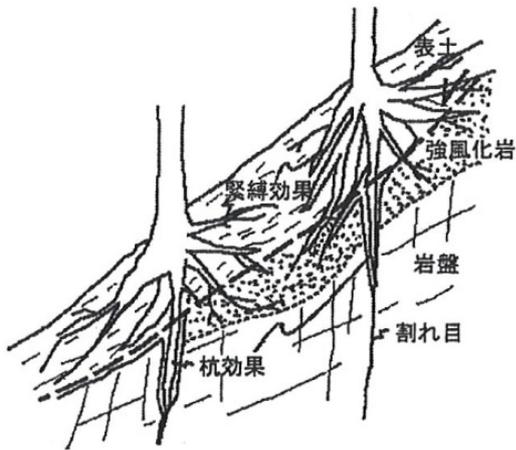


図6.1-4 植生の根系による崩壊抑制効果の概要図²⁾

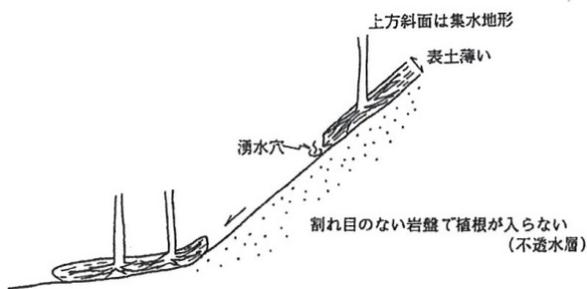


図6.1-5 根系層崩壊概念図²⁾



写真6.1-5 1998年8月台風4号の記録的な豪雨によって発生した根系層崩壊²⁾



写真6.1-6 Loc. 2での表層崩壊

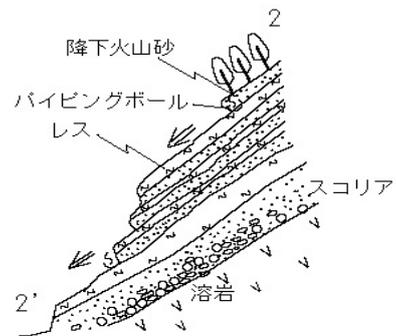
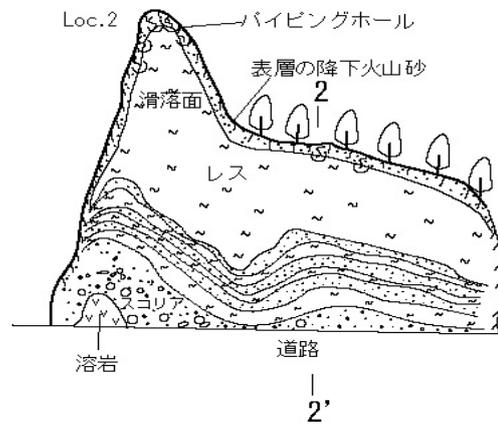


図6.1-6 Loc. 2での表層崩壊発生状況



写真6.1-7 中流域でのガリーによる元町溶岩の露出

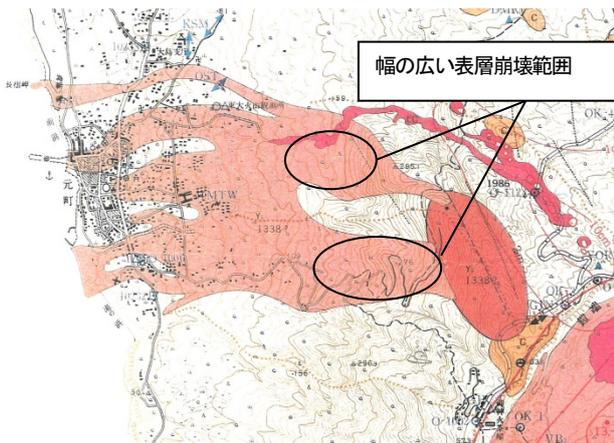


図6.1-7 1338年に流下した元町溶岩³⁾と幅の広い表層崩壊範囲

最後に、このような火山地域でのハード対策の検討やソフト対応での豪雨を対象とした火山地域特有の土砂災害ハザードマップ作りが必要であり、それらの成果から将来的には土砂災害防止法の改正などを提言していきたい。

参考文献

- 1) 小山真人・早川由紀夫：伊豆大島火山カルデラ形成以降の噴火史，地学雑誌，Vol.105，No.2，pp.133-162，1996.
- 2) 稲垣秀輝：根系層崩壊，地盤工学会，Vol.50，No.5，pp.5-7，1996.
- 3) 地質調査所：伊豆大島火山1986年の噴火-地質と噴火の歴史-，1/25000地図，1987.

(稲垣秀輝)

6.2. 泥流・流木の流下過程のまとめ

ここでは、泥流・流木の流下過程について、これまでに得られた知見を踏まえてまとめる。まず、外力となる降雨であるが、平成25年10月15日11時頃からの降雨は16日深夜1時には積算雨量400mmにほぼ達している。元町地区での土石災害事例では昭和33年狩野川台風において土石流が長沢で発生しているが、この際の24時間雨量は419mm、時間最大雨量は88mmであり、その降雨外力は16日午前1時の時点においてほぼ満足している。しかしながら、元町地区での土石流（泥流）発生について、東大地震研ではおよそ午前2時3分、22分、32分、38分、3時2分に振幅の大きな波形を観測した²。さらに、神達地区にあるホテル椿園関係者からの証言では午前2時過ぎ、宿泊者からは2時30分に泥流被災が発生した証言がある。この時点での積算雨量は600mmにほぼ達している。神達地区に大きな被害をもたらした泥流は、すでに述べたように明瞭でない谷地形における広範囲の浅い崩壊土砂の発生とその流下によるものであり、一方、狩野川台風時に発生した長沢地区の土石流はこれほどの広い崩壊面積には至っていない。むしろ、溪流に沿う通常のタイプの土石流が生じたと推測される。谷地形の未発達は集水の効率が悪く土石流（泥流）の発生が遅れるし、その分、降雨の面的な貯留が進むと考えられる。これを貯留関数法で表現すると、大きな飽和雨量（ R_{sa} ）と小さな一次流出率（ f_1 ）となり、田中の解析では、 $R_{sa}=400\text{mm}$ 、 $f_1=0.5$ としている³。そして、貯留量が多くなる一方、ある限界値を越えると崩壊が面的に一気に進むことが推測される。

図6.2-1、2は被災前、被災後の航空写真に土砂流（泥流）の流出箇所を重ねた図（国土地理院による）で、赤色がその流出範囲を示す。大金沢および神達地区上流

の土砂流出範囲は八重沢のそれに比べてきわめて広い（八重沢は14世紀の元町溶岩流の影響を受けていない）。両図を見比べると、土砂流出範囲（赤色）のほとんどで立木の流出も生じている。平均傾斜度4度の区間の上流（つばき小学校に向かう道路付近）まで顕著な土砂の堆積はなく、かつ流木生産域となっている。

