2章　雲仙火山災害の気象学的特性

荒生　公雄

はじめに

雲仙・普賢岳の激しい火山活動によって多種多様な災害が発生し，長年月にわたって深刻な事態が続いている。本章では気象現象と関連する災害について報告する。1991年（平成３年）５月20日に初めて出現した溶岩は，間断なく成長と崩落をくりかえし，火砕流となって極めて苛烈な災害を発生させている。また，降雨によって火砕流堆積物が押し流され，しばしば大規模な火山性土石流が発生している。火山性土石流は，火砕流とならんで雲仙火山災害を特徴づける最も熾烈な現象であり，家屋の被害および道路・橋梁・鉄道などの被害の大部分は土石流によって引き起こされたと言っても過言ではない。一方，火山灰および火砕流噴煙は風に運ばれて広い範囲に拡散し，慢性的な大気汚染現象を引き起こすとともに，降灰は農作物にも深刻な影響を与えている。

１節　火山性土石流の概況

1. 土石流の発生状況

表―１にこれまでに発生した主な土石流と被害の概要を示す。本表の大部分は建設省・長崎県の報告書[1]に依拠したため，1993年（平成５年）６月24日現在のものである。したがって，1993年７月以降の土石流は記載されていない。また，備考欄は新聞や関係資料から得た流出土砂体積と雨量を示した。土砂体積の推定値（水無川の場合，国道57号線よりも下流に流れ出た土石の体積）には若干のばらつきがあり，必ずしもこの記載値が正確とは言えない。しかし，

表—1　おもな土石流の一覧表（1993年6月24日まで）

発生年月日	発生地域	家屋の被害		備　考
		住家	非住家	
1991・5・15	水無川	—	1	土砂体積7万m³，日雨量105.5mm
1991・6・30	水無川 湯江川	64 34	87 17	体積38万m³，日雨量188.0mm， 最大1時間雨量71.5mm
1992・3・01	水無川	—	—	体積3.5万m³，日雨量69.5mm
1992・3・15	水無川	—	—	体積7万m³，日雨量103.0mm
1992・8・08～15	水無川	164	80	体積32+14+1万m³（8,12,15日）， 8日138mm,12日54.5mm,15日13.5mm
1993・4・28～5・02	水無川 中尾川	278 41	156 13	体積102.5＋34万m³（28，02日） 28日275.0mm，02日78.5mm
1993・6・12～16	水無川 中尾川	41 7	22 11	体積63万m³，13日163.0mm， 14日51.0mm，15日59.0mm
1993・6・18～19	水無川・中尾川	135	72	体積96万m³，18日185.0mm（1時間48.5mm），19日154.0mm
1993・6・22～23	水無川・中尾川	49	29	体積88万m³，22日145.0mm， 23日76.5mm（1時間43.5mm）

数字に多少の誤差があったとしても，土石流の特性を理解するには非常に有用な指標であるから，あえて可能な限りその値を記載した。なお，1992年の流出体積は石川の報告[2]から引用した。備考欄の雨量はすべて雲仙岳測候所の記録であり，長崎県気象月報[3]から転載した。

ところで，土石流の発生は表—1に示した日に限ったことではない。福岡管区気象台・雲仙岳測候所の報告書[4]によれば，土石流と思われる地震計の振動波形を観測した日数は，1991年に11日，1992年に22日となっている。この合計33日の月別頻度は3～9月の暖候期がほとんどであり（30日），わずかながら11月（1日）や12月（2日）にも観測されている。季節的な感覚としての3月は未だ早春のイメージであるが，寒気がゆるんで低気圧や前線が通過するようになると，かなり強い雨をもたらすから，春一番（平年2月23日）以降の嵐には十分に警戒が必要である。さらに，3月・4月は官公庁の年度替わりと異動

の時期であり，行政関係者には行事が多く落ち着かないシーズンである。このような人間社会のスケジュールとは無関係に，土石流発生に関与するような低気圧がしばしば通過することを十分留意したい。

