

文部省科学研究費 (No. 05306013)

No. B-5-3

突発災害調査研究成果

自然災害総合研究班

平成5年8月豪雨による鹿児島災害の調査研究

研究成果報告書

平成6年3月

研究代表者 岩松 暉



序 文

研究代表者 岩 松 暉

周知のように1993年は全国的に冷夏に見舞われたが、鹿児島も例外ではなく、入梅以来長雨にたたられた。7月9日に梅雨明け宣言が出されたもののその後も雨が止まず、気象台が「梅雨明けははっきりしない」と撤回を発表するほどの異常降雨であった。鹿児島地方気象台における7月の月間降雨量は1,054.5mmを記録し、観測史上最多となった。中でも7月31日から8月7日にかけて鹿児島県本土中央部を中心に降った豪雨は、えびので総降水量1,258mmを記録するなどものすごく、気象庁から「平成5年8月豪雨」と命名された。

この豪雨により多数の犠牲者を出す大災害が発生した。先ず8月1日に始良地方でシラス崩壊が多発したが、従来しばしば見られた小規模な表層崩壊とはいろいろな点で趣を異にしていた。すなわち、一般にシラス表層崩壊は水の集中しやすい谷型斜面など地形や植生に支配されるのが普通であるが、今回は始良ニュータウンの災害に見られるように地形を無視して全面にわたって崩れるなど、非常に大規模であった。長期間の降雨により地下水で地面がいわば飽和状態になっていたからであろう。そのため崩土の到達距離が長く、浮きシラスとなって家屋や農地を埋没させるなど、被害を大きくしていた。このように長雨と豪雨が重なった特異な災害であり突発災害研究に十分値すると自然災害総合研究班と連絡を取っていた矢先、鹿児島市を中心に大規模な土砂災害や水害が発生し世間の注目を浴びた。いわゆる8・6災害である。

停電や電話の不通といった悪条件の中で何とか連絡を取り合って別記のような分野の研究者からなる総合的研究チームを編成し、総合研究(A)として申請した。幸いに250万円の科研費が認められた。ただし、8月上旬の時点であるから、神ならぬ身、その後台風災害など二度三度と被災するとは思ってもみなかったもので、研究題目には上記「平成5年8月豪雨」を冠した。しかし、今回の災害は6月中旬から9月下旬にわたる一連の災害である。標題とは若干ずれるが、本研究ではその全てを取り扱うこととした。

鹿児島の災害に関しては、文部省自然災害総合研究班から1969年(研究代表者:栗原道徳)、1974年(同:山内豊聡)、1977年(同:椿東一郎)、1987年(同:露木利貞)と数多くの調査研究報告書が刊行されている。その他、1991年(同:名合宏之)の台風災害研究のようにその一部に鹿児島県が含まれているケースも多い。同一地域がこれほど頻繁に取り上げられた例は珍しい。それだけ鹿児島が災害常襲地帯であることを示している。本報告書もそれらに追加される訳だが、被災後の実態調査を繰り返すだけでは災害はなくなれないというのが正直な感想である。無論、科学的な実態把握なくして対策はあり得ないが、今後は産官学協力によるより実践的な防災研究が求められているのではないだろうか。従来と異なり今回ソフト面の研究を取り入れた意図もそこにある。本研究が今後の防災対策の参考になれば幸いである。

最後に、本研究に対して防災関係機関など各方面から資料提供など便宜を図っていただいた。また、(株)建設技術研究所から奨学寄付金100万円をいただいた。記して謝意を表する次第である。本調査研究報告書を犠牲になられた多くの方々の霊に捧げる。合掌。

研究組織

研究代表者：岩 松 暉	(鹿児島大学理学部教授)	応用地質学
研究分担者：横 田 修一郎	(鹿児島大学理学部助教授)	応用地質学
鈴木 義 則	(九州大学農学部教授)	農業気象学
守 田 治	(九州大学理学部助教授)	大気物理学
下 川 悦 郎	(鹿児島大学農学部教授)	砂防工学
地頭菌 隆	(鹿児島大学農学部助教授)	砂防工学
平 野 宗 夫	(九州大学工学部教授)	河川工学
疋 田 誠	(鹿児島工業高等専門学校教授)	河川工学
江 頭 進 治	(京都大学防災研究所助教授)	河川工学
藤 田 裕一郎	(京都大学防災研究所助教授)	河川工学
藤 本 廣	(南九州大学造園学部講師)	防災工学
北 村 良 介	(鹿児島大学工学部教授)	防災工学
高 橋 和 雄	(長崎大学工学部教授)	防災工学
松 本 讓	(鹿児島大学法文学部教授)	経営学

も く じ

平成5年8月豪雨による鹿児島災害の経過と被害	岩松 暉	1
1993年南九州豪雨の気象特性	鈴木義則・早川誠而・山本晴彦・角 明夫	8
1993年8月6日の南九州の豪雨について—気候学的・総観気象学的観点から—	守田 治	19
総観場およびメソスケールから見た1993年8月6日の鹿児島市豪雨の気象特性	早川誠而・前田 宏・鈴木義則・山本晴彦・角 明夫	30
鹿児島市における土砂災害発生限界雨量	平野宗夫・森山総之・川原恵一郎	39
1993年鹿児島豪雨による斜面崩壊の地質学的側面	横田修一郎・岩松 暉	47
1993年豪雨による鹿児島県下の土砂災害	下川悦郎・地頭菌 隆・松本舞恵・三浦郁人・加藤昭一	63
空中写真判読による斜面崩壊・土石流の分布と土砂量	地頭菌 隆・下川悦郎・松本舞恵・加藤昭一・三浦郁人	76
8・6豪雨における崩壊土砂の挙動	江頭進治・横山康二・大槻英樹	93
1993年鹿児島豪雨による甲突川等の河川災害	疋田 誠・平野宗夫	100
1993年8月鹿児島水害における河道災害	藤田裕一郎・浅野敏之	110
1993年鹿児島豪雨災害による交通機能災害の調査研究	藤本 廣・北村良介・大山英一	121
平成5年8月豪雨による鹿児島災害における情報伝達および避難に関する調査	高橋和雄・阿比留勝吾	143
平成5年8月豪雨による鹿児島災害時の自主防災組織の対応	高橋和雄・阿比留勝吾	153
平成5年8月豪雨による鹿児島災害時の市民の対応	高橋和雄・阿比留勝吾	165
鹿児島市の豪雨災害と市民生活への影響	松本 讓	173
防災都市づくりとソフト的対応	岩松 暉	181
〈付録〉		
1993年鹿児島豪雨災害浸水図	疋田 誠・平野宗夫	

平成5年8月豪雨による鹿児島災害の経過と被害

鹿児島大学理学部 岩 松 暉

1. はじめに

周知のように1993年は全国的に冷夏に見舞われたが、鹿児島も例外ではなく、入梅以来長雨にたたられた。7月9日に梅雨明け宣言が出されたもののその後も雨が止まず、気象台が「梅雨明けははっきりしない」と撤回を発表するほどの異常降雨であった。その上、台風までが相次いで来襲した。この間に鹿児島に影響を与えた台風には、7月27日の台風5号、7月29日の6号、8月9～10日の7号、9月3日の13号などがある。なお、年間降雨量も4,022mmと史上最多を記録している。

このような長雨と豪雨により6月12日から9月20日までの3ヶ月間、鹿児島県下では断続的に激甚な災害に見舞われ、合計121名もの犠牲者を出してしまった(図1)¹⁾。鹿児島豪雨災害として全国的に有名になったのは8月6日の鹿児島市内を中心とする災害であるが、実はそれ以前からしばしば災害が発生していたのである。大きく次の5期に分けることができる。なお、気象庁も災害時気象速報を5度にわたって発行した。すなわち、気象庁予報部災害時自然現象報告書1993年第3号・第4号、福岡管区気象台災害時自然現象報告書1993年第3号・第4号および鹿児島地方気象台災害時自然現象報告書1993年第1号である²⁾⁻⁶⁾。このように短期間に5冊も刊行されたのは珍しい。それほどこの夏の降雨状況は異常だったのである。

また、全国的には5月27日～8月11日の間の豪雨および暴風雨、6月中旬～8月中旬の間の長雨ならびに7月上旬～9月上旬の間の低温(台風4・5・6・7号と梅雨前線による大雨および長雨、台風13号およびこれから変わった低気圧による大雨と暴風、7月上旬～9月上旬における低温・日照不足)が「天災」として指定された。この5月下旬～9月上旬までの間の「天災」による災害が「激甚災害」として指定された。

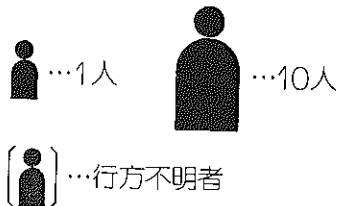
2. 6月12日～7月8日の災害

6月12日から南西諸島に停滞していた梅雨前線が北上し活発に活動した。これに伴い、26日頃まで県下各地で断続的に大雨が降った。とくに溝辺町で12日～26日の総降水量が1,101mmに達するなど北薩地方の降雨が著しい。一旦朝鮮半島南部まで北上していた前線は再び南下、7月1～2日および4～7日には九州南部に停滞し、県本土ではほぼ連日のように大雨が降った。この間の総降水量は宮之城町紫尾山で901mmに達したが、北薩地方だけでなく、薩摩半島・大隅半島各地でも500mmを越している。8日には前線は朝鮮半島南部まで北上、鹿児島県は太平洋高気圧に覆われ梅雨が明けたかに思われた。この間の県内主要地点における日降水量の最高値は次の通りである。

12日名瀬市113mm、13日溝辺町238mm、15日鹿屋市吉ヶ別府147mm、17日蒲生町矢止岳102mm、18日大口市102mm、19日阿久根市164mm、22日宮之城町紫尾山178mm、23日溝辺町106mm、26日鹿児島市権現ヶ尾153mm、7月1日吉ヶ別府95mm、2日権現ヶ尾238mm、4日宮之城町紫尾山322mm、6日吉ヶ別府119mm、7日枕崎市316mm。

鹿児島県内の発生地別死亡者数

4市15町 総計**121人**(1人)
 ※()内はうち行方不明者



鹿児島市	48人(1)	金峰町	21人
国分市	7人	薩摩町	1人
垂水市	6人	始良町	2人
大口市	1人	霧島町	4人
吉田町	5人	隼人町	6人
山川町	2人	大隅町	1人
穎娃町	1人	末吉町	1人
知覧町	1人	松山町	1人
川辺町	9人	佐多町	1人
伊集院町	1人	日吉町	2人

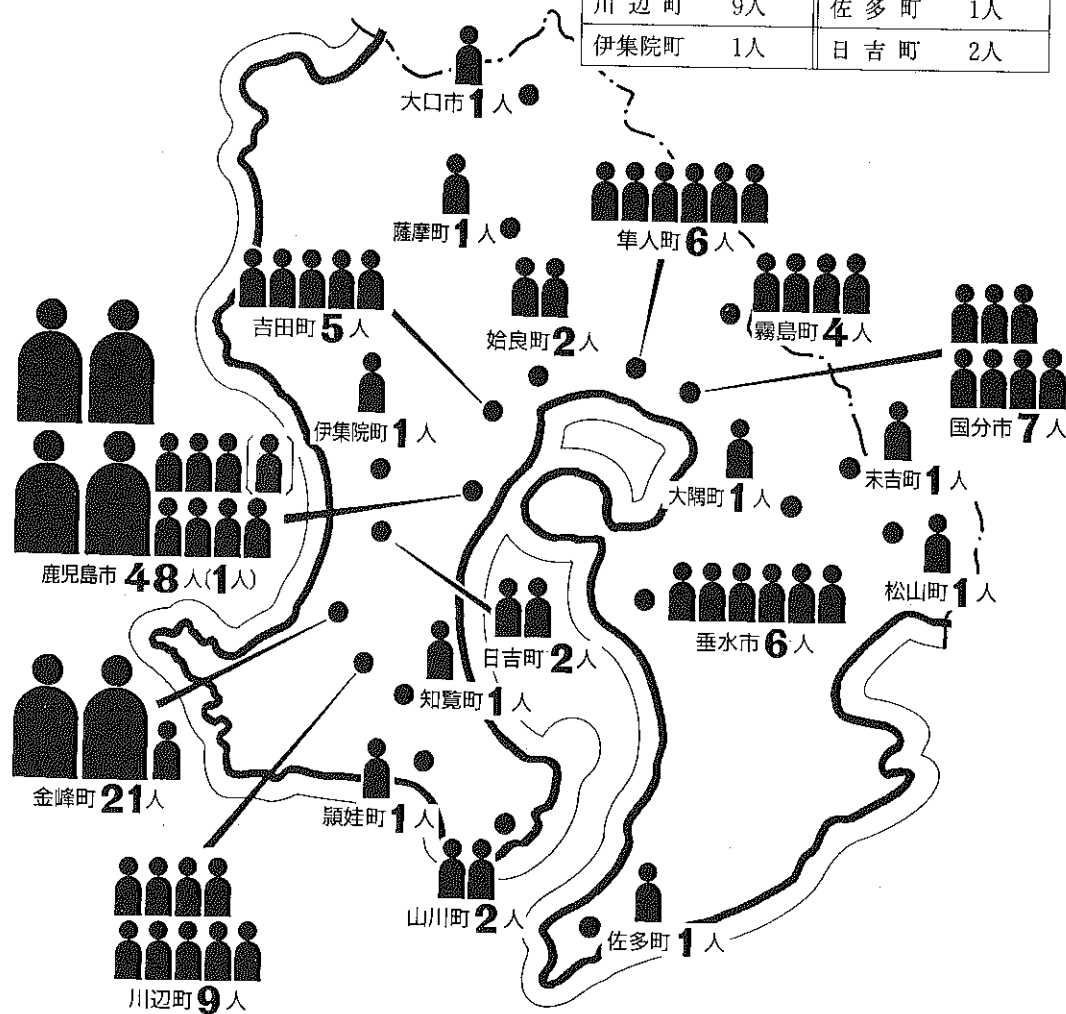


図1 鹿児島県内の発生地別死亡者数(平成5年9月20日現在:文献1に加筆)

15日~18日にかけ各地で土砂崩れや浸水・家屋損壊などが相次ぎ、JRが不通になるなどダイヤ混乱が続いた。

犠牲者が最初に出たのは6月27日の始良町における崖崩れ災害で、独り暮らしの老婦1名が死亡した。7月5日には佐多町で崖崩れのため1名犠牲者が出た。7日にも鹿児島市・山川町・穎娃町・末吉町・大隅町・松山町の1市5町で土砂災害があり、園児1名を含む7名が死亡した。国道220号線が垂水市小浜で不通になるなど道路が各地で寸断されただけでなく、九州自動車道が開通以来初めて交通止めになった。JR線も大きな損害を受け各地で不通になった。

3. 7月31日~8月2日

7月26日には台風5号が接近し、27日朝大隅半島に上陸した。29日には台風6号が東シナ海を北上、30日未明長崎付近に上陸したが、これに伴って奄美一種子・屋久一県本土が暴風域に巻き込まれ、所々で強い雨が降った。7月31日からは低気圧の通過に伴って前線の活動が活発化し、激しい雨が断続的に降った。鹿児島市における7月の総降水量が1,054.5mmを記録、観測史上第1位と発表された。この間の県内主要地点における日降水量は次の通りである。

7月31日垂水市高峠255mm、8月1日溝辺町450mm、入来峠414mm、2日鹿屋市117mm。

この間の降雨は県中北部に集中したため、災害も同地域に集中した。8月1日崖崩れが続発、国分市7人、隼人町6人、霧島町4人、始良町1人、吉田町4人、薩摩町1人の計23人が犠牲になった。横川・吉松・栗野・始良町などでは河川が氾濫、6,000戸以上が床上・床下浸水した。崖崩れの土砂が流れ込み、いわゆる浮きシラスによって農地や住宅が埋まるなどの被害も出た。道路や鉄道も寸断され、被災地区はあちこちで孤立、鹿児島空港でも乗客700人余りが空港内で夜を明かした。国分市川内では国道10号線が陥没して電話の地下ケーブルを切断、大隅半島や種子・屋久方面への電話が不通になった。鹿屋市や串良町などでも住家の全半壊や浸水などの被害が出た。これらの災害に対して、隼人町・横川町・栗野町・吉田町と国分市に災害救助法が適用され、霧島・串良・牧園・始良町と鹿屋市に法外援護が実施された。

4. 8月5日~8月6日

8月3日には大雨洪水警報も4日ぶりに解除され、JR日豊線の西鹿児島一国分間も開通、孤立地区への交通も回復して復旧が軌道に乗ろうとしていた矢先、8月5日夜半から鹿児島地方を中心に激しい豪雨があった。6日午後から一段と雨脚が強くなり、鹿児島市で19時30分までの1時間雨量63.5mmを記録、20時までの3時間に145mmの激しい雨が観測された。鹿児島市内を流れる甲突川の上流に当たる郡山町でも時間雨量101mmを記録している。6日の日雨量は、川内市369mm、宮之城町303mm、矢止岳270mm、鹿児島市259mmであった。