図6.2-3は、大きな被害が生じた神達地区上流での正射画像（国土地理院により2013/10/24に撮影）であり、神達地区では道路とともに家屋の土台のみが残存しており、土砂堆積のみならず顕著な侵食も生じていない。一方、その上流側では神達地区、大金沢本川ともに顕著なガリー侵食による流路痕跡と、流路際に残る流木群が見られる。ここで、土砂流や流木が通過した幅の狭いB-B断面について、被災前後の形状とその変化を図6.2-4に示す。これより大金沢堆積工に流れ込む流路（138850m付近）および神達地区を泥流が襲うことになった流路（139050m付近）について、ともに緩やかな谷地形であったものが泥流の通過によって2m~4mの侵食が生じている。とくに興味深いことは、上流域で生産された流木群のほとんどがこの狭い谷幅を通じて流下していることである。流木の流下には地表面流にある程度の水深が必要である。しかも土砂に比べて流下に時間がかかる。このことを踏まえると、ガリー侵食によって流路が明確になったこと、および土石流の発生後、さらに200mmにも達する降雨が継続したことが流木の流下を可能にしたものと推測できる。

神達地区では土砂流出範囲が上流に比べて広がる。これは横方向の拘束がなくなった地形となること、斜面勾配が緩くなったことで、泥流の流れ方向が変化したためである。二瓶によれば⁴泥流は3方向が分かれたが（同時に生じたか、数回に亘って生じた泥流かは不明）、そ