2. 土石流被害の概況

これまでに発生した火山性土石流のうち，特徴的な被害の状況について簡単な注釈を加える。

(1) 1991年6月30日の土石流

この日，土石流は中尾川（島原市北部）や湯江川（有明町）でも発生したが，最も激甚だったのは水無川流域であり，普賢岳山頂部から有明海まで長さ7kmを通り抜けた。土石流は中流部の国道57号線（雲仙登山道）付近で河道からはずれ，約100mの幅で一直線に海岸まで達した。土石流は島原市安中地区（鎌田町，中安徳町）の住宅地を襲い，国道（57および251号線），広域農道および島原鉄道線を埋没させた。このため，島原市と島原半島南部を結ぶ交通の動脈がすべて切断され，通勤・通学・物資の輸送など市民生活と経済活動に深刻な影響を与えた。なお，同年6月4日の大規模火砕流を契機に，被災地区は立入を禁止する警戒区域に設定されていたため，最初の大規模土石流であったにもかかわらず，人的被害が皆無であったことは不幸中の幸いであった。

(2) 1992年8月12～15日の土石流

台風10号が熊本県玉名市付近に上陸した8月8日の土石流に引き続いて，前線性の降雨によって，12・13・15日と土石流が連続的に発生した。土石の流出体積は8日のものが最も多かったが，その8日の土石流で河床や遊砂地が土砂に埋まったために，12日以降の比較的規模の小さい土石流は河川から容易に溢れ出し，被害の拡大をもたらした。河床や遊砂地が十分に空いていれば，土石を吸収し氾濫防止に有効に寄与するが，堆積した土石が残っている間に次の土石流が発生すると，大きな被害に結びつくことを如実に示した。このことに加えて，大規模な土石流の直後は，山体の堆積状態が不安定になり，少量の降雨でも土石流が発生しやすいことを示す事例ともなった。

(3) 1993年4月28日の土石流

この土石流はこれまでに発生した土石流のうちで最大であった。それまでの氾濫が帯状であったのに対して，この土石流は水無川の下流域を広範に覆い尽し，被災面積は約70haに及んだ（5月2日の土石流で100haに拡大）。土石の厚さは最深域で3mにもなり，1階部分はほとんど土石で埋まった。流出した

土石の体積は102.5万㎥と推定され（水無川95万㎥，中尾川7.5万㎥の合計），河道と遊砂地の全収容能力（第3遊砂地の完成時点で約60万㎥）をはるかに超える大量の土石流出は強い衝撃を与えた。水無川流域の河道外氾濫量は47万㎥と見積もられ，国道57号線付近での氾濫は幅200m程度であったが，下流域では幅800m～1kmに達した。このため，島原鉄道はこのあと今日に至るも復旧していない。また，国道251号線は路面上の土石のみを溝形に除去して5月1日に開通したが，翌2日の土石流で再び不通となり，4日午後ようやく復旧した。この時，中尾川にも中規模の土石流が発生し（28日の氾濫面積：9ha），島原市に入る幹線道路が北と南で遮断される危惧が現実のものとなった。