この豪雨により、夕刻には甲突川が氾濫して繁華街を含む市内の広い地域が浸水し、江戸時代に建設されたとして名高い五石橋のうち新上橋・武之橋の二つが流失した。稲荷川・新川も氾濫し、県内最古の石橋といわれた実方太鼓橋も流失した。これらの水害により浸水家屋は12,300棟にのぼり、4,000人も市民が公民館や学校などに避難を余儀なくされると共に、勤め帰りのサラリーマンや塾帰りの生徒たちが孤立、近くのビルや病院・寺院・駅などに難を逃れた。甲突川の水が国道や街路を奔流となって流れたため、数千台の自動車が被害に遭い、後

に水害特需と呼ばれたように、不況下で鹿児島だけが新車ブームに沸いたという。当然、消防自動車などの行動も妨げられ、救助活動などにも支障が出た。車社会の典型的な災害と言える。

一方、夕刻から夜半にかけて始良カルデラ壁に当たる国道10号線竜ヶ水付近でも豪雨があり、各所で崖崩れ・土石流が発生、折からJR竜ヶ水駅で避難停車していた列車や、国道で渋滞中の自動車800台あまりが被災した。こうした2,500人も孤立した人達を避難させるのに、カーフェリーや漁船を使う海路からの救助作業が深夜遅くまで行われた。その頃すぐ近くの花倉病院でも土石流に見舞われ、患者など15人が犠牲となっている。

甲突川の上流に当たる郡山町でも中心街の麓地区が浸水、鹿児島市小山田町では国道3号線が大規模に陥没し、長期にわたって不通となった。川内市でも川内川の支流が氾濫して市内が冠水した。

この日の災害により鹿児島市のライフラインも壊滅的な打撃を受け、市民生活は多大の不便を強いられた。まず、甲突川沿いの河頭浄水場や稲荷川上流の滝之神浄水場が冠水や土石流で運転不能になり、高台の団地を中心に95,000世帯が断水になった。自衛隊による給水活動も行われたが、小型のタンク車のため、十分には行き渡らなかった(天然温泉の銭湯が市内各所にあるという鹿児島の特長事情により、風呂に入れたのがせめてもの救いであった)。ガスもストップし、停電も重なった。電話回線もパンク状態ではほとんど通じなかった。なお、電話が輻射した6日深夜から7日にかけては、ラジオの安否放送が威力を発揮した。

鹿児島市と外界を結ぶ主要交通網であるJR鹿児島線・日豊線、国道3号・10号線、九州自動車道の全てが寸断されたため、長期にわたって鹿児島市は陸の孤島と化した。生鮮食料品が入荷しなくなっただけでなく、断水のためミネラルウォーターやインスタント食品・パンなども品切れ状態となった。物価も生鮮食料品を中心に前年比2~3倍に高騰した。

上記の災害に対して、鹿児島市と伊集院町・郡山町に災害救助法が、川内市に法外援護が適用された。

5. 8月9日~8月10日(台風7号)

8・6災害の復旧作業が本格化しようとしていた矢先、鹿児島地方はまたもや豪雨に襲われた。復興の出鼻を挫かれた形であった。8月9日大型で非常に強い台風7号が昼頃に奄美大島を通過して夜半頃鹿児島に接近した。台風はそのまま九州西海上を北上して平戸島方面にぬけたが、進行速度が比較的遅く降雨時間が長かったため、九州山口各県に大雨をもたらした。鹿児島では大隅半島を中心に一晩中暴風雨が吹き荒れた。9日の日雨量270mmを福山町牧之原と高山町で記録している。

集中豪雨のあった垂水市二川の始良カルデラ壁では土石流が各所で発生、5名の犠牲者を出した。この地域を通る国道220号線はその後長期にわたって不通となり、同地区は孤立状態となった。

6. 9月3日(台風13号)および9月20日

遅かった梅雨も明け、浸水家屋にも量が入り、生活が軌道に乗ろうとしていた矢先の9月3日、戦後最大級と形容された超大型の台風13号が鹿児島を直撃した。3日16時に薩摩半島に上陸し

たが、直前の15時には中心気圧930hPa、中心付近の最大風速50m/s、風速25m/s以上の暴風半径170kmであった。これにより県本土の大部分が暴風雨圏に入り、知覧町で時間雨量116mm、加世田市で92mmを記録し、日雨量も高峠で324mmに達した。

金峰町扇山では四万十層群の山が崩れ、避難中の人達20名が犠牲になった。川辺町小野でも谷川を横切っていた鉄道跡の盛土が決壊、土石流となって下流の集落を襲い、小学生1人を含む9名の犠牲者が出た。結局この台風の死者は2市3町で合計33名に上った。

また、鹿児島市内の甲突川は再度氾濫、加世田市でも水害に遭った。8・6災害の復旧に資力を使い果たした直後だけに、再起をあきらめる人も出るなど、誠に無情な台風であった。このような豪雨災害だけでなく、超大型台風だけに強風による家屋の被害も著しいものがあり、住家だけで一部損壊を含めると32,000戸を超した。その他、道路決壊・停電・断水なども続出した。鹿児島・加世田・垂水の3市と川辺・金峰の両町に災害救助法が適用され、鹿屋市と串良・高山・佐多・東串良・隼人・吾平の6町に法外援護が適用された。

9月20日には午後8時頃、日置郡日吉町で花崗岩の山で地すべりが発生、2世帯5人が生き埋めになった。3人は助け出されたものの母が犠牲になった。この日の雨量は僅か13mmで、地元では全く警戒していなかったという。しかし、台風13号の時道路擁壁が倒壊したり、その後も斜面裾部での湧水の増加、井戸水の涸渇など前兆と思われる現象があったと言われ、この間の長雨により少しずつすべっていたと考えられる。

7. 被害統計

以上、3ヶ月に及ぶ長期間、鹿児島県は繰り返し繰り返し激甚な災害を被り、この間の被害の合計は、県災害対策本部の集計によると、死者行方不明者121名、重軽傷者349名(図2)、建物被害64,000棟(図3)、被害総額3,000億円にも上ったという(図4)。図からも上記5期の災害の性格が読みとれる。すなわち、8月5日~6日は鹿児島市中心だったため、商工業の被害

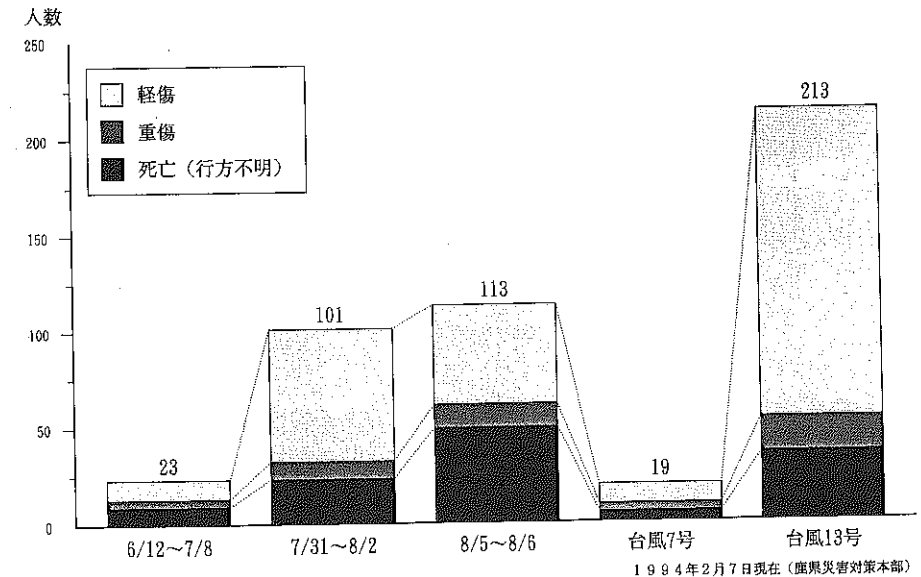


図2 1993年鹿児島豪雨災害による人的被害

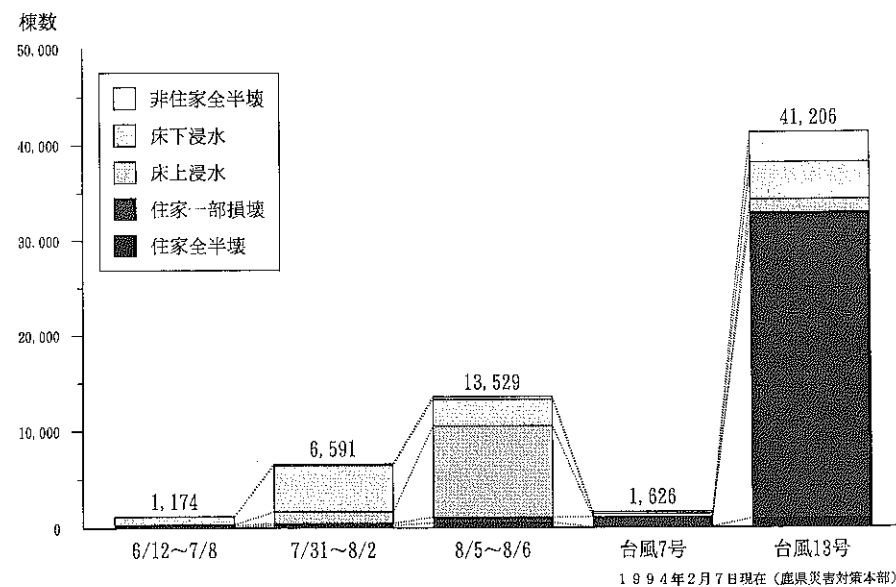


図3 1993年鹿児島豪雨災害による建物被害

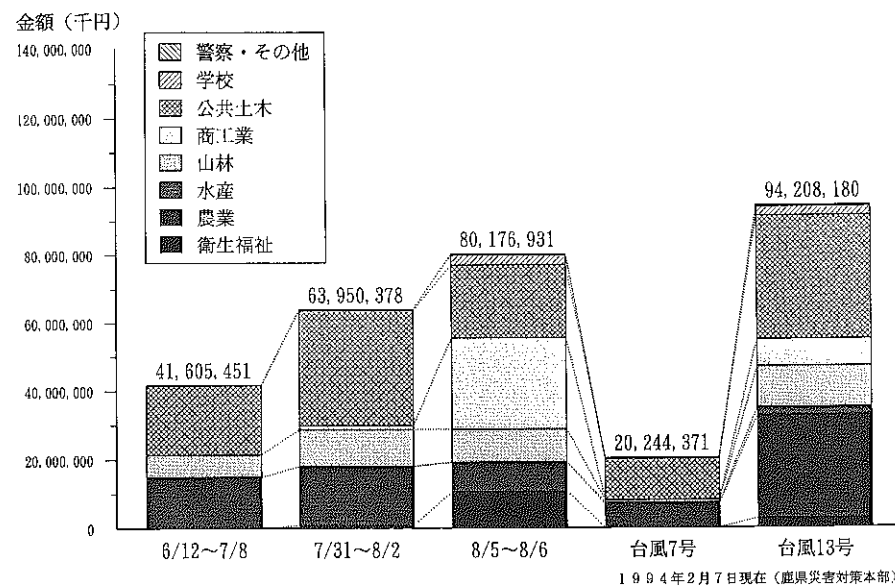


図4 1993年鹿児島豪雨災害による被害額

が多く人的犠牲も大きかった。他は主として郡部が被災したため農業被害が大きい。台風による強風災害は、軽傷者を多数出し、建物被害が大きいという傾向がある。なお、これらの被害額にはJRや銀行など私企業の損害額は加えられていないから、すべてを合わせるとこれよりはるかに大きな数字になるであろう。

参考文献

- 1) 南日本新聞社(1993): 報道写真集'93夏鹿児島風水害. 南日本新聞開発センター, 175pp.
- 2) 鹿児島地方気象台(1993): 災害時気象速報「平成5年7月1日から7月7日にかけての梅雨前線による鹿児島地方の大雨」. 災害時自然現象報告書1993年第1号, 12pp.
- 3) 気象庁予報部(1993): 災害時気象速報「梅雨前線と台風第4号, 第5号, 第6号, 第7号による平成5年5月27日から8月11日にかけての大雨と暴風」. 災害時自然現象報告書第4号, 120pp.
- 4) 気象庁予報部(1993): 災害時気象速報「平成5年台風第13号及びこれから変わった低気圧による9月1日から5日にかけての大雨と暴風」. 災害時自然現象報告書1993年第3号, 49pp.
- 5) 福岡管区気象台(1993): 災害時気象速報「平成5年6月12日から6月26日にかけての梅雨前線による九州・山口県の大雨」. 災害時自然現象報告書1993年第3号, 28pp.
- 6) 福岡管区気象台(1993): 災害時気象速報「平成5年7月26日から8月10日にかけての前線と台風第5号, 6号, 7号による九州・山口県の大雨と暴風」. 災害時自然現象報告書1993年第4号, 56pp.

1993年南九州豪雨の気象特性

九州大学 農学部 鈴木 義 則
 山口大学 農学部 早 川 誠 而
 農水省 九州農試 山 本 晴 彦
 鹿児島大学農学部 角 明 夫

1. はじめに

1993年(平成5年)、我が国は北海道から九州にいたるいわゆる本土域において、長雨、低温少照など稀に見る異常気象に見舞われた。九州でも5月から9月の夏季において、長雨、低温少照、台風来襲、大雨・集中豪雨などが次々に現われ、それらの現象の規模は観測史上第一位を記録したもから上位の数位内に入るといったものであった。豪雨・台風によって人命、家屋、道路、橋、農地、市街地などに甚大な被害がもたらされた。また、長雨、低温少照は農作物の生育にじわじわと影響を与えて収穫不良を、早期水稻の収穫期の稲穂では立ったまま芽を出す穂発芽など大きな被害が発生した。

ここでは、南九州を中心として6-8月に発生した集中豪雨の気象特性を解析した結果について報告する。なお、8月6日の集中豪雨の気象的特性と原因についての解析結果は別項の論文にて独立的に報告することとし、ここでは、降雨量の特徴を述べることにする。また、すでに気象台によって公表されている内容(図表)についてはそちらに譲り、なるべくオーバーラップを避けることとした。

2. 気象資料

降雨、気圧データ、前線の位置、観測地点の標高などは、気象庁が刊行した気象月報、異常気象報告などから得た¹⁾⁻⁵⁾。

3. 代表地点における降雨量の変化

3.1 日雨量の変化

1993年6月1日から8月8日までの日降雨量の経時変化を、南九州の代表的地点についてみたのが図1である。地点としては鹿児島市内の鹿児島地方気象台(以後鹿児島市という)と鹿児島空港のある溝辺を選んだ。溝辺では400mm/日を越すものが出現し、鹿児島市でも259mm/日で観測史上第一位を記録している。平年に比べると極めて多量である。

3.2 積算雨量の推移

1993年6月1日から8月8日までの日降雨量の積算値の経時変化を示したのが図2である。ここでは代表として鹿児島市と宮崎県えびの市を選んだ。後者は南九州の中でも際立って降雨量が多かった地点である。鹿児島市では69日間であらゆる平均降水量の2236.8mm相当量が降ったことになった。えびの市では実に5900mm台に達した。

3.3 鹿児島市とえびの市の降雨量の対応関係

この両地点は、個々の日雨量同士を対応させても相関関係はさほど大ではないが、積算雨量

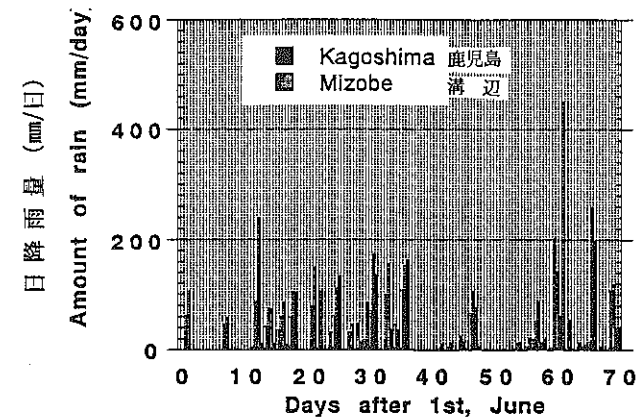


図1 鹿児島と溝辺の両地点における日雨量の経時変化(1993.6.1から8.8)