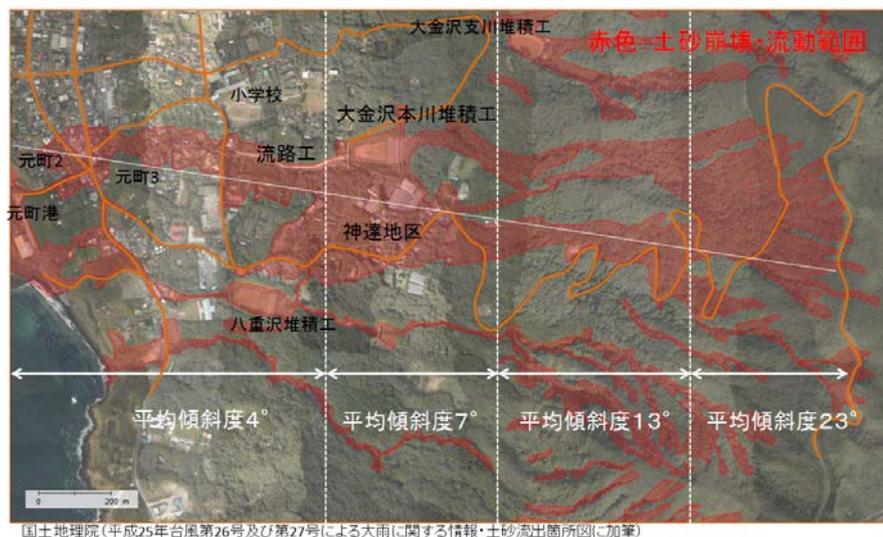


図6.2-1 被災前航空写真と土砂流出の範囲（国土地理院提供に加筆）

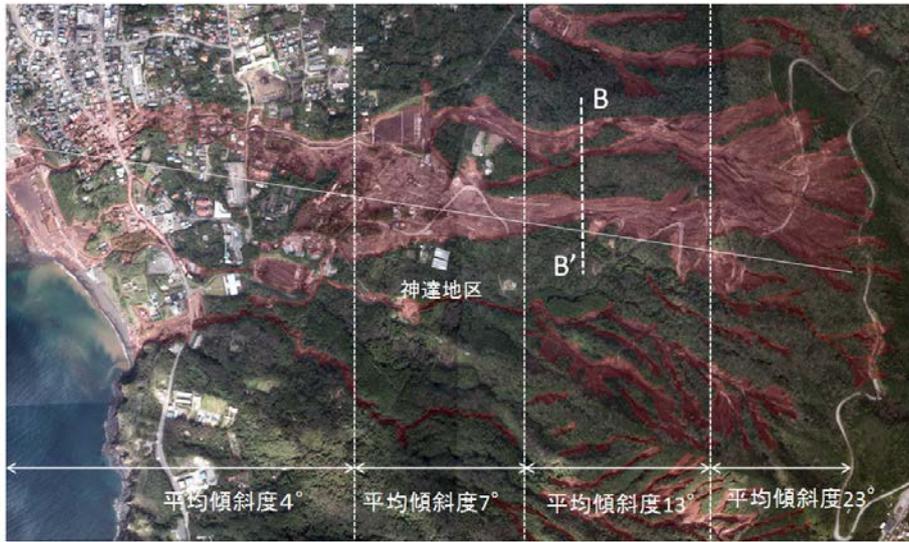


図 6.2-2 被災後航空写真と土砂流出の範囲（国土地理院提供に加筆）



図 6.2-3 神達地区周辺の被災後航空写真（国土地理院提供に加筆）

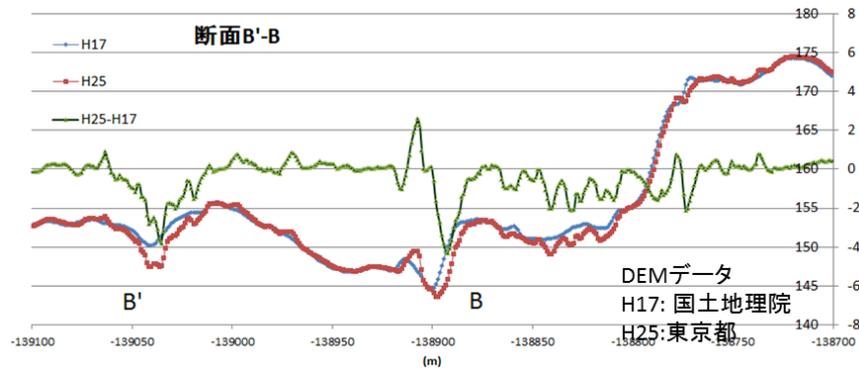


図 6.2-4 B-B' 横断面の地形とその変化（緑色の線が地形変化，正で堆積，負で侵食）



写真 6.2-1 神達地区での立木際に残存した家屋，家財の破片



写真 6.2-2 神達地区での立木際に残存した家屋、家財の破片

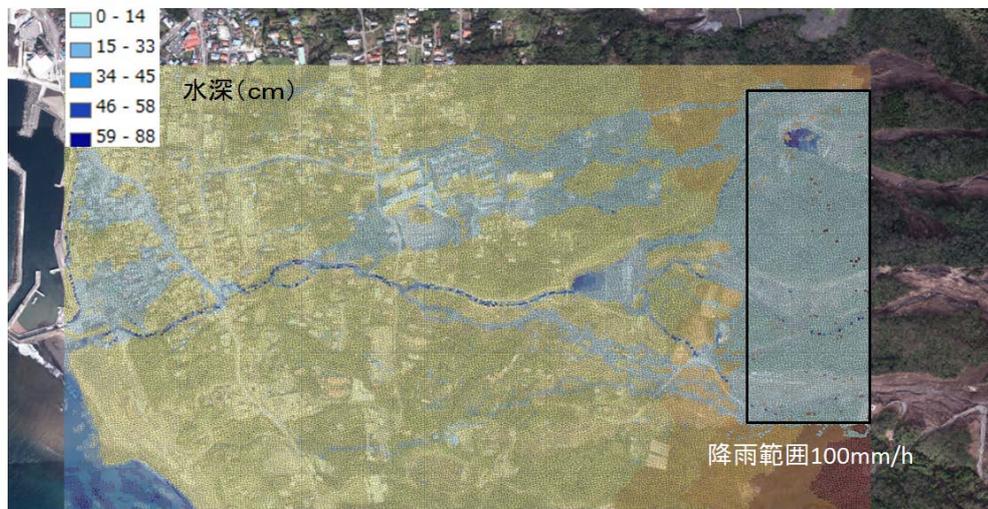


図 6.2-5 被災後の地形にもとづく地表面流のシミュレーション（水深分布）

の主流は勾配が緩くとも直進的に流路工に向かっている。

神達地区でのほとんど多くの家屋は土台のみを残し流失している中で、立木際には散在した家屋、家財の破片が見られた。特徴的なことは、これらの破片が土砂で汚れておらず、あたかも水流によって吹き飛ばされたような光景であった（写真6.2-1, 2）。こうしたことも降雨が長く継続したことで土砂濃度の低い流れ（水流的）が後続流として生じたことを推測させる。なお、江頭によると泥流の堆積勾配は4.8度程度と見積もられ⁹⁾、また、竹林による泥流シミュレーション結果からも神達地区では土砂堆積が生ずる⁹⁾。これにもかかわらず、被災後の地形にはこうした堆積現象が顕著に見られないのは、後続流が一旦堆積した土砂を下流に掃流したことによると推測される。

さらに、後続流は堆積工下流の流路工を通じて土砂と流木をいっそう下流まで運ぶこととなり、これが流路工と道路の交差部（橋梁）に捕捉されて流路閉塞を起こしたり、氾濫迂回流を生むことで周辺の家屋破壊をもたらした。田中によれば元町橋までの流路工周辺で全流木生産量の約47%が堆積している⁹⁾。

ここで、被災後の地形データを用いて平面2次元流計算（ここでは川池らの方法による氾濫シミュレーション⁷⁾を適用した）から地表面流の動きを検討した。図6.2-5に示す矩形の領域に時間雨量100mmの降雨を2時間与えて、その地表面流（氾濫流）の様子を調べると、大金沢堆積工に流れ込むものと、神達地区に流れ込むものとに明確に分かれる。さらに、神達地区に流れ込んだ氾濫流は流路工に向かう大きな流れ（主流）と、それとは左方向に別れる流れが発生している。この結果は二瓶が指摘した土砂流の分岐に対応している。また、元町橋では流路工から氾濫して迂回流が生まれ、その後、道路に沿って氾濫流が海岸方向に向かうことも読み取れる。したがって、被災後の地形を用いた氾濫流のシミュレーションではあるが、後続流による流木の流下について、このシミュレーション結果でかなり説明することができそうである。そして、こうした地形は積算雨量600mmまでの泥流の堆積後、比較的早い段階で生じたと考えている

参考文献

- 1) 東京都大島支庁：伊豆大島総合溶岩流対策事業，第

11版（平成25年5月作成）。

2) 井口隆：崩壊・泥流発生のタイミング，土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団報告会，2014.

3) 田中規夫：流木の生産・流出特性，土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団報告会，2014.

4) 二瓶泰雄：家屋等の被災特性，土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団報告会，2014.

5) 江頭進治，関根正人，竹林洋史：砂防施設の役割と課題，土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団報告会，2014.

6) 竹林洋史，江頭進治，関根正人，清水義彦：土砂・洪水流出特性，土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団報告会，2014.

7) 川池健司，井上和也，戸田圭一：非構造格子の都市氾濫解析への適用，水工学論文集，第44巻，pp.461-466，2000.

(清水義彦)

第7章 災害廃棄物

現地災害調査を行った平成25年11月9日・10日時点では、多量に発生した災害廃棄物をどのように処理していくか検討中の段階であり、人命救助を優先した土砂・流木処理や仮置きが行なわれていた。11月9日に行われた大島町と災害調査団との会議の中でもこの災害廃棄物処理についても話題となり、諸施設の調査許可をいただいた。これらの施設を調査した結果と、その後の大島町の災害廃棄物処理計画資料¹⁾を基に、今回の豪雨災害で発生した廃棄物の特徴とその処理方法や今後の課題をまとめる。

平成25年11月1日に大島町によって発表された災害廃棄物量は約11万tであった。その内訳は、表7-1のとおりであり、家屋等からの発生量が約6000t、流木約31000t、土砂約71000t等である。また、災害で出た関連土砂等については、砂防ダム等の土砂が約15万t、港湾施設の土砂が約6万tとなっている（表7-2）。参考までに被害家屋等を表7-3に示した。被災した住家が203軒、被災した非住家が182軒であった。

表7-1 災害廃棄物等処理見込量¹⁾

項目	具体例	処理方法	処理見込量 (t)
廃盤・布団等	浸水被害等を受けた廃盤、布団など	島外処理	200
安定埋立品目	廃プラスチック、ガラス・陶磁器くず	島内処分	200
廃自動車・廃家電	家電製品（エアコン、テレビ、冷蔵庫、洗濯機、パソコン）、自動車、石油ストーブなど	島内業者等引取	400
金属	解体家屋からの金属製建具、家具等	島内業者引取	(50)※
建設混合廃棄物	上記に含まれない被災家屋廃材・廃家具などの可燃系の混合物	島外処理	4,400
コンクリートがら	コンクリート	島内利用	2,800
木くず	流木等（木質系の粗大ごみ（約200トン）を含む。）	島内処理 島外処理・利用	31,400
土砂	市街地に流入し廃棄物と混在している堆積土砂、泥状物など	島内利用	71,000
合計（廃自動車・廃家電を除く）			110,000