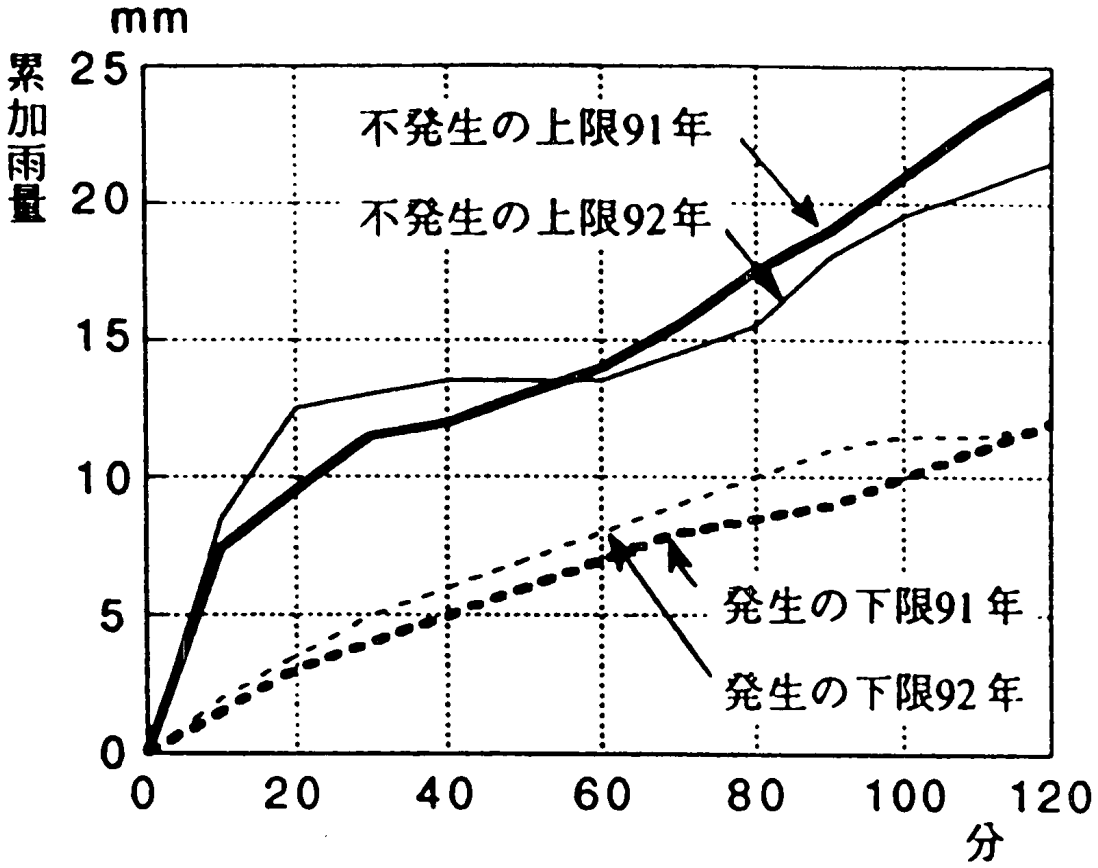
(4) 1993年6月18日の土石流

6月12～13日の中規模な土石流に続いて，6月18日にも大規模な土石流が発生した。18日の土石流は水無川に架かる国道57号線の鋼鉄製の橋を全壊させるとともに，1階部分が土砂に埋まっていた多くの家屋を押し流した。この土石流は家屋を跡形もなく流出させた初めての事例であり，実に150～200棟が流失したと見積もられている。このため，国道57号線から下流の広い地域から家屋が消失し，河道や橋や道路が全く識別出来ないほどに土石の氾濫原と化した。長さ1.1kmにわたって新たに大量の土石に埋まった国道251号線の800mの区間は，復旧を急ぐために，堆積土砂の上面を整地して6月21日に仮復旧させた。その後その路面が舗装されたため，水無川付近の国道251号線は従来の路面や橋桁よりも2～3m高いところを通っている。

2節　火山性土石流と降雨

1. 土石流の発生限界降雨

土石流の発生限界降雨に関しては，九州大学の平野ほか[5~7]によって詳細な調査結果が報告されている。それらの研究成果のうち最も基礎的で示唆に富む成果の一つを図－1に示す。この図は，雲仙岳測候所の10分間雨量に基づいて，1991年と1992年の2年間わたって「ひと雨」ごとに累加雨量の時間的変化を調査し，降雨と土石流の発生・非発生の関係を分析した後に，「発生の下限」と「非発生の上限」を示したものである。なお，平野ほかは独自の理論展



図―1　累加雨量図における土石流発生の下限と非発生の上限
（平野ほかによる）

開により，土砂堆積層を雨水が浸透する到達時間と限界雨量の推定方法を解説しており，そのなかで，水無川の場合は到達時間が1時間程度であることを明示している。そのうえで，図―1について次のように説明している。