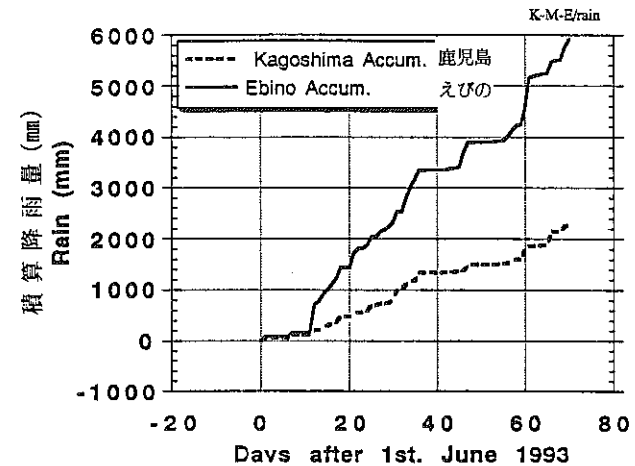


図2 鹿児島とえびのにおける積算降雨量の経時変化(1993.6.1から8.8)

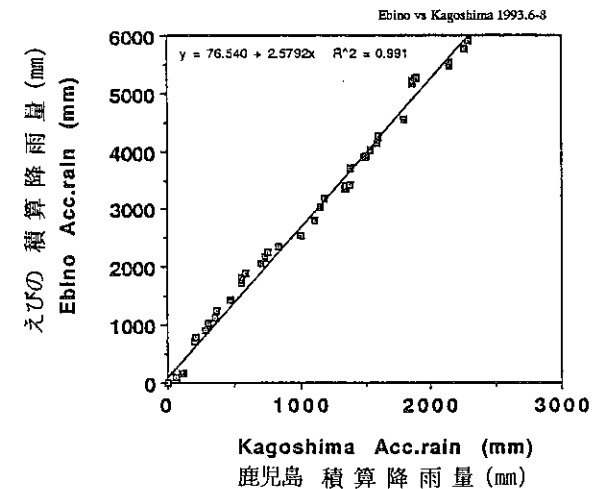


図3 鹿児島とえびのにおける積算降雨量の対応関係(1993.6.1から8.8)

で対応させると、図3にみられるように決定係数が0.99の関係が現われた。霧島連山の山麓にあるえびの市は鹿児島市に比較して、おおよそ2.6倍の降雨に見舞われたことになる。

4. 1993年夏の降雨量の位置づけ—過去との対比

8月の日最大雨量について今回の事例が過去データに対してどのような位置づけにあるのかを検討してみる。ここでは観測データが長年にわたってそろっている鹿児島地方気象台の日雨量データを使うことにした。

8月の月間最大日雨量の1894年から1993年までの100年間の経時変化を図4に示した。20mm/日から260mm/日の間を大きくふれること、また、多・少の出現には周期性が見られる。そして、1993年8月の日最大雨量は259.5mmで、この値は災害発生当時から述べられたように史上第一位のものであった。

ついで、再現期間を順位で算出する簡便法で求めてみた。図5,6に示す結果が得られた。本方法では上位の部分で誤差が生まれる特性があるといわれている。この例もその傾向が見られる。しかし、100例中98までが同一傾向線に乗っていることから、今回の日降雨量の再現期間もこの傾向線上に乗ると考えることもできよう。259.5mmという値は計算値では200年に1回の出現確率であったが、実際には84-85年程度で1回の確率の事象と見るべきであることがわかる。

今後の予想は軽々にはしてはならないが、あえていえば、鹿児島市では8月において300mm/日の降雨を175年に一度覚悟しなければならないと思われる。これはあくまでも将来においても過去の降雨の統計的特性が継続し、今後200年分以上のデータがたまった状態でいえることではあるが…。

5. 前線の位置と降雨量との関係

5.1 前線の位置

8月上旬の前線の位置を図7に示す³⁾。7月30日に東北地方を横断していた前線は、31日にはさらに津軽海峡の北側まで北上し、そのまま北上して日本から離れてしまう傾向を示していた。しかし、8月1日には津軽海峡から三陸沖へ東進するとともに、新たに中国大陸から九州中央部を横断する形で前線が形成された。そしてその後西から東へのびる長大な前線が九州の上を北進したり南進したりしながら居座る形となった。本来ならこの時期には前線は存在しないのである。今夏の異常ぶりはここにあるといえる。

このように九州地域は小笠原高気圧の北西周辺域となる期間が非常に長いものであった。

5.2 気圧の特徴

次に、別の視点から気圧の特徴をみることにする。図8に小笠原高気圧の指標として父島を、そして鹿児島市と福岡管区気象台(福岡市)のデータも示した。期間は1993年7月1日から8月9日までである。これによると7月下旬以外において1010-1015hPaのレベルにあり、平年値の約1020hPaに比較して、今年の小笠原高気圧の発達弱かったことが明白である。一方オホーツク海高気圧の勢力は強かった。

鹿児島市の気圧の特徴をみるために父島との差をとってみた。図9にみるように小笠原高気圧の勢力は弱いものの、九州はさらに低圧となっていた。

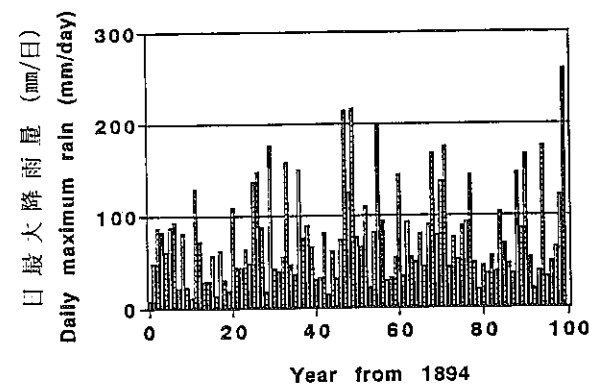


図4 過去100年間における鹿児島の8月の日最大降雨量の経時変化(1894年から1993年まで)

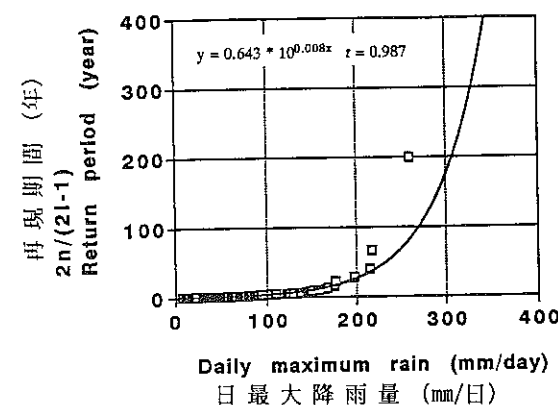


図5 鹿児島の8月の日最大降雨量の再現期間(1)

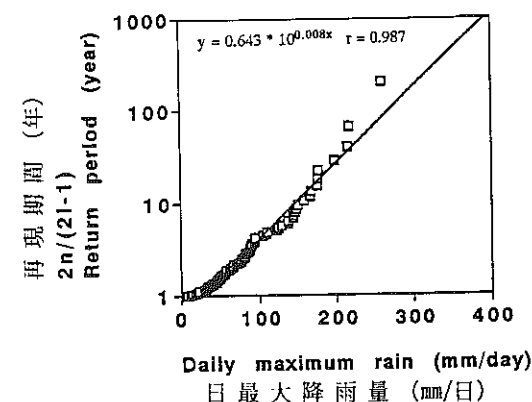


図6 鹿児島の8月の日最大降雨量の再現期間(2)

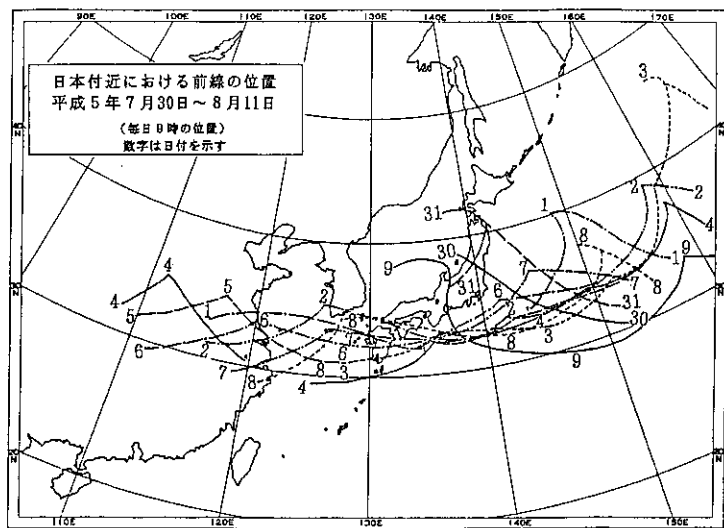


図7 日本付近における前線の位置(1993.7.30-8.11)

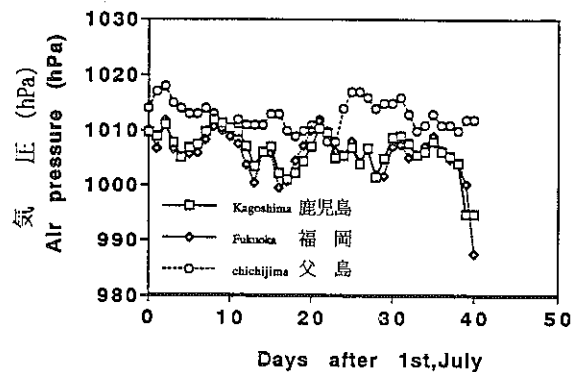


図8 父島、鹿児島、福岡の気圧の経時変化(1993.7.1-8.9)

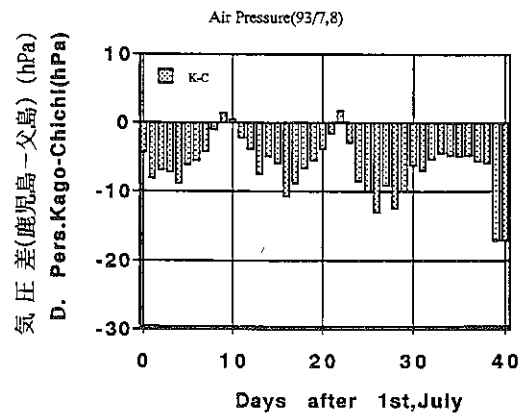


図9 鹿児島と父島との気圧差の経時変化(1993.7.1-8.9)

豪雨は8月上旬に発生したが、豪雨はこの気圧差が大きいときに起こってはいなかった。

5.3 前線の位置と降雨量との関係

前線が鹿児島市のどの位置にあるときに降雨が強くなったかをみると図10のようになった。ここでは、鹿児島市、溝辺、入来峠の3地点をとっている。鹿児島市に対して溝辺は北北東約50km、入来峠は北北西約25kmにある。今夏の例では降雨が多くなるのは、①前線が3地点より北側になったとき、②前線の移動速度が小さいとき、③前線が北側にあつて狭い範囲で南北振動をする場合である。とくに③が重要である。これは南からの温暖で湿った空気(湿舌)が流れ込みやすい条件のようでもある。

逆に、降雨が少ないのは、①前線が南に下がった場合、②前線が北側にあつてもその移動速度が大きくなるときである。

6. 降雨分布—地形との関係

降雨分布の特徴について考察してみることにした。ここでは南九州に集中的に起こった今回の豪雨を対象にしている。なお、1993年は九州だけでも南九州のほか、中部九州、北部九州、九州東北部でも時期を別にして集中豪雨が数度発生しているが、これらにはふれない。

九州本土内で、鹿児島市、霧島・阿蘇などの脊稜山脈、油津を通る南北線、そして、雲仙・阿蘇、霧島を通る東西線を引き、その線上ならびに周辺20km程度の範囲に入るアメダス観測点の降雨データを対象として解析した(図11)⁵⁾。ただし、地形としては、アメダス観測点の標高をとり、降雨データとしては、1993年8月1日と8月6日の日降雨量を対象とした。図12-23に各ラインごとの内容を示す。

①南北ライン(鹿児島市—福岡市 図11A)(図12、13)

観測点の標高は鹿児島市の北部で500m台の高さを示した後、九州の西海岸に沿っているため低平野がつづいている。佐賀と福岡の県境で800m台になっている。

8月1日の例では、南北の広範囲にわたる降雨がみられるが、降雨は鹿児島の北100kmまでに集中していたことがわかる。8月6日には降雨域は鹿児島とその北側に集中していた。日降雨量の分布に対して、地形(標高)が影響しているようにみえる。

②南北ライン(霧島—阿蘇 図11B)(図14、15)

このライン上には800-1200mの山岳地帯がそろっている。降雨は100km以南で集中して降っており、前線の南側に雨が降った形である。1日と6日とでは降雨量に差はあるが、分布の形は類似している。

③南北線(油津—竹田 図11C)(図16、17)

九州東海岸を南北にとったものである。降雨の分布の形は前二者と類似している。しかし、この場合平坦部で雨量が多くなった点に相違がある。この図だけでみれば、これには山岳の影響はみられないことになるが、しかし、中層と高層の風向も西よりであったことから、この部分の降雨にも霧島の山岳の影響がオーバーハングした形でできていると考えることができる。

④東西線(雲仙—阿蘇 図11D)(図18、19)

降雨量の絶対値が小さいので、これらの図から特徴をつかむのはむづかしい。そこで、縦軸の雨量を拡大してとって見たのが、図20、21である。すると雨量は少ないながらも山岳の影

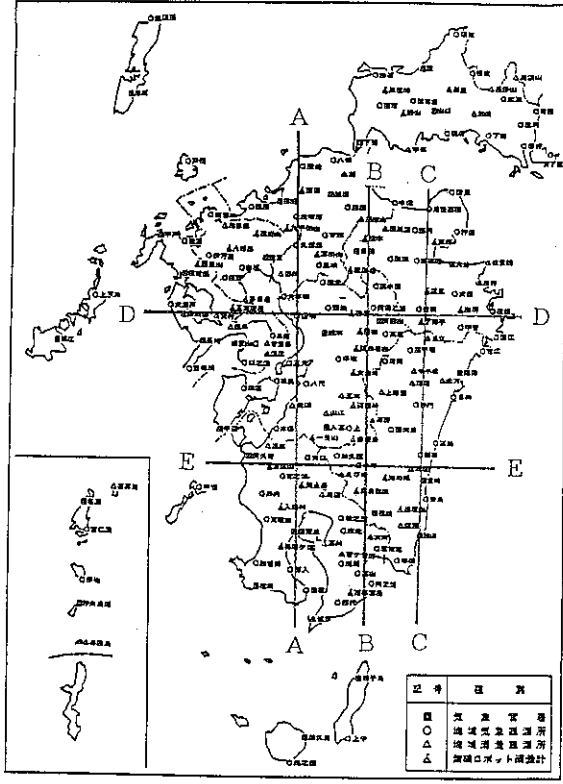


図11 標高と雨量との関係を調べる地点の選定状況

図10 前線の位置の鹿児島からの距離と降雨量の経時変化(1993.8.1-8)

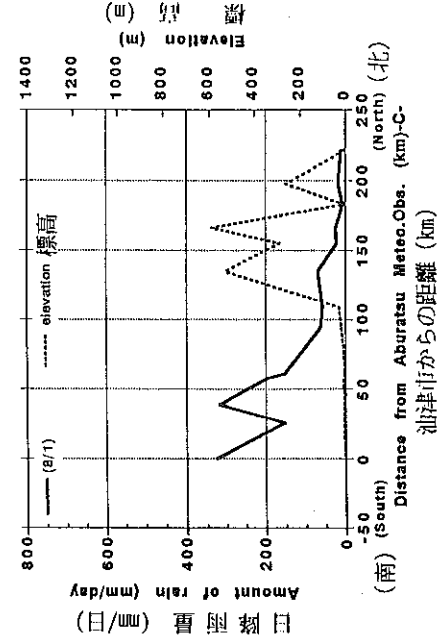
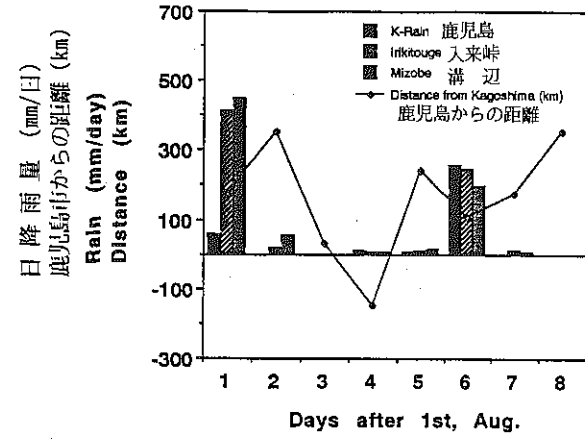


図12 九州の南北線上(起点:鹿児島市)の降雨量の分布(1993.8.1)