※括弧書き数値は、分別等により回収を見込む内数

表7-2 関連事業の土砂等処理見込量¹⁾

項目	具体例	処理方法	処理見込量 (t)
関連事業	砂防ダム等の土砂等	島内利用	150,000
	港湾施設等の土砂等	島内利用	60,000

※東京都から一次又は二次仮置場に搬入する流木混じり土砂等

表7-3 災害家屋等（平成25年12月2日）¹⁾ 単位：軒

	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	集計
住家	71	15	25	92	203
	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	集計
非住家	62	9	25	86	182

これらの資料や現地調査結果を総合すると今回の災害廃棄物の特徴は、家屋等から出た廃棄物が少なく、土砂と流木がほとんどである。その中でも、流木の量が土砂

量と比較しても多いのは、今回の崩壊が多くの立木を巻き込んだ林地での表層崩壊であったことにある。写真7-1には、災害現場に残る土砂と流木を示し、写真7-2は、被害家屋から土砂を除去しているボランティアである。



写真7-1 災害現場に残る土砂と流木



写真7-2 被害家屋から土砂を除去しているボランティア

さて、復旧作業にあたってはこの多量に発生した土砂と流木の処理が最も大きな課題となる。もともと大島町における一般廃棄物の年間処理量は約3300tであり、この流木・焼却できる家屋ゴミの量はその約10倍となり、島内では処理できない。このため、東京都に支援要請が行なわれ、島外処理が決定した。ただし、流木等に付着した土砂は島内で分離され、分離された流木についても1～1.5mの丸太に切断されたうえで15cmのチップとして減容化したうえで島外（東京都内）に搬出されることになった。実際の搬出は、環境上の配慮から至急島外処理の必要な廃棄物の家屋ゴミを中心として約8tの処理が平成25年11月17日から始まった。

土砂については、さらに多量に発生しているが、この排出土砂については度重なる火山噴火の際の土砂処理に慣れていることやその処理地が島内の北側と南側の2箇所にあることから、問題は少なく島内処理となった。図7-1には、この島外・島内処理の所管を示した。また、災害廃棄物の処理期限については、島内での市街地でもあり、悪臭や粉じん等の二次被災を防ぐためにも早期に行

うものとし、平成26年12月までに終了するように計画されている。

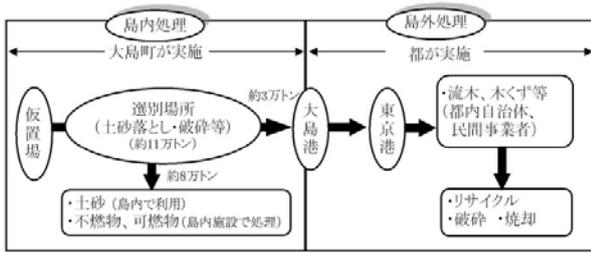


図7-1 大島町及び東京都における災害廃棄物処理計画の所管

特に、市街地にある一次仮置場については早急に島外・島内処理し、一次仮置場の解消を優先する予定と聞いている。表7-4には、この一次仮置場の一覧表を示し、一次仮置場と島内外の処分場へ送る前処理（破碎・選別等）を行う二次仮置場、そして島外搬出のためのコンテナ基地への流れを図7-2に示した。図7-3には一次仮置場の位置を示した。写真7-3は①元町港ヤードであり、未分別の状態である。写真7-4は②火山博物館駐車場の家屋ゴミの状況で、写真7-5は③国民宿舎の横の分別された土砂置場である。また、写真7-6は④オーレックの土砂と混合した流木で、写真7-7は流木だけに分別された仮置場である。図7-4には二次仮置場とコンテナ基地の位置を示した。島外への搬出は北部と南部の二次仮置場から出た廃棄物をそれぞれ最寄りの元町港と波浮港から搬出すことになっている。

表7-4 一次仮置場一覧（平成25年12月2日現在）¹⁾

整理番号	名称	所在地	災害廃棄物等の種類	開設時期	稼働状況
①	元町港ヤード	元町1丁目19	土砂、流木	発災直後	10月末受入終了、土砂を⑧へ搬出中
②	火山博物館駐車場	元町字神田屋敷	廃置、布団、混合廃棄物	発災直後	11月末受入終了
③	国民宿舎横	元町字神田屋敷	土砂	10/28	11/24受入終了、土砂を⑧へ搬出中
④	大島空港(滑走路脇)	元町字野地	流木	11/14	使用中
⑤	大島空港(南側)	元町字赤壳	流木	11/14	12/2受入終了
⑥	石井組	元町字上山	土砂	発災直後	10月末受入終了、土砂を⑧へ搬出中
⑦	オーレック	元町字上山	流木、土砂、粗大ごみ等	発災直後	使用中
⑧	土砂採掘跡地	差木地サド1084外	土砂	発災直後	土砂受入中