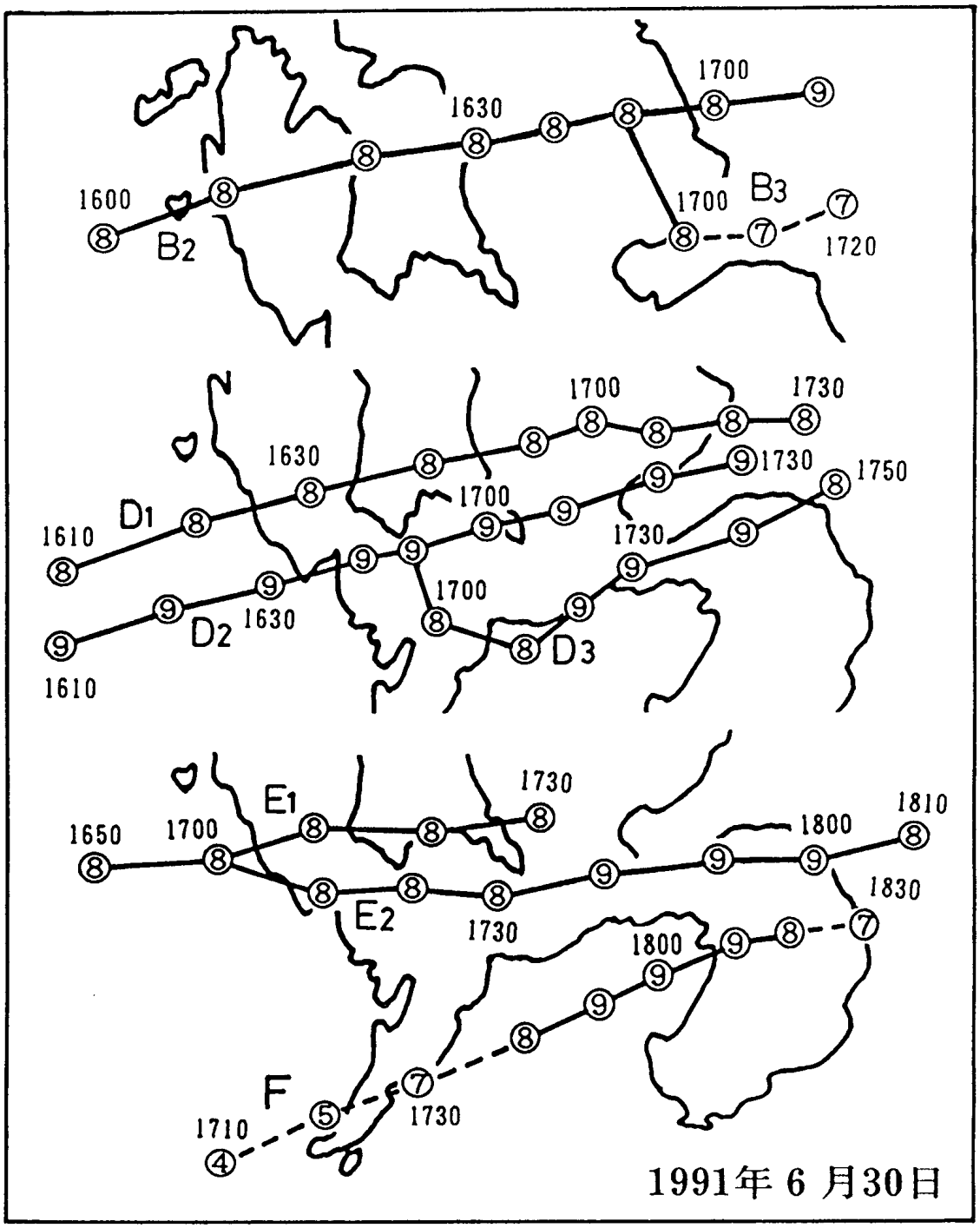
『(1992年の場合は) 1時間雨量が8mmを越えると土石流発生の可能性が生じ，13.5mmを越えると必ず土石流が発生していることが分かる。図には91年の場合も示されているが，ほぼ同様の値（時間雨量7mmで土石流発生の可能性が生じ，14mmを越えると必ず土石流が発生）になっており，土石流の発生状況は92年になっても変化していない。』

この結果は，比較的少ない降雨でも土石流発生の可能性があることを明瞭に示したものであり，防災対策上極めて貴重な成果である。このことは雲仙土石流の基本的な特性として，行政側も住民もよく熟知しておくべき知見である。ただし，平野ほかが別の図に示しているように，時間雨量もしくは連続雨量が少ない場合は流出土砂量も少ないから，発生限界ぎりぎりの雨量では大規模な土石流にはなっていない。また，雲仙岳測候所の雨量と普賢岳の斜面で土石流を引き起こす直接的な降雨がいつも一致するとは限らないこと，および，山体