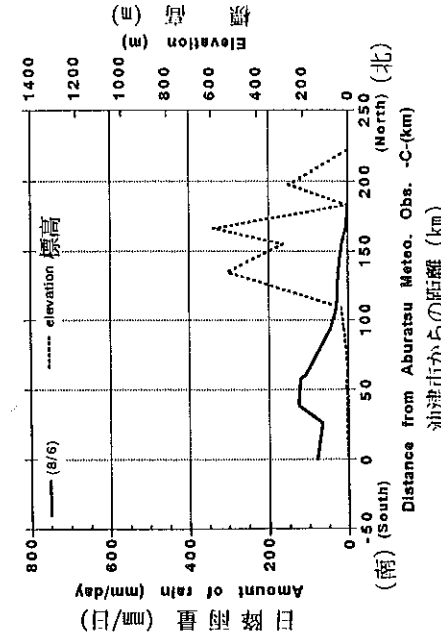


図13 九州の南北線上(起点:鹿児島市)の降雨量の分布(1993.8.6)

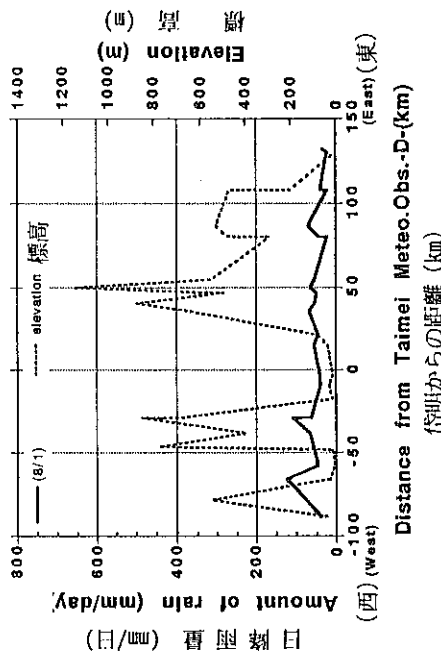


図14 九州の南北線上(起点:大隅)の降雨量の分布(1993.8.1)

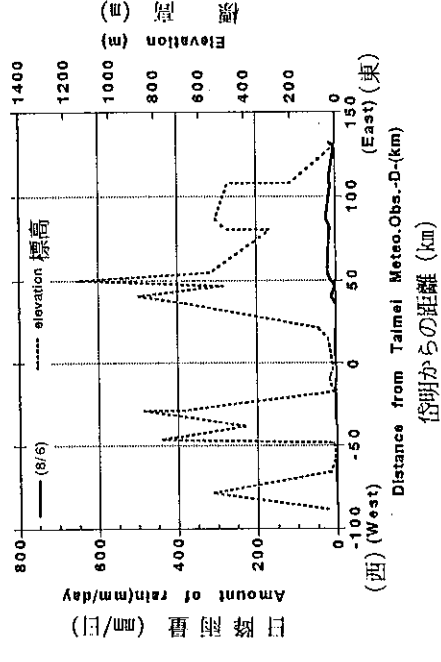


図15 九州の南北線上(起点:大隅)の降雨量の分布(1993.8.6)

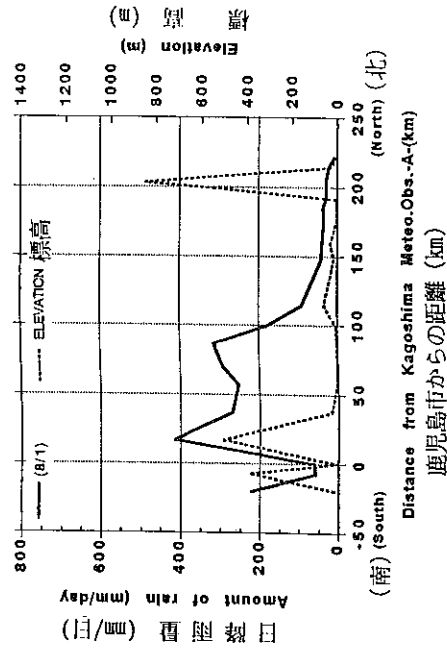


図16 九州の南北線上(起点：油津)の日降雨量の分布(1993.8.1)

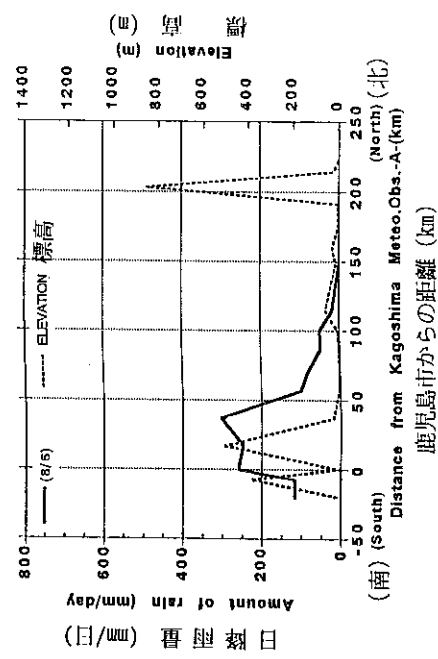


図17 九州の南北線上(起点：油津)の日降雨量の分布(1993.8.6)

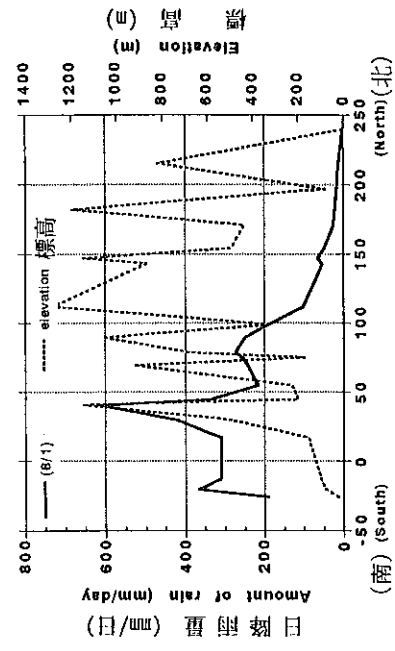


図18 中部九州の東西線上(起点：熊本県岱明町)の日降雨量の分布(1993.8.1)

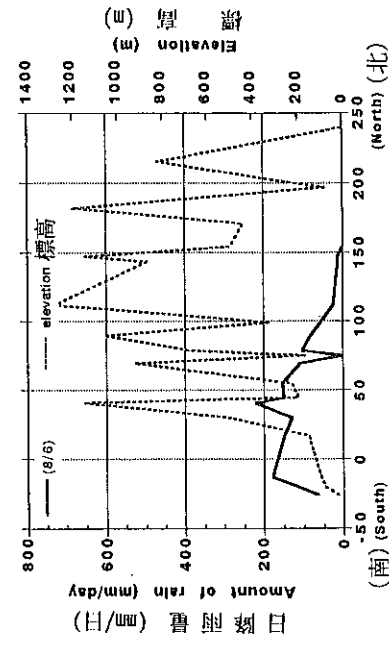


図19 中部九州の東西線上(起点：熊本県岱明町)の日降雨量の分布(1993.8.6)

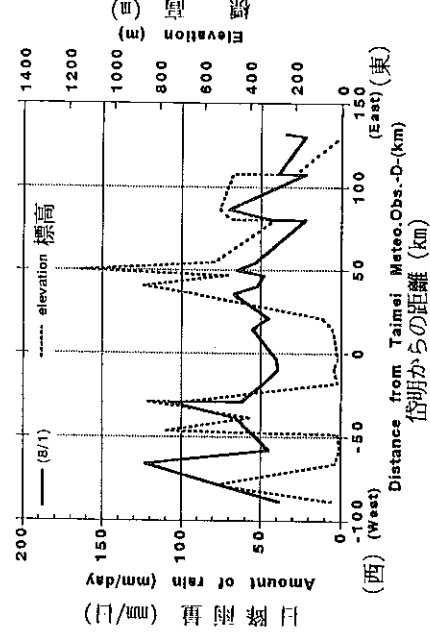


図20 中部九州の東西線上(起点：熊本県岱明町)の日降雨量の分布(1993.8.1)

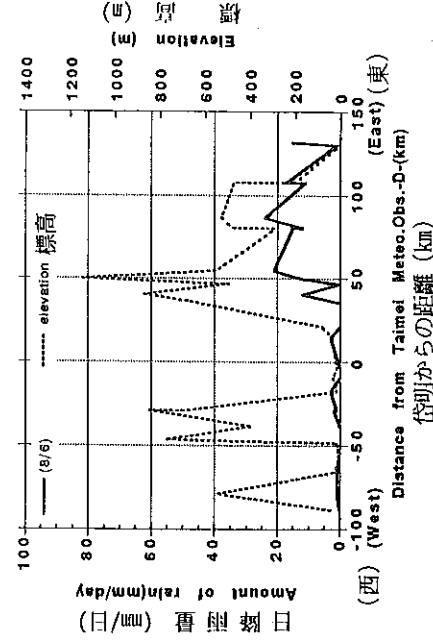


図21 中部九州の東西線上(起点：熊本県岱明町)の日降雨量の分布(1993.8.6)

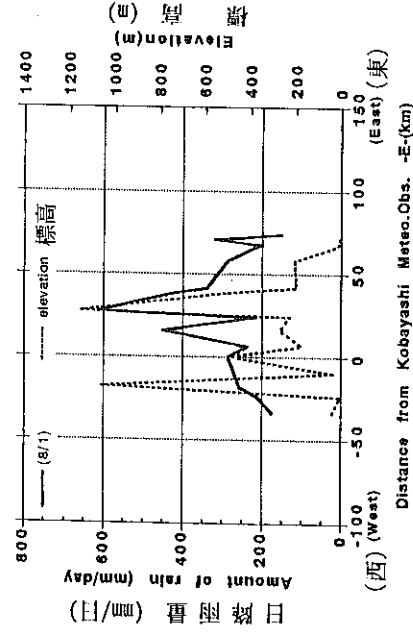


図22 南部九州の東西線上(起点：宮崎県小林市)の日降雨量の分布(1993.8.1)

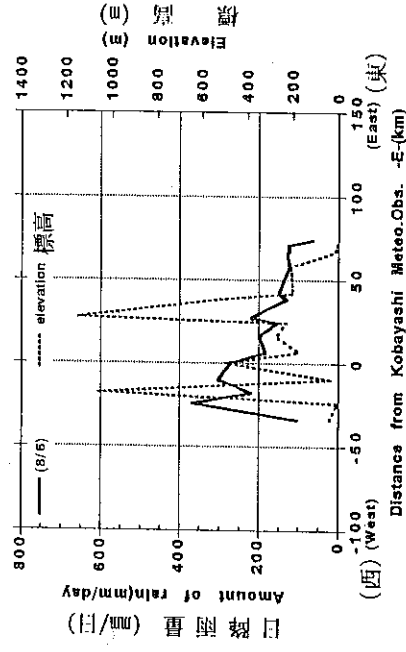


図23 南部九州の東西線上(起点：宮崎県小林市)の日降雨量の分布(1993.8.6)

響をうけている結果が現われた。

⑤東西線(霧島—小林 図11E)(図22、23)

降雨量の分布パターンは、8月1日には小林の東側で降雨量が大きくなり、6日には西側で大きくなっている。概して言えば標高の影響を受ける部分と受けない部分とがある。このように必ずしも標高にマッチした分布形ではないが、地表面粗度は上空の雨の降り方に何らかの影響を与える場合があるように思われる。

今測定公表されている雨量は平面で測定されたものである。山岳においては斜面の受ける雨量自体も平面のとは異なることが多い。平面の雨量であっても雨量計が斜面のどの方位・高度にあるか、降雨時の主風向がどちらかなどによって雨量は変化する特性があることは考慮しておかなければならない。今回豪雨の集中した地域には山塊があった。山塊の存在は地表面の粗度を強めることであり、空気の移動速度を弱め、停滞時間を長くする方向に作用する。また、斜面に沿う上昇流に湿舌が呼び込まれることになると、豪雨の強さと継続時間も長くなる。豪雨の集中には高層の風向風速も関係するが、以上見てきたように地表面側の凸型の存在もまた影響をもつと考えられるものであった。

7. 1993年8月6日豪雨に対する気象学的解析

別項掲載の論文(早川・前田・鈴木・山本・角)において詳細に検討する。

謝 辞

本研究は文部省科研費(自然災害科学突発災害:研究代表者鹿児島大学岩松 暉教授)によるものであり、記して謝意を表す。また、データのコンピュータ処理では九大大学院生(修士)大矢正史君、農業気象学教室員長絹代さんのお世話になった、御礼を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 福岡管区气象台(1993): 災害時気象速報, 平成5年6月12日から6月26日にかけての梅雨前線による九州・山口県の大雨. 28pp.
- 2) 福岡管区气象台(1993): 災害時気象速報, 平成5年7月26日から8月10日にかけての前線と台風第5号, 6号, 7号による九州・山口県の大雨と暴風. 56pp.
- 3) 気象庁予報部(1993): 災害時気象速報, 梅雨前線と台風第4号, 第5号, 第6号, 第7号による平成5年5月27日から8月11日にかけての大雨と暴風. 120pp.
- 4) 鹿児島地方气象台(1958): 鹿児島県気象75年報. 164pp.
- 5) 九州各県气象台(1993): 九州各県気象月報, 1993年6月-8月

1993年8月6日の南九州の豪雨について —気候学的・総観気象学的観点から—

九州大学理学部 守 田 治

1. はじめに

1993年7月下旬から8月上旬にかけて、鹿児島県に甚大な災害をもたらした豪雨について気候学的・総観気象学的観点から考察する。気候学的・総観気象学的といったのは、時間と空間のスケールを意識したもので、総観スケールは水平スケールにして2,000km、時間スケールにして3~4日に対応する。一方、気候学的スケールは非常に幅がある。良く使用される諸気象値の平年値といえは30年間にわたる平均値を指しており、ミランコビッチが指摘した地球の軌道要素に起因する気候変動といえは数万年から約10万年もの時間スケールにも及ぶ。また、空間的スケールは全球規模となる。ここで述べる気候学的スケールとは、時間的にはたかだか100年、また空間的には極東アジア全域程度の広がりとする。

南九州の豪雨という、全球的に見れば極めて局所的な現象を論ずるのに、なぜそのような時間スケールと空間スケールが登場するのだろうか。まさにその点に今回の豪雨の特徴があるのだが、そのことを以下の議論で明らかにしたい。

2. 過去の降水記録との比較

鹿児島地方气象台は九州で一番の歴史を誇り、その設立は1883年に遡る。従って、1993年までのデータの集積は111年間にも及ぶ。そこで、この間の記録的な豪雨と1993年8月6日の豪雨(以下8・6豪雨と略称)を比較して見よう。単純な作業ではあるが、8・6豪雨の特徴が次第に明瞭になってくるはずである。

表1に日最大10分間降水量の極値を示す。局地的な集中豪雨をもたらすのは発達した積乱雲であり、その寿命は30分から1時間、水平スケールは10km程度であるから、10分間降水量というのは積乱雲の活動度の良い目安となる。ただし、注意せねばならないのは、積乱雲の水平スケールは10km程度であるので、発達した積乱雲がもたらす降水の下に観測点があるとは限らない。いわば網の目よりも小さな魚を網ですくおうとするようなもので、網の目から魚がすり抜けることは大いにあり得る。

このような留保をした上で議論を進める。10分間に16.0mmという8・6豪雨の降水量は、鹿児島における大雨警報の基準が1時間に50mmであることを考慮すると、第一級の豪雨であったことは疑いない。しかし、これまでの記録と比較すると、通年ではいうに及ばず8月の降水としてもベスト5に入っていないことは注目に値する。

次に、表2に日最大1時間降水量を示す。63.5mmという値は、8月の降水としては100年来の記録を更新した。ところが、通年では決して飛び抜けた値ではなくベスト5にも入らない。これが、8・6豪雨の特徴の一つである。

表3に日降水量の極値を示す。日々の天気変化をもたらすのは高・低気圧波動だが、その寿

表1 日最大10分間降水量(統計期間:1939年~1993年)

	通年		8月	
	降水量	年月日	降水量	年月日
1	24.0mm	1950.07.09	22.0mm	1946.08.05
2	24.0	1939.06.21	20.0	1971.08.21
3	22.5	1971.07.19	19.5	1979.08.06
4	22.4	1961.10.25	18.5	1976.08.25
5	22.3	1946.07.03	17.0	1974.08.24
			(16.0)	1993.08.06

表2 日最大1時間降水量(統計期間:1902年~1993年)
ここで*印はエル・ニーニョ年。

	通年		8月	
	降水量	年月日	降水量	年月日
1	89.4mm	1941.07.11*	63.5mm	1993.08.06
2	77.6	1912.10.02*	60.2	1965.08.06
3	75.3	1956.07.04	53.0	1988.08.22
4	75.0	1986.07.10	53.0	1988.08.08
5	70.3	1939.06.21*	52.2	1923.08.30

表3 日降水量の極値(統計期間:1883年~1993年)
ここで*印はエル・ニーニョ年。

	通年		8月	
	降水量	年月日	降水量	年月日
1	305.7mm	1917.06.16	259.5mm	1993.08.06
2	259.5	1993.08.06	216.8	1943.08.20
3	257.5	1989.07.28	214.7	1941.08.27*
4	255.0	1928.06.21	197.2	1949.08.16
5	238.8	1949.06.28	176.4	1888.08.22