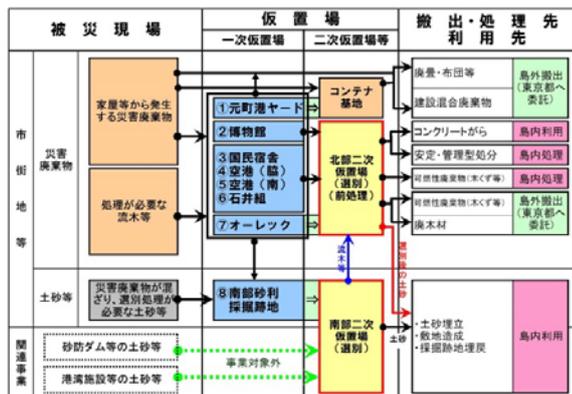


図7-2 仮置場ごとの搬入・搬出の流れ¹⁾

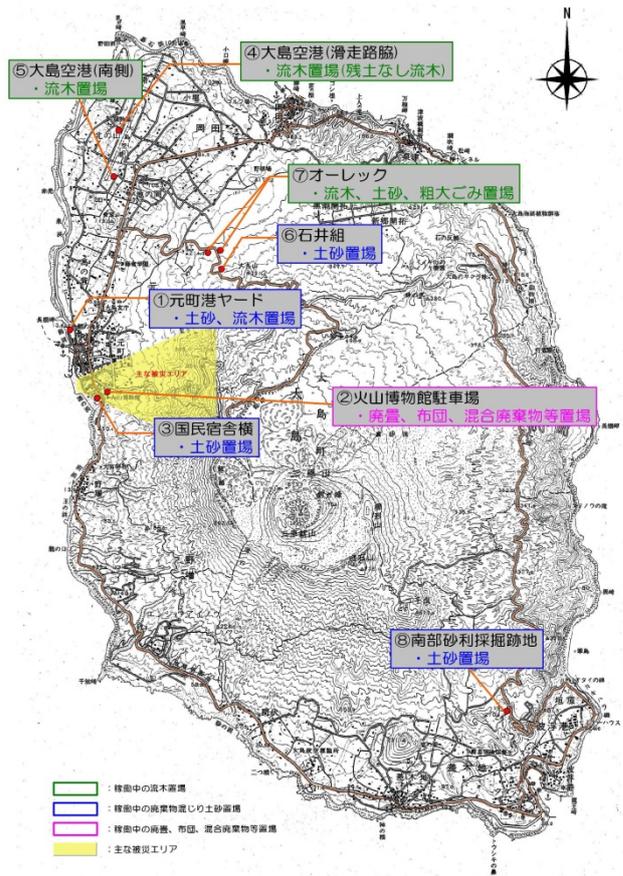


図7-3 一次仮置場位置図（平成25年11月14日現在）¹⁾



写真7-3 災害廃棄物の未分別の状態



写真7-4 火山博物館駐車場の家屋ゴミの状況



写真7-5 国民宿舎の横の分別された土砂置場



写真7-6 オーレックの土砂と混合した流木



写真7-7 流木だけに分別された仮置場

二次仮置場の一覧を表7-5に示し、二次仮置場への搬入物を表7-6に示した。北部は流木主体で、南部は土砂が主体となっていることがわかる。

次に、島内における災害廃棄物の最終処分の計画をみると、表7-7～表7-9のとおりである。それぞれの処理・処分施設の位置は図7-5に示したとおりとなっている。なお、島外搬出に用いられるコンテナについては、環境省が東日本大震災において広域利用した密封性を保ったまま船舶による海上輸送・陸送が行なえる仕様となっている災害廃棄物専用コンテナを利用して行っている。

表7-10には島外搬出スケジュールを示した。島内での環境保全や復興のためには、今後の早期の処理に期待し

たい。

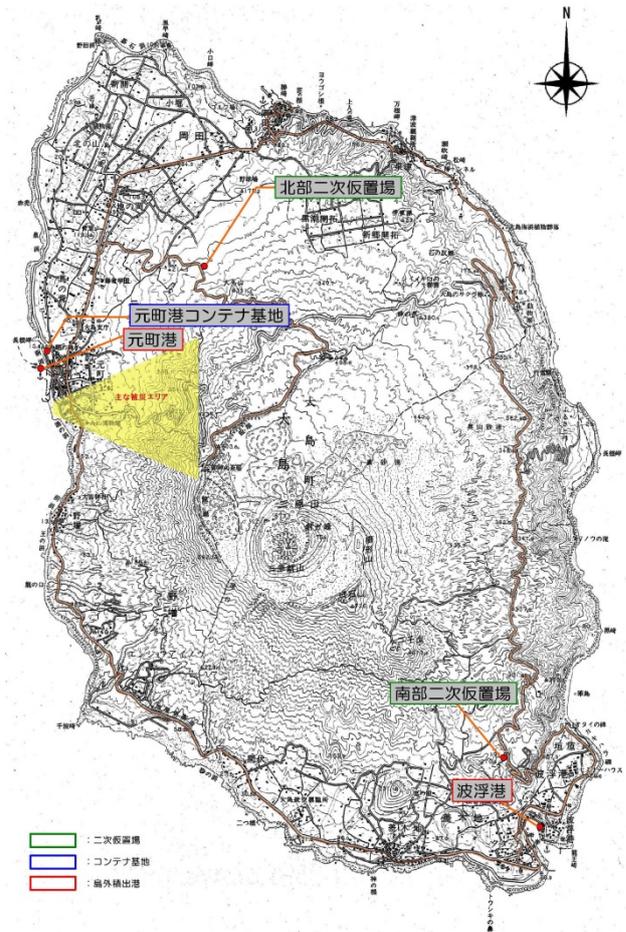


図7-4 二次仮置場、コンテナ基地等位置図¹⁾

表7-5 二次仮置場一覧¹⁾

整理番号	名称	所在地	開設時期	業務概要
1	北部二次仮置場	元町字上山	平成26年1月	流木等の前処理（選別、破砕）
2	南部二次仮置場	差木地サド1084外	平成26年1月	流木混り土砂等の選別

表7-6 二次仮置場への搬入物¹⁾

項目	北部 二次仮置場	南部 二次仮置場
コンクリートがら	◎	×
安定埋立品目	◎	×
廃量・布団等	×	×
粗大ごみ	○ (土砂付着が少 ない物)	×
流木	◎	○(混入)
廃自動車・廃家電	×	×
土砂	○(混入)	◎
建設混合廃棄物	×	×

◎：優先的に購入する品目
○：状況に応じて搬入する品目
×：搬入不可

表7-7 中間処理計画¹⁾

中間処理対象物	中間処理量(t)	中間処理先	管理者
可燃性廃棄物 (木くず等)	3,000	野増清掃工場(野増) 新清掃工場(野増) オーレック焼却炉(元町)	大島町 大島町 勝オーレック

表7-8 再生利用計画¹⁾

再生利用対象物	再生利用量(t)	再生利用先(予定)	備考
金属等	50	京塚金属(野増)	現地渡し
コンクリートがら	2,800	大島リサイクルセンター(元町)	再生砕石
埋め戻し土	281,000	南部砂利採掘跡地(差木地)	

表7-9 最終処分計画¹⁾

最終処分対象物	再生処分量(t)	再生利用先(予定)	管理者
焼却灰、飛灰処理物等	700	大島一般廃棄物管理型 最終処分場(差木地)	東京都島嶼町 村一部事務組合
ガラス・陶磁器等	100	大島一安定型最 終処分場(差木地)	大島町

参考文献

- 1) 大島町:平成 25 年 12 月大島町災害廃棄物等処理計画, 20p, 2013.