の堆積状態も変化することなど，土石流発生には複雑な条件が絡み合っているものと考えられる。

2. 雲仙岳周辺を襲う強雨の活動様式

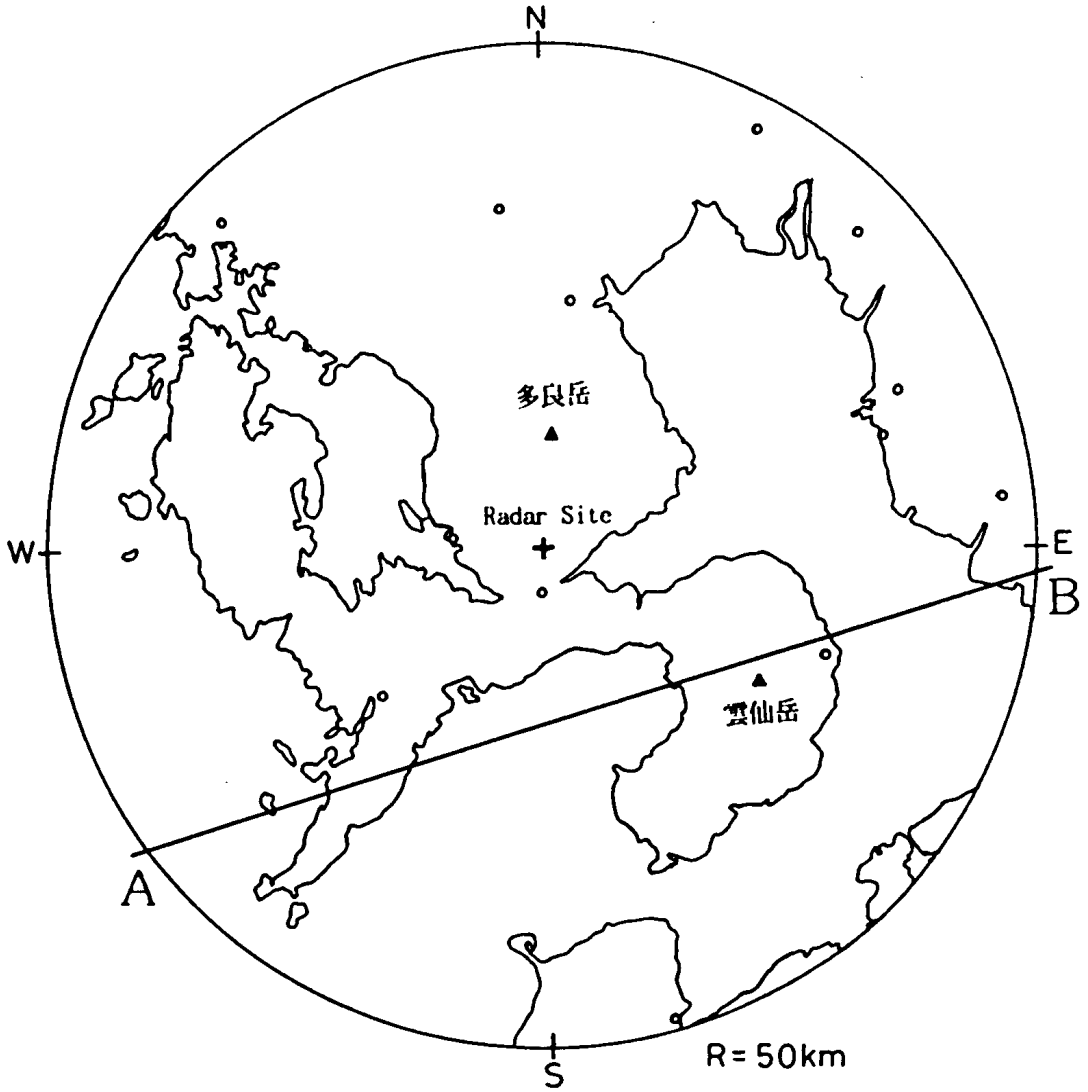
筆者らは雲仙岳に進入する強雨（おもに対流性降雨）の活動様式と微細構造の解明を主要な課題として調査研究を行なっている。図―2は建設省西部局雨