表4 月降水量の極値(統計期間:1883年~1993年)
ここで*印はエル・ニーニョ年。

	通年		8月	
	降水量	年月日	降水量	年月日
1	994.5mm	1915.06*	758.9mm	1905.08
2	980.5	1901.07*	629.5	1993.08
3	937.6	1949.06	438.0	1970.08*
4	888.1	1954.06*	468.7	1949.08
5	848.2	1952.06*	452.0	1920.08

命は3~4日、水平スケールは2~3,000kmであり、1地点を通過するのに要する時間は半日~1日である。従って、日降水量は低気圧波動の活動度の目安と考えて良い。8・6豪雨の日降水量は8月としてはこれまでの記録を大きく更新し、しかも通年で見ても第2位という多量の降水をもたらした。低気圧の活動が活発であり、更に南からの豊富な水蒸気の供給があったことを窺わせる。

表4に月降水量の極値を示す。1993年8月の降水は、月単位で見ても特筆すべきものであることが分かる。参考のため前後の月、即ち7月と9月の月降水量を調べると(表5)、両月の降水量ともこれまでの記録を更新している。この様子を更に詳しく見るために、1993年と平年(30年にわたる平均値)の月別降水量を示す(図1)。6月から9月にかけての降水量は平年値の2~3倍に達している。7月までの降水量の積算値は2,598.5mmとなり、年間降水量の平年値2,236.8mmを突破した。

表6に年降水量の極値を示す。1993年の年降水量は4,022.0mmで、平年値の約2倍であり、またこれまでの第1位の記録3,550.6mmを大きく上回った。こうして見ると1993年夏季の降水は少なくとも100年に1度起こるか否かという、まさに異常気象と呼ぶにふさわしい気象現象であったことが分かる。

8・6豪雨は1日の降水としても激しい現象であり、その日に起こった豪雨災害の直接的なトリガーになったことに疑問はないが、それに先行する6月と7月の異常な量の降水があったことが災害を甚大なものにしたことを忘れてはならない。

次に、このような100年に1度という異常気象をもたらした原因について考察を続けよう。

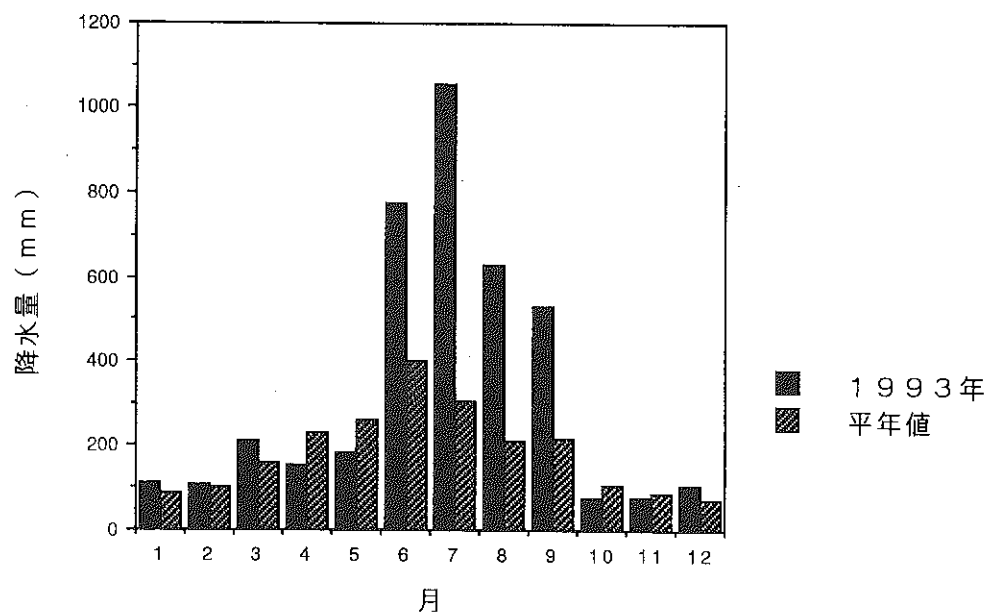


図1 1993年と平年の月別降水量

表5 月降水量の極値・その2(統計期間:1883年~1993年)
ここで*印はエル・ニーニョ年。

	7月		9月	
	降水量	年月	降水量	年月
1	1054.5mm	1993.07*	532.0mm	1993.09
2	980.5	1901.07*	514.5	1973.09
3	782.2	1936.07	463.5	1990.09*
4	770.6	1951.07*	435.5	1983.09
5	702.1	1931.07*	434.4	1886.09

表6 年降水量の極値(統計期間:1883年~1993年)
平年値2,236.8mm。ここで*印はエル・ニーニョ年。

	降水量	年
1	4022.0mm	1993*
2	3550.6	1905
3	3424.9	1949
4	3303.8	1954*
5	3047.5	1983*
6	955.6	1952*

3. 天気図から見た8・6豪雨

図2に8月6日午前9時の天気図を示す。特徴的な点を以下に列記しよう：①梅雨前線が黄河流域から日本南岸に伸びている、②オホーツク高気圧が南下し北海道東部に位置している、③太平洋高気圧の発達が弱い、④太平洋高気圧の周辺に台風7号がある。日付を隠してこの天気図を見せれば、誰も梅雨時の天気図と判断するに違いない。どう見ても8月の天気図とは思えない。

この年、気象庁は梅雨明け宣言を取り消し、今年は明瞭な梅雨明けがなかったと宣言した。これは行政官庁としては非常に勇気のいった行為と思われる。気象庁の面子に拘ることなく、科学的に正確な統計値を残そうとした態度は高く評価されるべきものと思う。話が横道にそれたが、経験豊かな多くの予報官の判断を誤らせるほど、1993年の夏は異常であったといえる。いや、これは正確な表現ではなく、1993年はついに夏の到来がなかったと言うべきかもしれない。

この事実は、ある日ある時の天気図ではなく、1カ月にわたって平均した天気図を作製してみれば良く分かる。極東域の約250の観測点の気温と海面更正気圧のデータを8月1カ月間にわたって平均し、等値線を引いたものを図3と図6に示す。

先ず、気温の等値線(図3)を平年の8月の等温線図(図4)と比較しよう。1993年の各等値線の位置は、平年に比べ低緯度にあることがわかる。即ち、ユーラシア大陸および太平洋の気温が例年ほど上昇していない。そして、その傾向は大陸上でより顕著である。参考のため平年の6月の等温線図を図5に示す。1993年8月の等温線図は、ちょうど平年の6月と8月の等温線図の中間型と言えそうである。

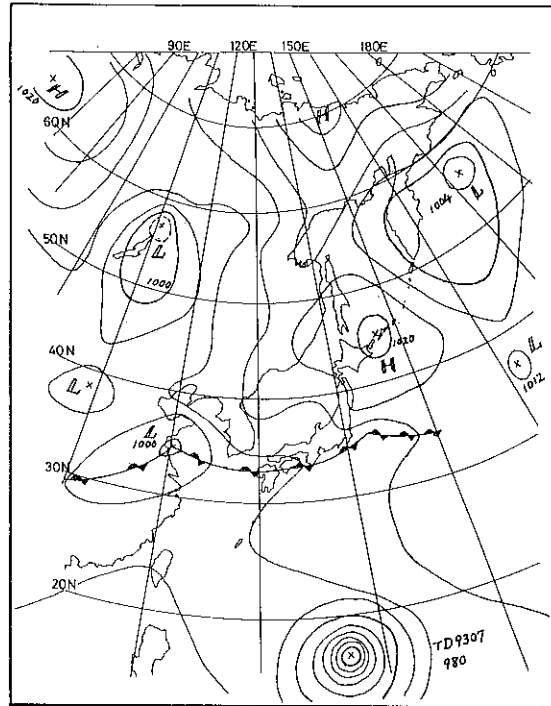


図2 1993年8月6日午前9時の極東地上天気図

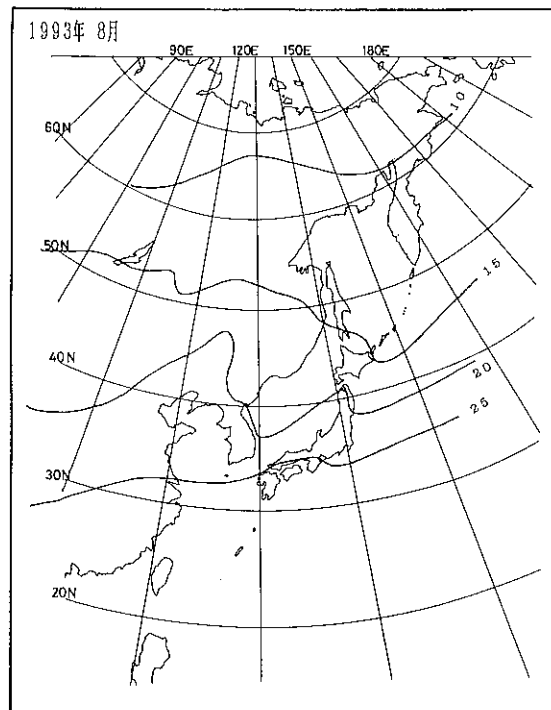


図3 1993年8月の月平均気温分布

次に、海面更正気圧の等値線図(図6)を、平年の8月の等温線図(図7)と比較してみよう。差異は等温線図の場合より更に顕著であり、次のような特徴を挙げることができる：①太平洋高気圧の勢力が平年に比べはるかに弱い(平年の中心示度が1,020hPaであるのに対し、1993年のものは1,012hPaにすぎない)、②オホーツク高気圧が残っている(平年にはオホーツク高気圧は消滅している)、③ユーラシア大陸の気圧が平年ほど下がっていない。

これは一体どうしたことであろうか。その議論を始める前に、夏と冬の気圧配置がどのような機構で決まるのかを考察しよう。

冬から春、春から夏への季節進行に伴い太陽高度が次第に上がり、太陽入射エネルギーも次第に増加してくる。太陽入射エネルギー量は緯度の関数であり、同じ緯度円上では受光する入射エネルギー量は等しいが、大陸と海洋では熱容量の差があるため、大陸では急速に温度の上昇があるのに対し海洋の温度上昇は小さい。温度の上昇した大陸と海洋は、絶対温度の4乗に比例する赤外線エネルギーを放射し、その一部は宇宙空間に逃れ一部は大気中の吸収物質(3原子以上の分子)に吸収される。海陸の温度差のため、大陸上の大気温度の方が海洋上の大気温度よりも高くなり夏の季節風循環が始まる。その過程で、大気質量は大陸上から海洋上へと移動し、海洋性の高気圧(極東域においては太平洋高気圧)が発達し、大陸上は低圧部となる。なお、ユーラシア大陸東岸にはオホーツク海という浅い海がありオホーツク高気圧が発達する。海が浅いため熱容量が小さく、この高気圧は平年だと7月までは残存するものの、8月に入ると消滅する。

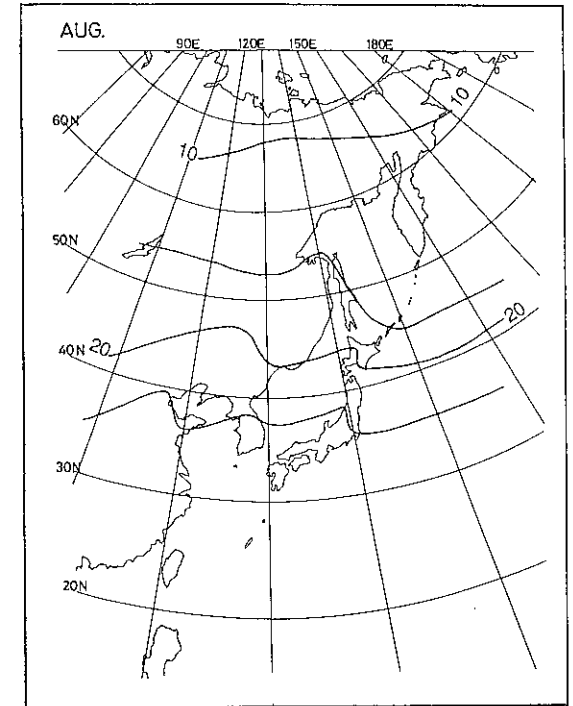


図4 平年(30年間の平均)8月の月平均気温分布

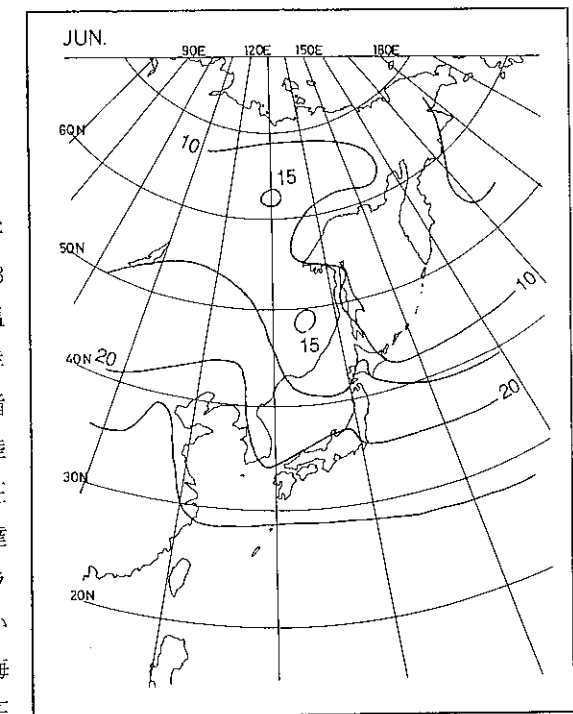


図5 平年(30年間の平均)6月の月平均気温分布

季節が夏から秋、秋から冬へと進行すると、この逆の過程が起こり、大気質量は海洋上から大陸上へと移動する。それに加え、ユーラシア大陸東岸では南北の温度傾度が強まるため傾圧不安定波(高・低気圧波動)が発達する。しかも傾圧不安定波はほぼ定まった通り道(ストーム・トラックと言われている)に沿って東進し北海道東北岸沖で消滅するので、そこが定常的な低圧部となる。いわゆるアリューシャン低気圧がこれである。

話を元に戻そう。1993年は何らかの原因で大陸と海洋の温度が平年程上がらず、このため大陸から海洋への大気質量の移動が、平年より少なかった訳である。あるいは、別の付加的要因が加わり太平洋高気圧の発達が非常に弱く、一方オホーツク高気圧が8月まで残存したため、その境界に存在する梅雨前線が何時まで経っても消滅、または北上することなく日本の南岸に停滞し、秋の到来と共に秋霖前線に移行したものであると思われる。以上が、1993年の夏に進行した物語であると確信する。

この現象は極東域にとどまらず、全球規模に及んだ。北米大陸で起こったミシシッピ河の大氾濫もまた、全く同じ機構で起こったと考えられる。ミシシッピ河の氾濫は、150年に1度とか500年に1度の現象だと言われている。

次の節では、上述の現象を引き起こした原因について考えよう。

4. 結論

1993年の異常気象について、その原因をエル・ニーニョに求める気象学者が多い。異常気象の大部分はエル・ニーニョにより説明が可能だというのが最近の定説となっているので、これは受け入れ易い説のよう