(稲垣秀輝)

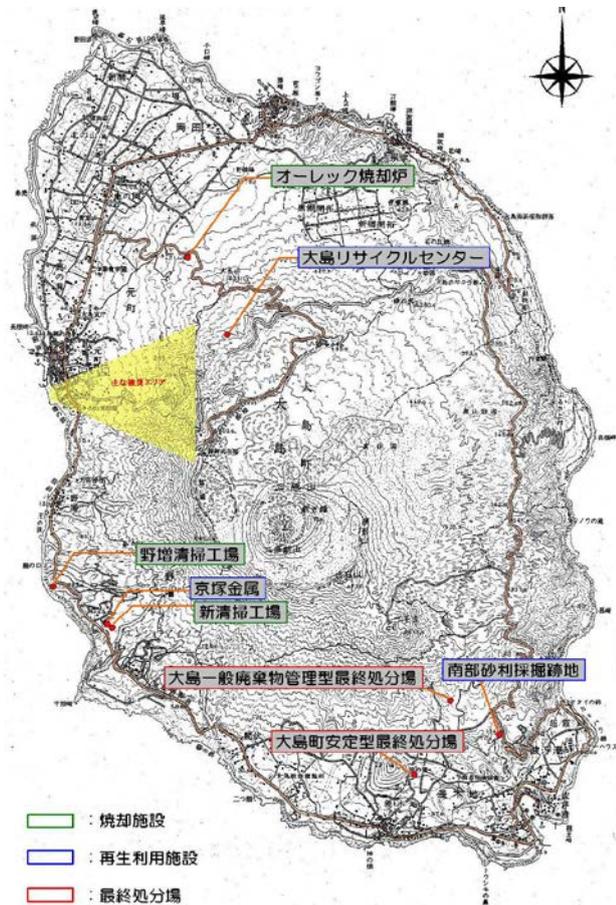


図7-5 島内処理処分先位置図¹⁾

表7-10 島外搬出スケジュール¹⁾

島外搬出 (東京都へ委託)	搬出対象物	搬出スケジュール														
		11	12	1	2	3	4	5	6	11	12	1	2	3
	産業・布匹等		搬出対象													
	建設混合廃棄物		搬出対象													
	廃木材															
	可燃性廃棄物(木くず等)															

第8章 災害対応・復旧・復興

8.1 災害対応

(1) 行政の対応

町長、副町長が不在であったため、教育長がでないといけない重要な判断をタイムリーにできない状態であったことは、クライシスマネジメントの視点から問題であることは明確である。

この状況下で行われた対応は下記ようになる。15日午前11時に防災に関する連絡会議が行われた。その時点では、ピーク時の暴風・波浪は警報レベル、雨量は注意報レベルだと予想されていた。午後3時の時点ではピークは16日午前3時頃と予想されていた。このため、役場は午前2時に一次配備とすることを決定していた。また、消防団は午前1時半に役員のみ招集になっていた。防災Twitterでも、台風接近に対する注意喚起や御神火スカイライン・サンセットパームラインの通行止め等の情報を前日から発信している。

これらの対応や関係者からのヒアリングを総合すると、今回の台風は事前に大型とされていたとはいえ、これまでに大島を襲った台風と比して特別な台風とは認識されておらず、このため標準的な台風の対応がなされたということがわかる。標準的な台風であっても土砂災害は発生したことはあるようだが、山の中での崩落に留まっていたため、土砂災害対策に十分な配慮がなされていなかった可能性が高い。また、被災者からのヒアリングでは、町役場に災害通報したが、十分な対応をしてもらえなかったという証言もある。土砂災害は、水害に比べ、早期警報の発令タイミングが難しいことがわかっており、大島町でも過去5年間で7回土砂災害警戒情報が発表されているが、実際には災害は発生していないという事実もある。予測からの警報が難しい状況であるならば、現状を観測し、柔軟に対応を変化させていくことが求められる（今回も気象庁の公式会見では、雨に関して実況しか把握できなかったことが述べられている）。観測は情報機器を用いても行うことができるが、現状で対応に必要な情報を最も集められる可能性があるのは、災害発生地域に住んでいる人々からの災害通報であると考えられる。しかしながら、今回の災害では、十分な体制を引くことができずこの情報を有益に利用できなかったとは言えない。

これらのことから、もし重要な判断を即座にできる状態であったとしても、被害を大幅に軽減できたとは考えにくい。今後の対応をより効果的にするためには、現象（特に降雨）に関する予測の精度を向上することが考えられるが、現状では難しいこともわかっており、これが

実現されるまでは、これまでより厳しい状況を想定した対応体制を引くことが求められる。

(2) 災害当時の状況

住民へのヒアリング調査をもとに、把握できた内容は以下ようになる。

午前2時過ぎにホテル椿園周辺では木が倒れ、建物内の浸水が確認された。また、2時10分頃には停電になっていた。

同時刻帯、神達地区東側では建物に振動があり、恐らく土砂・流木が到達したと考えられる。また、元町2丁目では、午前1時半の時点で停電しており、午前3時頃には土砂が到達したことがわかっている。

深夜に個別受信機より情報を得た人もいるが、危険という事は分かったが、その時点でも集中豪雨が継続しておりどうすればよいか分からなかった。また、個別受信機は停電の時には電池モードに切り替わるはずであったが、切り替わらず、情報が得られなかった人もいた。

(3) まとめ

災害発生前は、行政・住民ともに、伊豆大島の災害は「火山」の印象が強く、台風による被害は暴風および波浪・高潮と考えられていた。その上、発災前日の気象情報からは風台風（風による被害が発生し、雨はそれほど多くない台風）だと考えられていた。火山で出来た島であることより、水害に対しては強い島であると認識していた人も少なくない。狩野川台風等の過去の被災事例は知っているものの、豪雨災害やそれに伴う土砂災害への備えは決して高い地域ではなかったと考えられる。

また、4.3で述べたように、行政としては安全な収容避難所を十分に提供することが出来ないことを不安要素として抱えていた。これについては、官民でリスクを共有し、民間施設や民家も活用した避難を検討する必要があると考えられる。今回の台風では風台風と考えられていたが、台風による降雨が予測以上になることは十分に想定され、また大雨・洪水警報も夕方の時点で発表されていたことより、少なくとも避難行動要支援者の避難支援は早期に開始する必要があったと考えられる。ただし、災害の様相と置かれている環境に応じて、命を守る行動は異なるため、適切な行動をとるためには、平時のリスクコミュニケーションを欠かすことは出来ず、普段からの取り組みが重要である。このような取り組みで培われた知識があることに加えて、タイムリーに行動のトリガーとなる情報を伝達できれば、避難環境は向上すると考えられる。

(神谷大介・畑山満則)

8.2 復旧・復興

(1) 住民の不安と希望

2014年1月に実施したヒアリング調査では、「今、雨が降るとどこへ行くべきかという情報が欲しい」等、今の状況に対する身の安全を確保するための情報を得たいという意見があった。また、「道路整備も含め、被災前と同じ状況に戻して本当に大丈夫なのか不安である」、「復興会議に参加し、意見を言いたい」等、今後に対する不安や参加型の復興計画に対する要望も挙げられた。さらには、「引きこもり傾向の子どもは集団避難が難しい」等、個別の避難支援に関する問題点も指摘された。台風26号伊豆大島被災者の会（仮称）準備会が実施したアンケートによると、「今雨が降るとどうすればよいのか」、「住み慣れた町で住みたいが、大丈夫なのか」等の不安、「住民の意見を聞いて欲しい」、「義援金等の格差が問題」等の被災後の行政対応に対する不満が多く寄せられていた。図8.2-1に示すように、被災後に暫定的な土砂災害危険渓流・急傾斜地崩壊危険箇所図が配布されているが、住民の不安は払拭されていない。