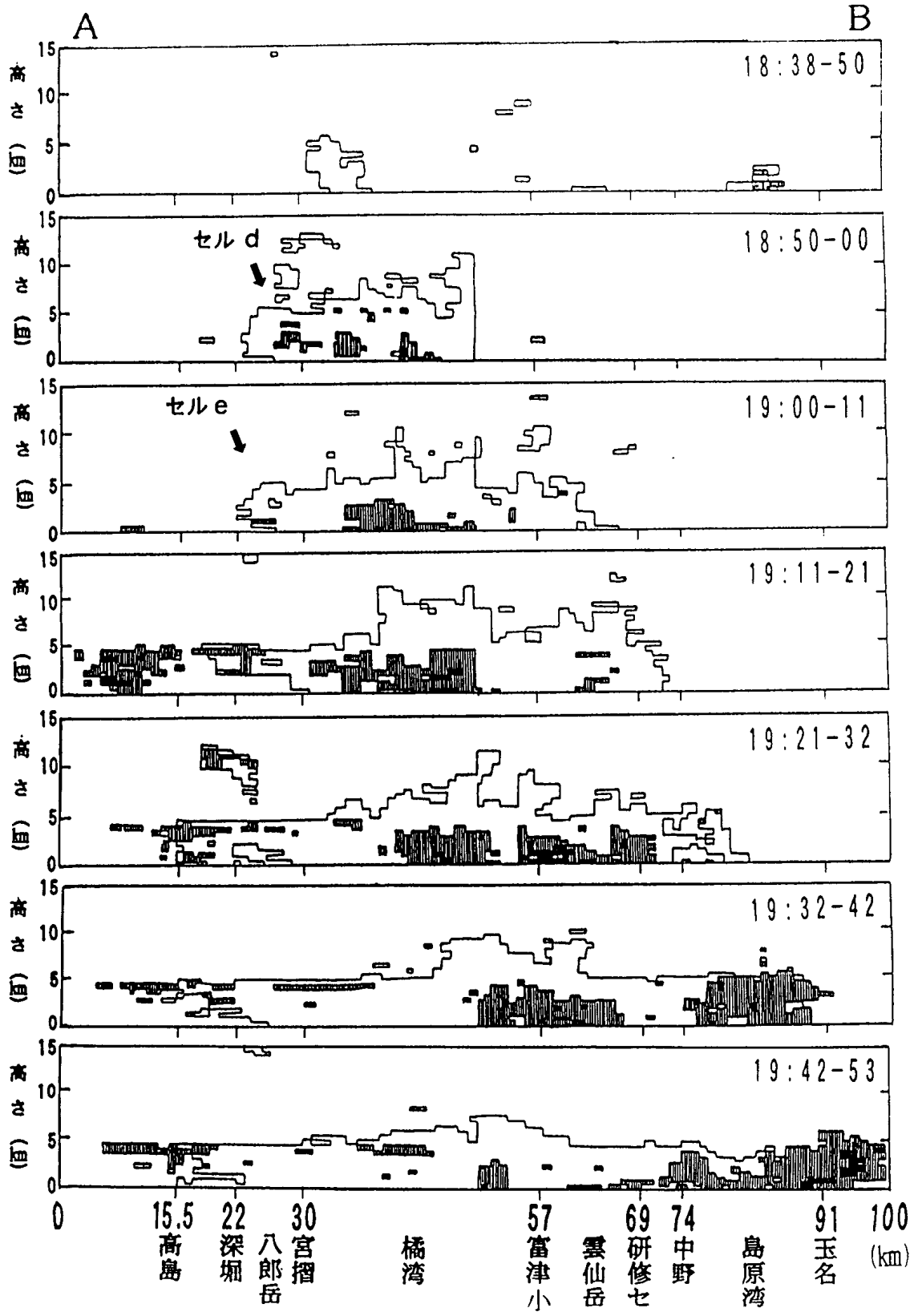
図―2　1991年6月30日の降雨セルの活動
（荒生ほかによる）

量レーダーが捉えた1991年6月30日（大規模土石流）の強雨域の移動経路である[8・9]。土石流を発生させた雨域は記号Fで表示し，降水強度のランク（円内の数字）と時刻（4桁の数字）も示している。降水強度9は＜100mm/h以上＞に相当する最大のランクである。強雨Fの起源は長崎半島先端の海上に17時10分頃に出現し，発達しながら東北東に進み，18時過ぎに島原半島に上陸した。また，この日の降雨系は長崎県中部地区（大瀬戸町～大村市）から始まり，徐々に南下したものであった。