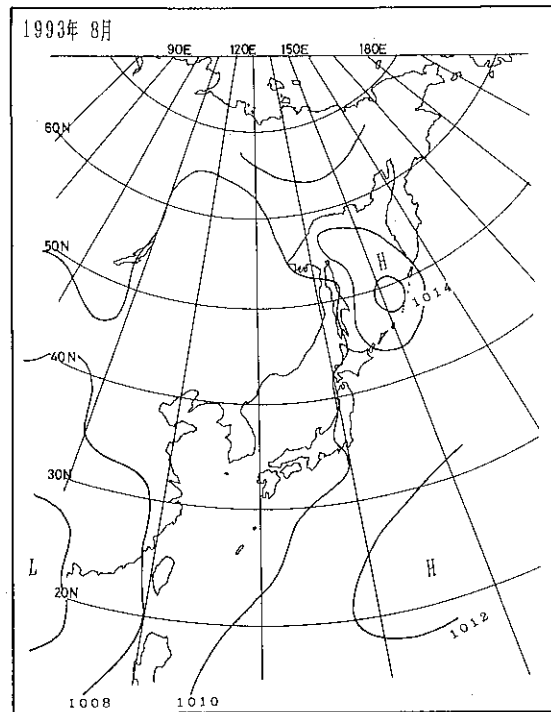


図6 1993年8月の月平均海面更正気圧分布

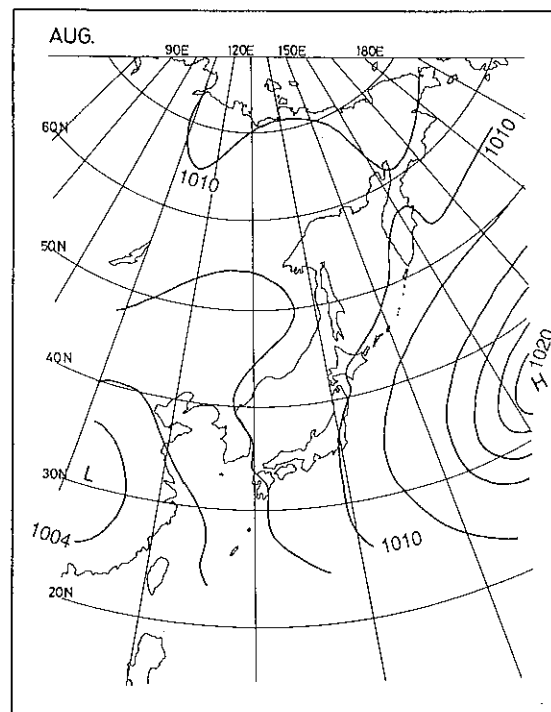


図7 平年8月の月平均海面更正気圧分布

に思える。しかし、果たしてそうであろうか。表7にエル・ニーニョとラ・ニーニャが起こった年を示す。エル・ニーニョは3~4年に1度の割合で起こっていることが分かる。

ここで、エル・ニーニョについて簡単にふれておこう。太平洋赤道域の海水温度は経度方向に一樣ではなく、西太平洋の海面温度が高い。赤道域には偏東風が吹いているが、この風のストレスのため混合層の厚さが西の方ほど厚くなっているためである。これが何らかの原因で(最近は大気-海洋結合系に生ずる赤道波の東方伝搬に伴い暖水域が東進するという仮説が有力視されている)逆転し、熱帯太平洋の東部・ペルー沖の海水温度が上昇する現象をエル・ニーニョと呼んでいる。この海水温度の異常に伴い、3節で述べた大気質量の移動が暖かい海洋域と冷たい海洋域の間でも起

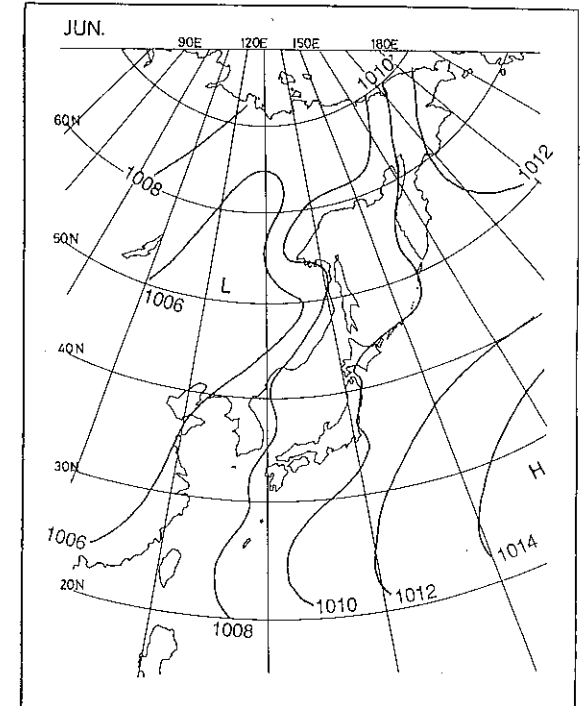


図8 平年6月の月平均海面更正気圧分布

表7 エル・ニーニョ年とラ・ニーニャ年(10月を年の初めとする水文年を用いた)

エル・ニーニョ年	ラ・ニーニャ年
1901	1904
1903	1907
1906	1909
1912	1917
1915	1909
1919	1917
1924	1921
1926	1925
1931	1929
1933	1932
1940	1939
1941	1943
1942	1950
1947	1955
1952	1965
1954	1971
1958	1974
1964	1976
1966	1989
1970	
1973	
1977	
1978	
1983	
1991	
1993	

る。気圧振動があたかもシーソーのようにエル・ニーニョ周期で起こり、南方振動と呼ばれている。北オーストラリアのダーウィンとタヒチの間の海面気圧の差が、エル・ニーニョの目安として用いられるのはこのような仕組みに基づいている。

さて、このエル・ニーニョが、何らかの大気中の現象（例えばブロッキング）との相互作用によって1993年の異常気象を引き起こしたのであれば、その現象の周期は過小に評価しても100年となる。その様な周期の大気現象は知られていない。従って、大気-海洋系の閉じた系の中だけで、1993年の異常気象を説明をするのは無理があると思われる。

未知の現象に責任を負わせなくても、もっと直接的に太陽入射エネルギーを減少させ、1993年の夏に起こった物語を引き起こすことが出来る現象がある。大気中のエアロゾルの増加は、この様な現象を引き起こす。

1991年6月15日、フィリピン・ルソン島のピナツボ火山（北緯15.14°、東経120.35°）が噴火した。噴火の規模は今世紀最大でジャワ島クラカタア火山の噴火に匹敵するものだと言われているが、この結果多量の火山灰と火山ガスが成層圏に注入された。生成された亜硫酸ガスの量は20メガトンで、1982年メキシコ・エルチヨン火山の3倍と見積もられている¹⁾。ピナツボ火山起源のエアロゾル増加は日本では1991年6月28日に観測された²⁾。

ピナツボ火山起源のエアロゾルの影響は、次第に減衰しながらも1993年中残ったことは、レーザ・ライダーによる観測によって確かめられている（福岡大学・藤原玄夫教授との私信による）。この事実は、気象台で行われている直達日射の観測データからも確かめられる。

図9に福岡における太陽入射エネルギーの透過率を示す。横軸は日にちで、日本で初めてピナツボ火山起源のエアロゾルが観測された1991年6月28日を原点に取り、データの期間はその後2年間とした。1年周期の正弦波的な変化が見られるが、黄砂の飛来のため春から夏にかけて透過率が落ちるためである。従って、透過率の平均値でピナツボ火山起源のエアロゾルの影響を評価しようとする時、1年間平均を取ることで黄砂の影響を除くべきである。

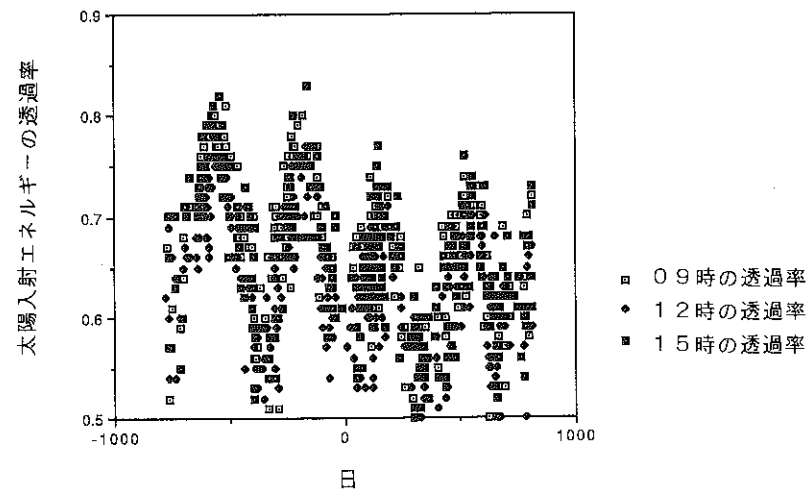


図9 太陽入射エネルギーの透過率。1991年6月28日を日の原点とした

表8に結果を示す。ピナツボ火山起源のエアロゾルが観測されて以後の透過率は、それ以前に比べ1割程度低下しており、少なくとも1993年の夏まではその状態が持続したことが分かる。太陽入射エネルギーが1割減少するというのは、極めて大きな変化である。1次元放射平衡モデルの結果なので直ちに現実の地球に当てはめることはできないが、Budyko (1969)は僅か3%太陽入射エネルギーが減少すると全球が氷で覆われるという有名な研究結果を発表している³⁾。

表8 太陽入射エネルギーの透過率と偏差

期間 (日)	透過率
-730~-365	0.699±0.066
-365~0	0.671±0.068
0~366	0.626±0.061
367~731	0.629±0.061

これまでに述べてきたことから、1993年の異常気象をもたらした第一義的な原因は、ピナツボ火山起源のエアロゾルによる太陽入射エネルギーの減少であることを明らかにすることができたと思う。また、二義的ではあるが、1993年春から始まって僅か半年で終わったエル・ニーニョの影響も付加的に加わったものと考えられる。なぜなら、1992年の夏は冷夏ではあったが1993年程の異常気象は現れなかったからである。

謝辞

ピナツボ火山起源のエアロゾルの観測について議論して頂いた福岡大学理学部の藤原玄夫教授に感謝致します。また、多くの観測データを快く提供下さった福岡管区気象台と鹿児島地方気象台の皆様にお礼を申し述べます。

参考文献

- 1) Bluth, G.J.S., S.D. Doiron, C.C. Schnetzler, A.J. Kruger and L.S. Walter (1992): Global tracking of the SO₂ clouds from the June, 1991 Mount Pinatubo eruptions. Geophys. Res. Lett., 19, 151-154.
- 2) Uchino, O., T. Nagai, T. Fujimoto, M. Fujiwara, H. Akiyoshi, S. Yasumatsu, S. Hayashida, Y. Sasano, H. Nakane, Y. Iwasaka, M. Hase, T. Shibata, T. Itabe, K. Asai, A. Nomura, Y. Saito, T. Kano, Y. Sai, K. Tamaki, R. Nomura, T. Sunagawa, C. Nagasawa, M. Abo, Y. Idesako and K. Kai (1993): Observation of the Pinatubo volcanic cloud by lidar network in Japan. J. Meteor. Soc. Japan, 71, 285-295.
- 3) Budyko, M.I. (1969): On the effect of solar radiation variations on the climate of the earth. Tellus, 21, 611-619.

総観場およびメソスケールから見た1993年

8月6日の鹿児島市豪雨の気象特性

山口大学農学部 早川誠而、福岡航空測候所 前田 宏、九州大学農学部 鈴木義則
九州農業試験場 山本晴彦、鹿児島大学農学部 角 明夫

1. まえがき

九州・山口県は、1993年7月26日から8月10日の約2週間に二度にわたる活発な前線活動があり、加えて3個の台風が上陸または通過した。このため、九州・山口県では多くの犠牲者と大きな災害が発生した。中でも、8月6日から7日にかけての鹿児島県の災害が規模が最も大きく、土砂災害が多数発生して死者・行方不明者49人を数えた。これは8月6日に、鹿児島市では夕方17時から19時にかけての2時間に109mm、日降水量259mmの集中豪雨に見舞われたためである。災害が大きくなったのは、鹿児島県の災害パターン、いわゆる“長雨後の局地的な集中豪雨”が原因とされており、改めて豪雨予測の大切さを教えられた。そこでここでは8月6日の鹿児島市豪雨時の気象特性について総観場およびメソ解析からその特徴を調べた。

2. 天気概況

8月3日から5日にかけて、前線は日本の南岸に停滞しその活動は弱まっていたが、6日早朝、前線はゆっくり北上し、図1に示すように九州南部の鹿児島市付近に停滞した。一方、フィリピン東方海上には台風9307号が北西に進んでいた。このため、下層では台風に励起される太平洋高気圧周辺部の南からの暖湿気流と華南のモンスーン気団からの高温高湿な南西気流が合流して不安定となっていた。この様な不安定時に鹿児島市付近で豪雨が発生することはこれまでの解析でも指摘されている¹⁾。

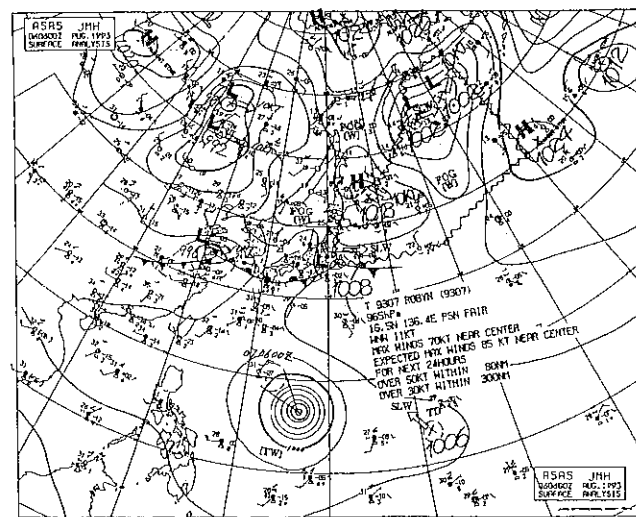


図1 地上天気図(1993年8月6日15時)

3. 雲画像情報からみた特徴

6日早朝より前線に沿って幅600kmの帯状の雲域が本邦南海上から九州南部を通り、中国大陸東岸まで東西に広がっていた。この雲域の中に九州西海上と上海沖にCbクラスターがあり、東へ10ktの速さで進んでいた。鹿児島市付近に大雨をもたらしたのは、九州西海上のCbクラ

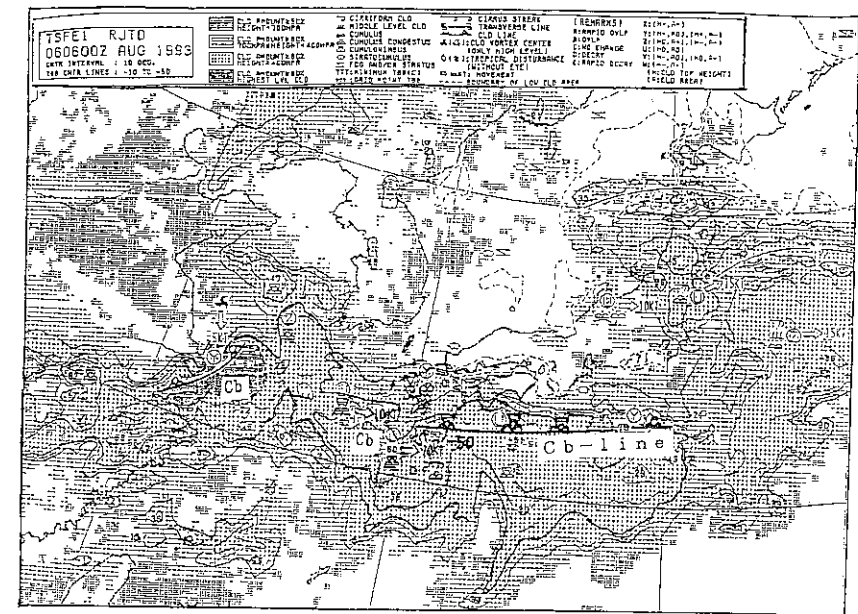


図2 雲画像情報(1993年8月6日15時)

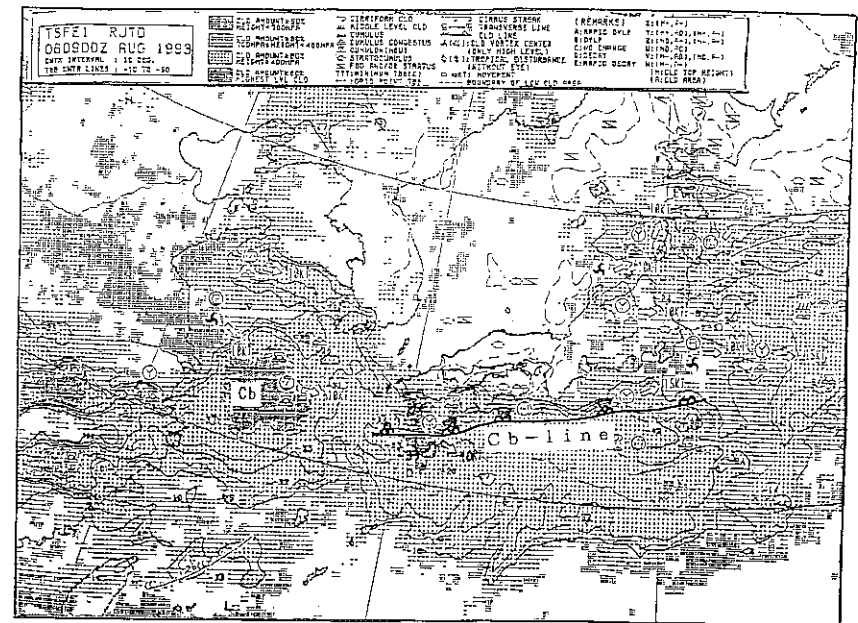


図3 雲画像情報(1993年8月6日18時)

スターである。

6日12時にCbクラスターの北縁に沿って、屋久島付近から西北西へ伸びる長さ約500kmのCbラインが形成され、東南東へ10ktで進んでいた。このCbラインは、雲域の東進にともないゆっくり北上を始め、15時には図2に示すように鹿児島県川内市付近から鹿児島市北部、宮崎市付近を通り、四国沖から紀伊半島南海上へと約1000kmの東西走向の長さで停滞した。この