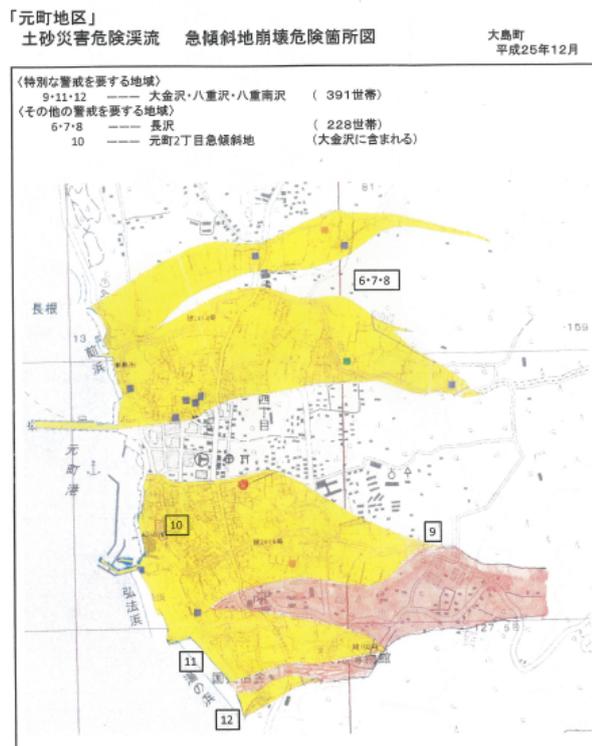


図8.2-1 土砂災害危険渓流・急傾斜地崩壊危険箇所図

(2) 行政の復旧対応

ヒアリング調査において、行政側の対応について、行政側と被災者側の意見に食い違いがあることがわかった。行政側は復旧を作業として粛々と行っているが、被災者側からすると、被災者の意見や要望を聞くこともなく、

次々と新たな内容が決められ、実行されていくように映っていると思われる意見が多かった。後述の社会福祉協議会が、いち早く被災者の要望を聞いて回っていたことと比して、被災者とのコミュニケーションを積極的に行っていない印象がある。この災害に対する説明会などが、複数回開かれているが、行政が積極的に催したものは少なく、その現状に疑問を抱いた住民が企画したものが多くある。復旧・復興で生じる各種の事業は、別々のもののように思えるが、行政と被災者や関連する人々が日常生活を取り戻していくプロセスの中で関連していくため、災害直後から両者には信頼関係を構築が必要とされる。そのためには現状の対応や復興の考え方について情報を公開し丁寧な説明をしていくことが最低限必要であるが、今回のヒアリングからは、十分に関係が構築できているとはいえない。復興計画策定にあたり「大島町復興町民会議」が設置されることになり、復興に対して被災者を含む住民が意見を言える機会が設けられることとなったことは、この状況が好転するきっかけとなり得る。復興計画策定までの流れで示されている平成26年4月上旬、5月下旬、7月上旬に会議¹⁾、要望に応じて設置される分科会²⁾において、単なる意見の聞き取りのみに留まらず、住民からの要望を汲み取った復興計画への反映がなされ、行政と住民が連携した復興がなされることが期待される。

(3) 社会福祉協議会とボランティア

社会福祉協議会は、10月18日にはボランティアセンターを立ち上げ、状況やニーズの把握を開始している。東日本大震災などの被災地で活動経験が豊富な災害支援NPOの助言を受け、被災者とのコミュニケーションを密にした活動を行っており、台風27号の前には災害復旧活動を一旦中止して、現状を維持できるような事前対策に作業を切り替えるなど柔軟な対応を行っている（このような活動は、行方不明者の捜索活動にあたっている消防団にも見られた）。このような住民目線の活動を行ったことで被災者との信頼関係も構築されている。また、ボランティア活動に参加した住民が被災者の見守りを兼ねたボランティア団体を立ち上げるなど、地元住民による復興の先鞭をつけることも行っている。

行政に比べると、その役割から社会福祉協議会は住民と良好な関係を築きやすく、民間組織ではあるが平常時から行政と密接な関係にあることから、ともしれば対立しがちな被災者と行政の緩衝材となれる可能性がある。復興に際して、この関係が活かされることが期待される。

(4) 観光の現状と復興

伊豆大島の観光客数は図8.2-2に示すとおり、1970年代に比べると半分以下にまで減少してきており、近年は維持もしくは微減の状況であった。2007年より高速船が就

航し、利便性は向上している。また、図8.2-3に示すように、観光客は1月下旬から3月にかけて実施される椿まつりおよび夏の海水浴シーズンに観光客数が多い。観光協会によると、椿まつりのシーズンには東北・関西地方からの観光客も多く、夏は関東からの観光客が多いとの事である。

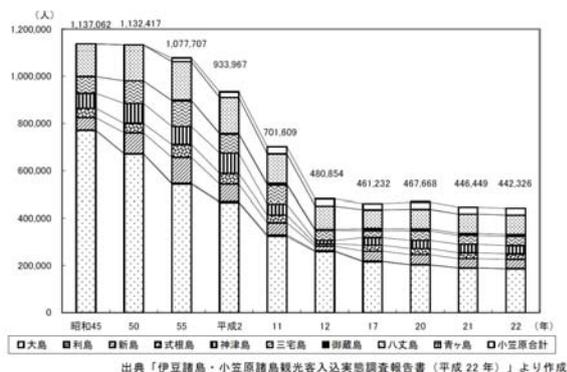


図 8.2-2 観光客数の推移

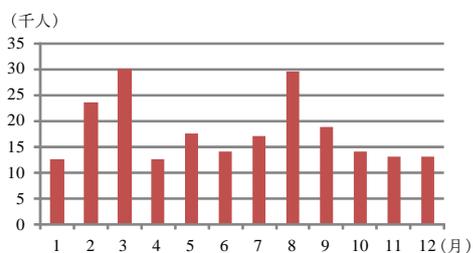


図 8.2-3 月別来島者数(平成 21 年)

1月に実施したヒアリング調査時点では、被災後から復旧・復興関係者や調査団等による来島者が多く、宿泊施設は満たされているが、観光客は非常に少ない状況であるということであった。観光協会では11月5日（被災から概ね3週間経過後）に椿まつりの開催を決定している。遺族や被災者からの反対はあったが、椿まつり開催時期および準備期間を考慮すると、遅くともこの時期に決定する必要がある。椿まつりの開催を見送ると、夏の観光シーズンまで影響が残ると判断したとの事である。椿まつりのポスターには「観光復興スタート」と謳われている。安全が十分に確保されてから誘客をすとの意見もあったが、いつになるか分からない状況において、その判断は難しかったということである。