図―3は諫早市内に長期滞在中の名古屋大学レーダーの探知範囲と1992年8月12日（中規模土石流）の解析に用いた鉛直断面線（A―B）を示し，図―4はA―B断面における同日の18時38分から19時53分までの10～11分間隔のエ



図―3　名古屋大学レーダーの探知範囲と断面A―Bの位置
（荒生ほかによる）



図—4　1992年8月12日のA—B断面におけるエコー強度の鉛直分布；黒：20 dBZ以上，縞：20～17dBZ，白：17～10dBZ
（荒生ほかによる）

コー強度の鉛直構造を示す[10・11]。19時40分頃に発生した土石流は図中のセルｄとセルｅの降雨によってもたらされたが，これらの強雨域も長崎半島付近で発生し，成長しながら東北東に進み，雲仙岳周辺に到達していた。

ここに示した２つの事例は島原半島に強雨をもたらす前線性降雨の代表的な活動パターンであり，現在解析を進めている1993年の降雨でもしばしば同様のパターンが見られる。それらの特徴は次のようにまとめることができる。

(1)初期段階の強雨域は長崎半島付近あるいは橘湾上に出現し，東北東に移動しながら発達成長し，島原半島に上陸する。

(2)その移動方向と速度は上空の風向・風速に支配され，移動速度は時速60 km 程度である場合が多い。したがって，小浜町と島原市では来襲時刻に15～20分の時間差がある。

(3)単独の対流性降雨の寿命は１時間程度であるから，島原半島からみて，30～40km 西方に新しく発生する強雨域が最も強い雨をもたらす。

3. 雨量統計値と土石流の発生

表―２は雲仙岳測候所における雨量の統計表の抜粋である。スペースの都合により３月から９月までと年統計値のみを示し，しかも日雨量30mm 以上の場合に限定した。本表から日雨量が50mm を超える日数は年平均31.5日を数えることがわかる。また，70mm 以上の日数は15.2日であり，これは比較的少雨であった1992年においてすら，雲仙岳測候所の地震計から推定された年間の土石流日数22日よりも少ない。雨の降り方は一様ではないから，単純には結

表―２　雲仙岳測候所における降雨の主要統計（統計期間：1978―90年の13年間）

要素	細　目	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	年
日降水量の階級別日数	30.0～ 50.0㎜未満	2.2	2.6	3.5	4.9	5.0	3.1	3.0	38.9
	50.0～ 70.0 〃	1.2	1.3	2.2	3.5	3.2	1.5	1.9	16.3
	70.0～100.0 〃	0.3	0.6	1.4	2.2	2.4	1.1	1.2	10.2
	100.0㎜以上	0.2	0.1	0.5	1.1	1.8	0.5	0.5	5.0
降水量の極値(㎜)	日最大10分間降水量	12.0	13.5	18.0	20.5	28.0	23.0	20.5	28.0
	日最大１時間降水量	31.5	30.5	66.5	76.5	81.5	56.0	66.5	81.5
	日降水量	116.5	116.5	145.5	306.0	482.0	269.0	247.5	482.0

論づけられないが，上述の状況から日雨量50～60mm 程度の降雨でも土石流を発生させていると推論できる。このことは同時に，日雨量50mm 程度の降雨でもしばしば 1 時間に15mm 程度の雨量（平野ほかの示した発生限界雨量）になっていると言い換えることもできる。