C bラインに向かってC bクラスターが九州西海上から東へ進んだ。

18時には図3に示したようにC bクラスターがC bライン上の鹿児島市付近に到達した。その後C bクラスターは弱まりながら東南東へ進み、21時には大隅半島南部から日向灘に進んだ。

このC bラインは、地上の前線に沿って形成されており、このC bラインが位置した九州南部地方は南および南西からの暖湿気流が合流した。そして5日18時に九州南西海上の東シナ海で発生したC bクラスターがC bラインと合流して鹿児島地方に大雨を降らせた。このC bクラスターは動きが非常に遅く(10kt)、鹿児島地方に雨を降らせて6日21時に衰弱するまで約18時間という非常に長い間寿命を維持していた。これは、海面水温27度の対馬暖流海域に長時間存在していたために、海面からの水蒸気や熱の補給を受け、更に下層ではモンスーン気団からの潤湿な気流の流入が原因になったと思われる。この擾乱は九州地方に上陸してからは、地形や接地低温大気層の影響を受け、大雨を降らせて衰弱したものと思われる。

4. 鉛直断面の特徴

6日9時における名瀬から平壤にいたる南北の鉛直断面図を図4に示す。前線の南側、鹿児島では下層850hPaを中心に西南西30ktの強い風が吹いている。名瀬の下層の南南西20ktの風は、太平洋高気圧周辺部からの流入である。屋久島付近から南西にのびる長さ200kmのC bラインが鹿児島と名瀬の間に存在している。

鹿児島と福岡の間の雲域は、前線にともなう雲であり、この雲域の中層北側には西よりの風向を持った乾燥空気が流入しており、下層南側から流入する高温多湿の南西風により、対流活動が活発になっていることが示されている。朝鮮半島南部には850hPaを中心とした寒気ドームが形成されているが、これが前線の北上と中国大陸東岸の低気圧の東進を抑えているものと考えられる。

鹿児島を通る鉛直断面を図5に示す。6日15時を中心にC bラインとC bクラスターにともなう雲域が存在している。この雲域の前面では、09時と15時の850hPaを中心とした下層において、西南西で30kt前後の強風が吹いている。これは下層ジェットに対応するものと思われる大雨との関係がうかがえる。この下層ジェットの存在と運動量の対流混合による鉛直循環が豪雨と関連

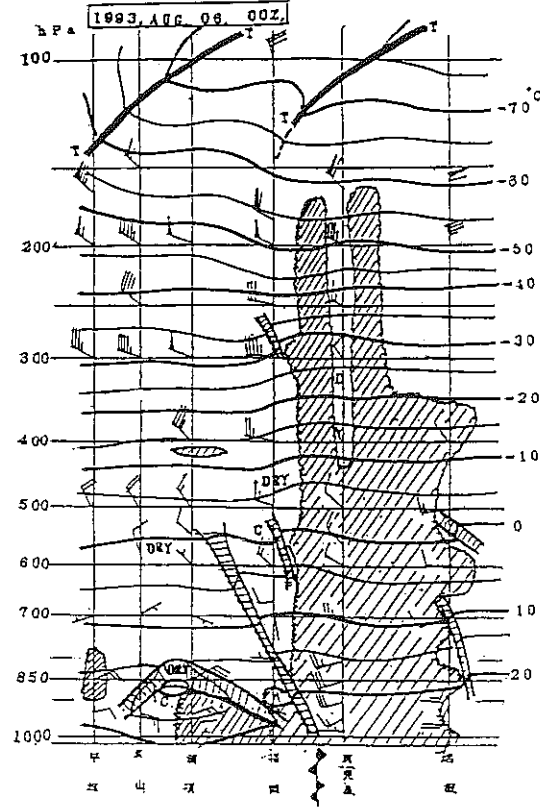


図4 南北鉛直断面図(1993年8月6日15時)

があることについては多くの報告がなされている^{2), 3)}。一方、C bクラスターが大隅半島方面に移動した21時には風が弱まっている。この時間帯は雲域の後面に当たり、400hPa付近には北よりの乾燥空気の流入がみられる。また、C bクラスターを移動させる上・中層の風速は、6日03時までは30kt以上であるが、6日になって、600~350hPaの層では風も弱まっている。このためC bクラスターの移動が遅くなり、鹿児島地方に長時間停滞することになり一カ所に多くの雨がもたらされたものと思われる。

5. 強雨域の移動と地上風流線

C bクラスターの移動が遅いため、強雨域が長時間鹿児島地方にとどまった。図6~図8に鹿児島市周辺に大雨を降らせた時間帯のレーダ・アメダス合成図を示す。1時間降水量の多い地点は、17時に川内市で42mm/h、鹿児島市で28mm/hであったが、18時に鹿児島市の北西にある入来峠で65mm/h、鹿児島市で50mm/hの強雨となり、19時に鹿児島市では59mm/hの強い雨がもたらされた。しかし、20時には強雨域は大隅半島へ移り、鹿児島市は38mm/hと弱まった。強雨域の周辺に無降水域がみられるが、これは活発な対流活動による下降気流によって生じたものと思われる。

6日11時から20時までの20mm/h以上の降雨域の移動を図9と図10に示す。この強雨域の移動は東南東へ10km/hと非常に遅い。15時と17時の降水量分布と地上風流線を図11と図12に示す。降水量の多い領域内の南東付近に低気圧性循環を持つ収束域がみられる。この循環は1989年の鹿児島市豪雨¹⁾や1986年の福

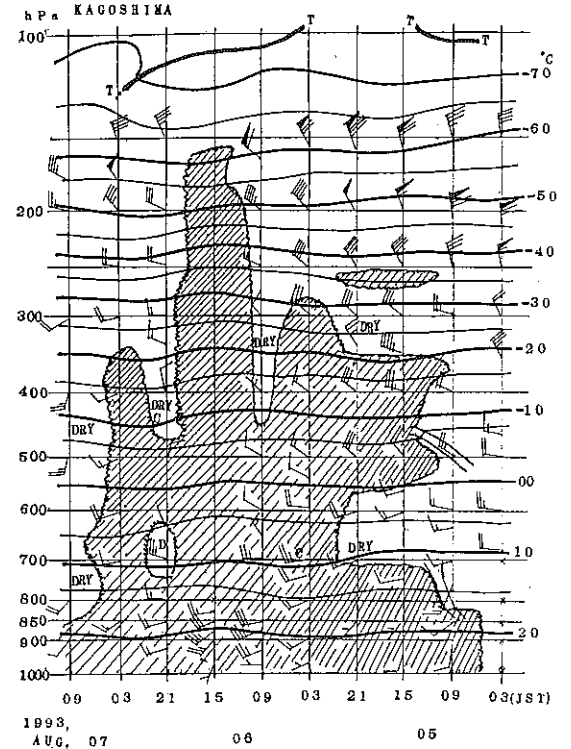


図5 鉛直時間断面図(鹿児島)
(1993年8月5日~7日)

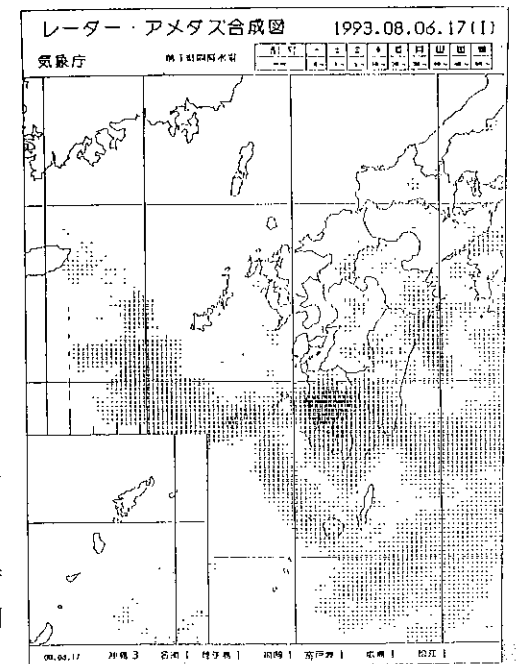


図6 レーダ・アメダス合成図
(1993年8月6日17時)

岡市豪雨⁴⁾にもみられたようにメソスケールの小擾乱とみられる。

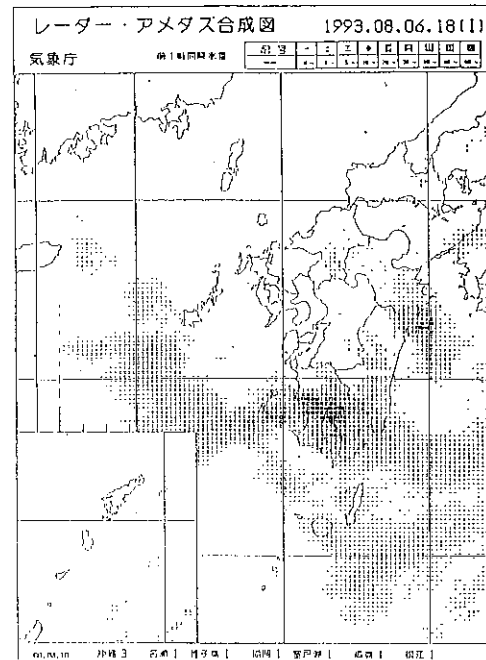


図7 レーダ・アメダス合成図
(1993年8月6日18時)

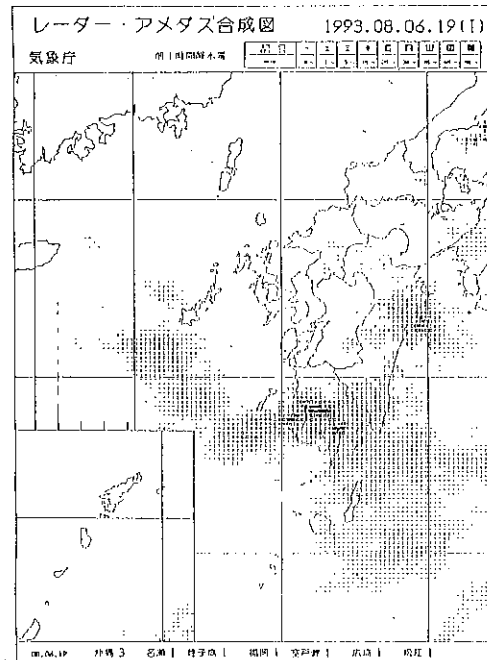


図8 レーダ・アメダス合成図
(1993年8月6日19時)

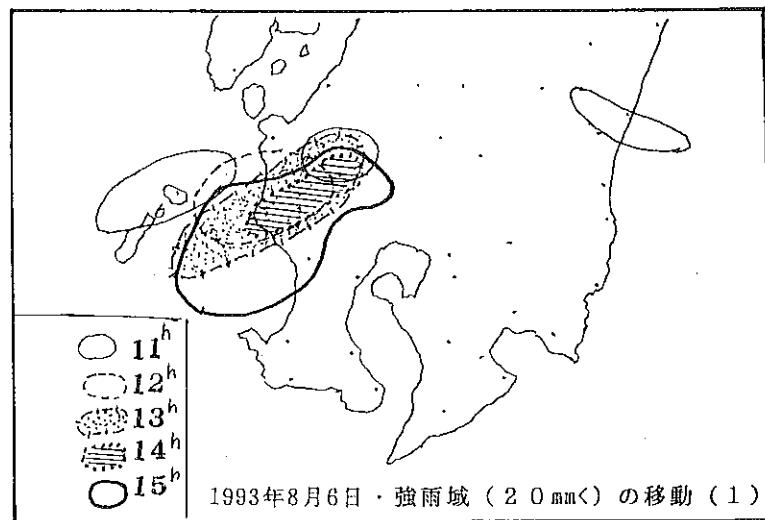


図9 強雨域(20mm/h<)の移動(1993年8月6日)

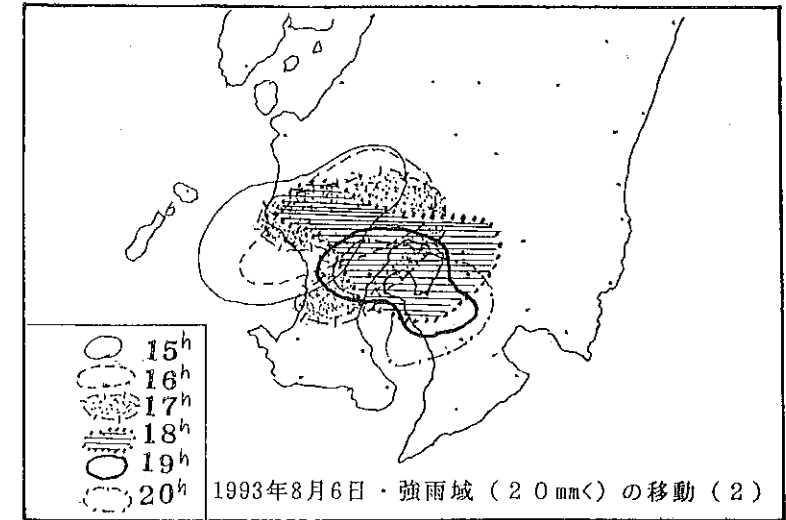


図10 強雨域(20mm/h<)の移動(1993年8月6日)

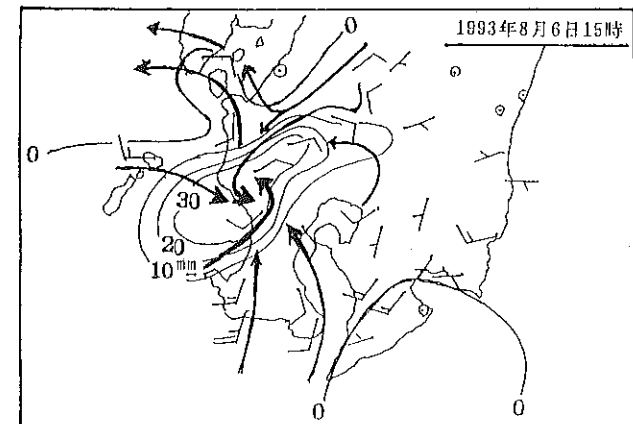


図11 降水量分布と地上風流線(1993年8月6日15時)

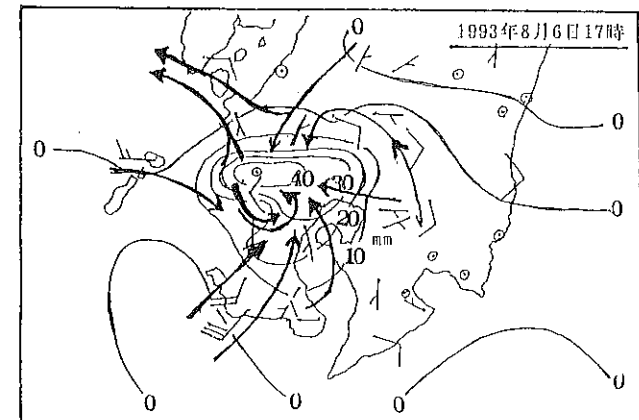


図12 降水量分布と地上風流線(1993年8月6日17時)

ここで注目すべき点は、降水域の進行方向と反対側（北西側）の鹿児島県阿久根市付近から天草にかけて北西方向に流出する発散場が存在することである。降水域の進行方向前部に収束域があり、これは上昇流の存在を示す。また、降水域の進行方向の反対側の北西部に発散域があって下降流の場が形成されており、降水域から流出する気流の存在を示す。すなわち、C b クラスタによる活発な対流活動が続いていることを示唆する。

6. 上層資料および風のプロファイルに見られる特徴

6.1 500hPa面の渦度

強雨域はC b クラスタによりもたらされたもので、長時間持続したことはC b クラスタの寿命が長かったためである。C b クラスタの寿命を維持したものは、図13に示した500hPa面での渦度が寄与したものと思われる。

5日21時に済州島西海上（北緯34度、東経125度）にあった正渦度（ $49 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$ ）が東南東に進み、6日9時には北緯31.5度、東経129度付近に達し、正渦度の値は $39 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$ となった。

一方、6日3時頃、北緯31.5度、東経128度付近で発達したC b クラスタは東へ進み、9時には北緯31.5度、東経129度付近に達し、500hPaの正の渦度と一致した。