多くの被災地において、観光客が訪れる事は復興の一助となることは明らかである一方で、復興プロセスはあまり報道されないというのが現状である。このため、被災地は被災地のままあり続けてしまう。これを払拭するためにも、遺族等への配慮をした上で、早期の復興に向けた取り組みは重要になると考えられる。

また、伊豆大島の観光資源はジオパークをはじめ、火山博物館等、自然地形・環境である。このため、ある方

は「ジオパークなどと同様に、自然現象が観光資源化する事も1つであり、災害が災害文化の継承と災害対応の継続化、そして安全・安心な観光資源価値の向上につながることを期待する。」と言われていた。被災者にとっては厳しい問題であることも事実であるが、被災経験を継承すること、観光資源としての活用という意味において重要な考えであろう。

今回の災害以前に観光協会が主体となり、国土交通省の支援を受け、伊豆大島ハッカソンとしてマッピングパーティが行われていた。この経験を活かし、マッピングパーティ参加者は被災当日には活動を開始しており、伊豆大島台風26号被災状況マップ²⁾として活用されている。平時の繋がりが災害時にも活かされた事例として注目し、値すると思われる。また、2010年奄美大島豪雨災害の観光被害において、ダイビングショップにおける被災後の観光客の回復速度とリピーター率およびコミュニケーションの頻度には関係が見られた。つまり、ただ観光として地域を巡るだけでなく、地域の人と関わり、SNS等も活用しながら観光後も繋がりを継続しておくことが、被災後の早期復旧に繋がること示されていた³⁾。伊豆大島のマッピングパーティ参加者の行動の動機も同様のことが言えると思われる。

(5) まとめ

災害後の行政対応だけでなく、その後の復興計画に対して住民は多くの意見を有している。「大島町土砂災害復興基本方針一島の地域力と協働による安全・安心なまちの再生をめざして」（平成25年12月17日）によると、そのタイトル通り町民参加による復興計画が謳われているが、現在のところ住民が希望するレベルで意見が交わされていないようである。

観光による復興という観点からは、早期対応は望ましく、被災ではなく自然現象がもたらしたものとして観光資源化できるならば、災害文化の継承という観点からもこの災害を活用した新たなスタートになると考えられる。

参考文献

- 1) 平成 25 年度 第一回大島町復興計画策定委員会 資料5 大島町復興計画の策定について：http://www.town.oshima.tokyo.jp/information/fukkoukeikaku_shiryo1.pdf
- 2) 平成 25 年度 第一回大島町復興計画策定委員会 資料6 大島町復興に向けた住民意向調査 意向調査票：http://www.town.oshima.tokyo.jp/information/fukkoukeikaku_shiryo1.pdf
- 3) 伊豆大島台風 26 号被災状況マップ：<https://izuoshima26.crowdmap.com/>
- 4) 竹林洋史・宮良工・森山聡之・二瓶泰雄・堤大三・赤松良久・神谷大介・宮田秀介：平成 22 年 10 月奄美大島豪雨による災害調査、河川整備基金助成事業報告書、2011。

(神谷大介・畑山満則)

第9章 今後の災害に対する被害の軽減・提言

今回の伊豆大島豪雨災害では、総雨量800mmを越える局所的な異常豪雨が発生し、甚大な土砂災害を蒙った。今回の災害を踏まえ、今後の土砂災害の被害軽減のための提言として、以下の8つを提示する。

(1) 泥流の流下経路に設置されている砂防施設は、土砂を貯留して下流域の被害軽減に寄与した。一方、元町溶岩が分布する斜面地形のように、谷地形の発達が乏しい地域においては、泥流の流下経路や氾濫流域を詳細に検討し、その結果を砂防施設等のハード対策（例：導流堤と遊砂地の組み合わせなど）に活かしていく必要がある。

(2) 谷地形の発達が乏しい火山地域では、土砂災害防止法に基づく土石流や急傾斜地の警戒区域・特別警戒区域の対象域とはならないことが多いことに注意すべきである。火山地域では、通常の土砂災害の想定を超えた地形・地質構造があることを認識し、泥流の流下速度は速く、しかも勾配の緩いところまで流下すること等を考慮し、これらを土砂災害の予警報システムやハザードマップづくり、および活用に生かすべきである。

(3) 渓流域における流木災害・洪水氾濫を防ぐための対策（橋梁設計に流木対策を考慮するなど）を早急に検討する必要がある。

(4) 自衛隊等の救援組織の対応において、48時間以内での活動の質的な向上を図るため、地域に常駐する地方自治体職員からの「早期の適確な情報提供」が望まれる。

(5) 今回の伊豆大島での被災の教訓を、類似の火山地域の土砂災害軽減に活用すべきである。

(6) 地球温暖化に伴う降雨特性の変化が土砂災害に及ぼす影響について各所で議論されているところであり、今回の災害についてもこのような観点から検討する必要がある。

復興を進めていくにあたっては、

(7) ハード対策とソフト対策の両面から防災機能を再構築することが求められるため、住民（被災者を含む）と行政のコミュニケーションを、より密にしていく必要がある。さらにこの関係は、今後の災害に向けての継続的な熟議の場に発展させていくことが求められる。

(8) 多量に発生した土砂と流木の処理が大きな課題であり、島内の環境保全や復興のために、早期の処理が必要である。

現地では、多くの人命が失われ、行方不明者も多数となった。亡くなられた方のご冥福をお祈りするとともに、行方不明者全員の発見が早期に行われることをお祈り申し上げます。

(団員全員)

謝辞

本調査団は、公益社団法人土木学会、公益社団法人地盤工学会、一般社団法人日本応用地質学会、公益社団法人日本地すべり学会の4学会合同で組織され、伊豆大島豪雨災害に対する調査を行うものである。大島町役場、東京都大島支庁、東京都建設局、国土地理院、国土交通省、島民の方々には、情報提供、現地調査等において、ご協力いただきました。調査団一同、深く御礼申し上げます。

本調査研究を推進するにあたり、公益社団法人土木学会、公益社団法人地盤工学会、一般社団法人日本応用地質学会、公益社団法人日本地すべり学会から援助を頂いた。また、団員の中のいくつかのグループでは、以下の研究助成の援助を頂いています。ここに感謝の意を表します。

- ・科学研究費補助金（特別研究促進費）「平成25年台風26号による伊豆大島で発生した土砂災害の総合研究」
- ・公益財団法人河川財団河川整備基金「平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害調査」
- ・公益社団法人土木学会・水工学委員会水害対策検討小委員会