このような事情に加えて，特に留意しなければならないことは，1993年 4 月28日のように（日雨量275mm），日雨量が300mm 程度かそれ以上になることも決して珍しくはないことである。さらに，雲仙岳測候所の最近の13年間では記録されていないが，1 時間100mm 程度の豪雨も十分起こり得る地域である。それゆえ，斜面の堆積物の量と堆積状態に関する監視を強化するとともに，降雨と土石流に対してこれまで以上に厳重な警戒が必要がある。

4. 警報の意義と活用

長崎海洋気象台は，島原半島に限定して大雨洪水警報や注意報を発表するようになった。また，放送局や電話局の警報伝達システムもかなり充実し，きめ細かい情報が提供されている。これは雲仙土石流の危険性と発生特性を十分に考慮された上での措置であり，そのような努力に敬意を表したい。頻繁に出される警報は不満や困惑を生起させ，歓迎されざる対象となりがちであるが，突発的で局地性をもつ降雨活動の特性を考えれば，市民の安全確保のために出される極めて貴重な情報なのである。このことをしっかりと確認し合い，「土石流では人命を喪失させない」ことを最優先の心構えとして，関係各機関および市民各位の一層の努力をお願いしたい。

3 節　大気中の火山灰濃度と気象

筆者らは九州大学島原地震火山観測所（普賢岳の東北東約 6 km）において，1992年にパーティクルカウンターを用いて大気中の火山灰濃度を連続的に測定し，気象状況を考慮しながら濃度変化の実態を考察した[13]。紙数の都合により，ここではその結果の要約のみを記す。

(1)火砕流噴煙は西風に流されて 1 時間～ 1 時間半後に観測所に到達し，高濃度状態を12～30分程度維持させる。

(2)晴天が続いたあとの強風日には，風による灰の舞い上げや，樹木からの払い落しによって，長時間（半日程度）高濃度を維持する場合がある。

参考文献

1）建設省・長崎県：雲仙・普賢岳噴火と火山噴火対策砂防事業，pp. 46，1993.

2）石川芳治：火砕流・土石流の実態と対策（付章　雲仙普賢岳における噴火活動と火砕流・土石流），137—157，（社）砂防学会編，鹿島出版会，1993.

3）長崎海洋気象台：長崎県気象月報（月刊）.

4）福岡管区気象台・雲仙岳測候所：災害時火山現象調査報告—平成3年（1991年）雲仙岳噴火，pp. 282，1993.

5）Hirano, M., H. Hashimoto and T. Moriyama: Debris flows in Mt. Fugen, Unzen Volcano, the 1990-1992 Eruption(T. Yanagi, H. Okada and K. Ohta ed.), 67—73, Nishinippon & Kyushu University Press, 1992.

6）平野宗夫，森山聡之，岩元賢一：土石流の発生限界降雨と発生予測，1991年雲仙における土石流の調査研究，文部省科学研究費—突発災害調査研究成果，No. B—3—1，9—14，1992.

7）平野宗夫，森山聡之，川原恵一郎：雲仙・水無川における92年の土石流災害，雲仙における土石流・火砕流の調査研究，文部省科学研究費—総合研究（A）研究成果，1—7，1993.

8）荒生公雄：雲仙岳周辺に大規模土石流を発生させた1991年6月30日の豪雨活動，雲仙火山災害の調査研究（長崎大学調査研究グループ），11—29，1992.

9）荒生公雄，久保田由美，河田誠，中根重勝：雲仙岳に土石流を発生させた1991年6月30日の豪雨の微細構造，長崎大学教育学部自然科学研究報告，No.48，37—46，1993.

10）荒生公雄，武田喬男，藤吉康志，中根重勝，野口正人：長崎県南部および雲仙周辺における豪雨の監視と減災システムの研究，自然災害研究西部地区部会報，No.16，29—34，1993.

11）荒生公雄，久米智子，河田誠：1992年に火山性土石流を発生させた島原地方の降雨の特徴，雲仙火山災害の調査研究（第2報）（長崎大学調査研究グループ），4—19，1993.

12）気象庁：日本気候表その1（月別平均値・極値），243および441，1991.

13）荒生公雄，岩坂邦彦，福井理作：島原市における大気中の雲仙火山灰の濃度と粒径分布の変動，雲仙火山災害の調査研究（第2報）（長崎大学調査研究グループ），20—27，1993.