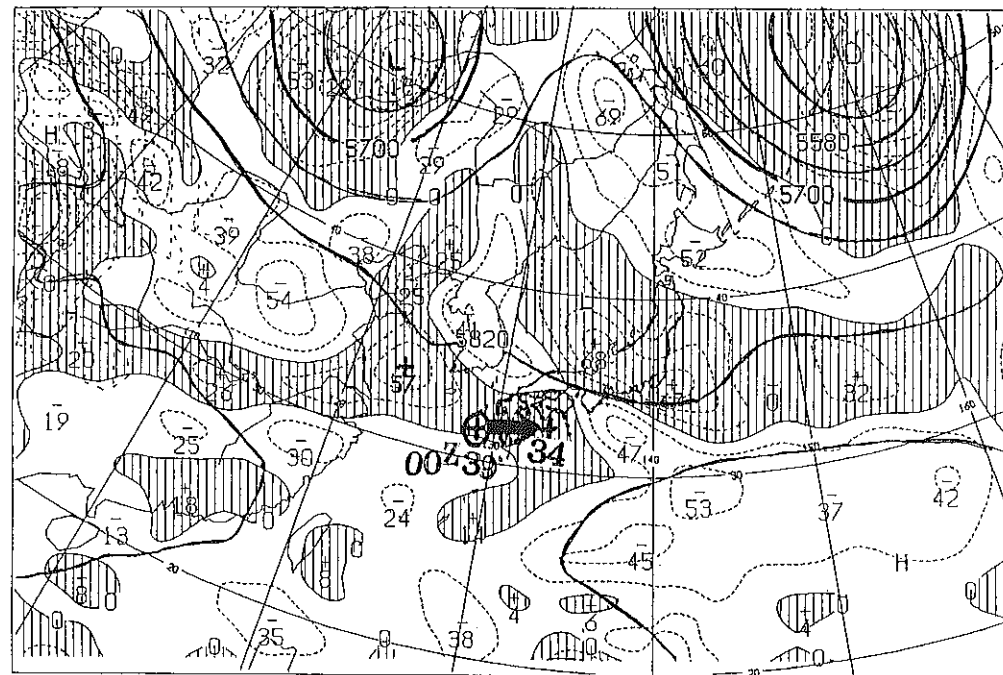


図13 500hPa等高線と渦度分布(1993年8月6日21時)

正の渦度は、6日21時には日向灘に達している。従って、正の渦度は6日15時頃鹿児島付近を通過した事になる。この時間帯にC b ラインが形成され、C b クラスタがこのラインと合流して鹿児島地方に大雨をもたらしたと思われる。地上風流線によるC b クラスタ内部での低気圧性循環は、等圧線解析を行っていないので小低気圧とは言いえないが、渦度が進行方向に前傾しているメソスケールの擾乱である。

6.2 高層風ホドグラフの特徴

雲列の走向が鉛直シアアの走向と関係があることはこれまでの多くの解析から明らかにされている^{1), 4), 5)}。6日9時と15時の高層風のホドグラフを図14に示す。9時で鹿児島の下層900hPaと中層500hPaの鉛直シアアでは、北東から南西への走向を示し、鉛直断面(図4)で述べた屋久島付近から南西に伸びるC b ラインの形成と一致する。福岡の風では、西北西から東南東の走向が期待され、これは前線の走向と一致している。6日15時の鹿児島の高層風は837hPaまでで、その上層は欠測となっている。そこでC b ラインに近い潮岬の高層風を用いて解析してみると、東西走向の鉛直シアアがみられ、C b ラインの東西走向と一致する。

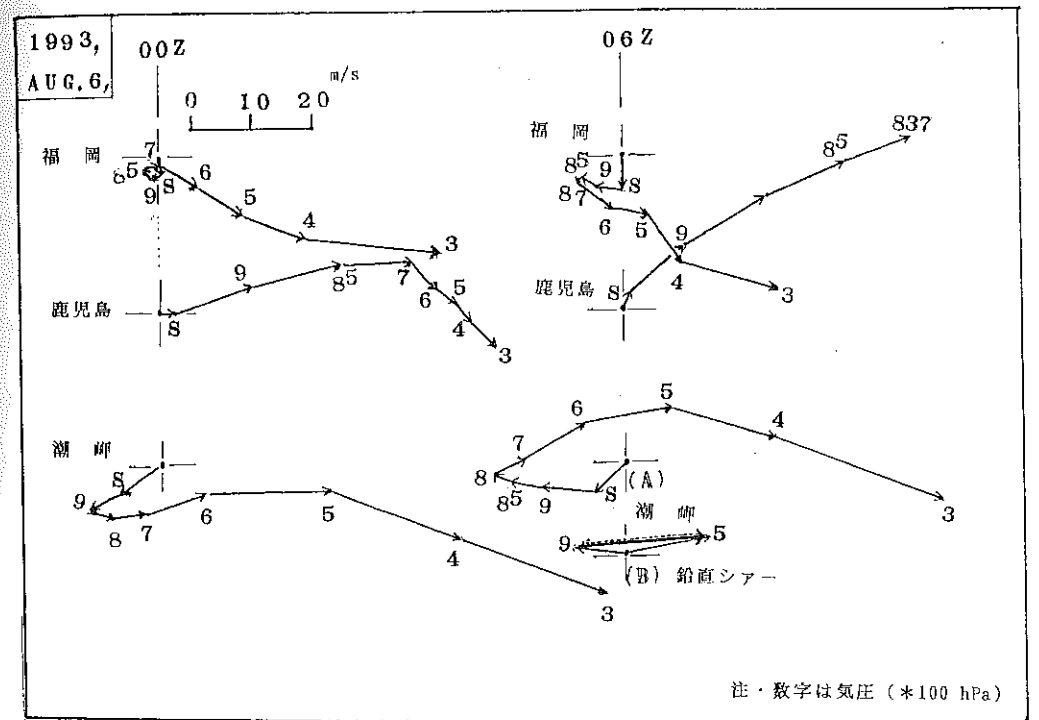


図14 高層風ホドグラフ(福岡、鹿児島、潮岬)

7. まとめ

1993年8月6日の鹿児島市豪雨では、太平洋高気圧周辺部からの南よりの湿潤空気とモンスーン気団の高温多湿な南西気流が下層で合流して大雨となった。豪雨域が長時間続いた要因は、強雨域の進行方向前部におけるメソスケールの小擾乱とみられる低気圧性循環を持った収束域とそれにとまなう上昇流および強雨域後面の下降気流による発散場、さらにはそこから北西に

流出する気流によるものであった。また、下層の暖湿気流の流入、中層の北側からの乾燥気流の流入もCbの維持に重要な役割を演じていたものと思われる。このメソスケールの小擾乱には、500hPa面の正渦度が寄与しており、これが長時間寿命を維持していた。また、Cbクラスターを流す上層風が弱かった事が移動速度を遅くし、このため鹿児島地方に強雨域が長時間停滞し、一カ所に多くの雨をもたらし、被害を大きくしたと言える。

参考文献

- 1) 早川誠而・鈴木義則・前田 宏・元田雄四郎(1989)：1986年7月10日鹿児島市豪雨の特徴解析. 天気, 364, 207-213.
- 2) Ninomiya, K., and T. Akiyama(1974)：Band structure of mesoscale echo clusters associated with low-level jet stream. J. Met. Soc. Japan, 52, 300-313.
- 3) 二宮洗三(1980)：梅雨前線帯の下層ジェットとレインバンド. 気象研究ノート, 138, 118-141.
- 4) 早川誠而・鈴木義則・前田 宏・元田雄四郎(1989)：1983年9月6日の福岡市における豪雨の特徴—レーダエコーを主とした解析. 天気, 36(3), 127-133.
- 5) Seitzer M.A., R.E. Passarelli and K.A. Emanuel(1985)：The possible role of symmetric instability in the formation of precipitation bands. J. Atmos. Sci., 42, 2207-2219.

鹿児島市における土砂災害発生限界雨量

九州大学工学部 平野 宗夫
 森山 総之
 九州大学大学院 川原 恵一郎

1. はじめに

1993年には梅雨前線豪雨、集中豪雨、台風等の影響により、九州地方を中心に水害・土砂災害が頻発した。なかでも、鹿児島県における被害は甚大で、6月から9月の間に山崩れ、土石流、洪水などによる死者・行方不明者が120人を超える大災害となった。特に犠牲者が多かったのは鹿児島市の49人と金峰町の21人で、川辺町9人、国分市7人などがこれに続いている。

本研究では、鹿児島市における豪雨に伴う土石流や崖崩れ等の土砂災害について、発生時刻と降雨波形を解析することにより、土砂災害発生限界雨量を検討する。この限界雨量の推定に当たっては雨量データを入力、災害発生の有無を出力とし、その関係をシステム解析的に求める手法を用いる。また、入出力の関係を自己学習機能により分類・認識できるニューラルネットワークを導入し、土砂災害の発生予測を行う。さらに先行降雨の土砂災害発生への影響について、ニューラルネットワークを利用し定量的評価を試みる。

2. 鹿児島市における降雨状況と災害の概要

図1は鹿児島地方気象台における93年6～9月の日降水量と鹿児島市内の災害発生日を示したもので、この間、鹿児島市内で豪雨による災害が4回発生している。まず6月26日に、梅雨前線の活発化に伴う大雨により、JR日豊本線竜ヶ水駅付近に土砂が流入し同線が一時不通となった。7月7日には市内で山崩れにより死者1名、住家の全壊8棟などの被害があった。8月6日には日雨量200mmを越す集中豪雨により、鹿児島市内で河川の氾濫、山崩れ、土石流が発生し、死者行方不明48人という大災害となった。また、台風13号が通過した9月3日に崖崩れにより10数箇所で道路が寸断された。

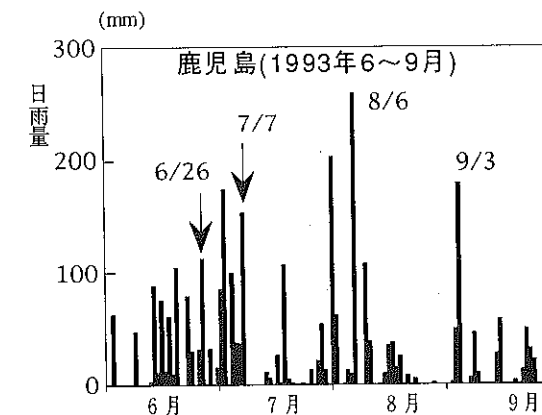


図1 鹿児島気象台の日雨量(93年6～9月)

3. 災害発生限界降雨の推定

3.1 土砂災害発生限界理論

図2に示すように、厚さ D 、長さ l 、勾配角 θ の斜面上に強度 r の降雨があり、浸透流と表面流が発生している場合を考える。図において、表層から a の深さの点におけるせん断力 τ と抵抗力 τ_L はそれぞれ次式で表される¹⁾。

$$\tau = \{C_* (\sigma - \rho) a + \rho (h_0 + a)\} g \sin \theta \quad (1)$$

$$\tau_L = c + C_* (\sigma - \rho) a g \cos \theta \tan \phi \quad (2)$$

ここに、 C_* は堆積物の濃度、 σ および ρ は砂礫および水の密度、 g は重力の加速度、 c は粘着力である。

土石流の発生限界は $\tau = \tau_L$ であり、上記2式より土石流発生限界勾配 θ_c は下式のようになる。

$$\tan \theta_c = \frac{c / (\rho g a \cos \theta_c) + C_* (\sigma / \rho - 1) \tan \phi}{C_* (\sigma / \rho - 1) + 1 + h_0 / a} \quad (3)$$

上式を満足する勾配において、深さ a より上層の土砂が移動することになるが、 a が堆積物の粒径 d より大きい ($a \geq d$) ことが必要である。また、水深 h_0 が a より大きい ($h_0 \geq a$) とし粒子が流動層全体に分散されて土石流となる¹⁾と考えると、限界条件は $a = d = h_0$ となる。これと通常の砂れきにおける値、 $C_* = 0.6$ 、 $\tan \phi = 0.8$ 、 $c = 0$ 、および $\sigma / \rho = 2.65$ を (3) 式に代入すると、 $\theta_c = 14.8$ 寄となり、実際の土石流が15寄以上の勾配で発生しているという経験的事実に一致する。また、 $h_0 = 0$ として前記の諸値を (3) 式に代入すると $\theta_c = 21.7$ 寄となり、これ以上の勾配では表面流が発生する前に土石流が発生する可能性がある。

上記の理論から限界降雨を求めるのに二つの方法がある。一つは、表面流に着目して (3) 式を満足する条件を導くもの、他は表面流の発生条件を浸透流の式から求めるものである。

芦田²⁾ は $h_0 = d / \kappa$ となる流量を限界流量と考え、溪流における土石流の発生条件として次式を与えている。

$$Q_c = \sqrt{\frac{8 \sin \theta}{f_0 \kappa^3} B^2 g d^3} \quad (4)$$

ここに、 Q_c は発生限界流量、 f_0 は摩擦損失係数、 κ は土石流流動厚と表面流水深との比で1に近い値、 θ は渓床勾配、 B は川幅、および d は堆積物の粒径である。上式に合理式を適用すると、発生限界降雨は次式で与えられる。

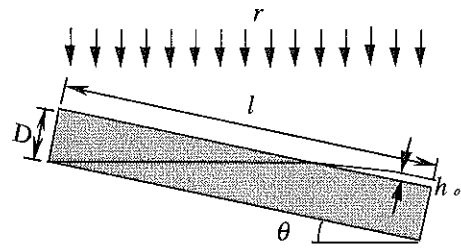


図2 斜面の模式図

$$r_T = \frac{1}{T} \int_0^T r dt \geq \frac{B d}{f A} \sqrt{\frac{\sin \theta}{f_0 \kappa^3} g d} \quad (5)$$

ここに、 r_T は T 時間内の平均降雨強度、 T は到達時間、 r は降雨強度、 A は流域面積、および f は流出係数である。

実際の堆積物の表面は図2に示されるように滑らかではなく、少なくとも粒径の数倍程度の凹凸が存在する。このため、斜面や河床の広い範囲にわたって $d = h_0$ という条件が満たされるということは現実にはありえず、局部的に表面流が発生して崩壊が始まることになる。したがって、勾配が22寄程度以下の場合には、表面流の発生を土石流発生条件とみなしてよい³⁾。

図2に示す斜面において、降雨時の浸透流に関しては、連続の式と運動の式はそれぞれ次式で与えられる。

$$\lambda \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (vh)}{\partial x} = r \cos \theta \quad (6)$$

$$v = k \sin \theta \quad (7)$$

ここに、 λ は間隙の割合で $\lambda = 1 - C_*$ 、 v は流速、 h は水深、 r は降雨強度、および k は透水係数である。(1) および (2) 式を特性曲線法で解くと

$$x = \frac{k \sin \theta}{\lambda} (t - t_0) \quad (8)$$

$$h = \frac{1}{\lambda} \int_{t_0}^t r \cos \theta dt \quad (9)$$

となる。ここに、 t_0 は特性曲線の出発時刻である。上記2式より表面流の発生条件、すなわち土石流の発生限界を求めると

$$r_T = \frac{1}{T} \int_0^T r dt \geq \frac{D k}{l} \tan \theta \quad (10)$$

となる。上式の土石流発生限界への適用性は人工降雨装置を用いた水路実験³⁾により確かめられている。

表面流が発生しない場合は、釣合条件より限界水深 H_c は次式で与えられる。

$$\frac{H_c}{D} = \frac{c / (\rho g D \cos \theta) + C_* (\tan \phi - \tan \theta) \sigma / \rho}{\tan \theta + C_* (\tan \phi - \tan \theta)} \quad (11)$$

浸透流の水深 h が限界水深 H_c に等しくなったときに崩壊が発生すると考えると、発生条件は同様に下記のように導かれる。

$$r_T = \frac{1}{T} \int_0^T r dt \geq \frac{H_c k}{l} \tan \theta \quad (12)$$

(5) 式と (10)、(11) 式は対象も誘導過程も異なるが、左辺は同形になっており、到達時間内の平均降雨強度がある値を超えると、斜面崩壊が発生することを表している。また、右辺は斜面に固有の値と考えられるから、斜面崩壊の発生は到達時間とその間の雨量によって規定されることになる。

3.2 到達時間と限界雨量の推定法

到達時間と限界雨量をデータから推定するために、まず一連の降雨のデータから次式で定義される種々の時刻と時間に対応する累加雨量 $R(t, \tau)$ を求める。

$$R(t, \tau) = \int_{t-\tau}^t r dt \quad (13)$$

ここに、 t は時刻、および τ は時間である。次に、種々の時刻における $R(t, \tau)$ の最大値 $R_m(\tau)$ を求める。

$$R_m(\tau) = \max \{ R(t, \tau) \} \quad (14)$$

これを土砂災害の発生したものと同様でないものに分け、 $R_m(\tau)$ と τ の関係をグラフにプロットする。理想的な場合、すなわち、データに誤差が無く、かつ到達時間と限界降雨が一義的に決まっている場合には、図3に示されるように、すべての線は、発生の場合は図の(a)のように発生限界点 R_c の上を通り、不発生の場合は(b)のように同点の下を通ることになる。したがって、発生の下限と不発生の上限を描くと図4(a)に示されるような2本の曲線になるはずである。しかし実際には、雨量データには誤差があり、土石流の発生は確率現象であると考えられるから同図(b)のようになり、両者の差が極小になる点が到達時間と限界雨量を示すと考えられる⁴⁾。

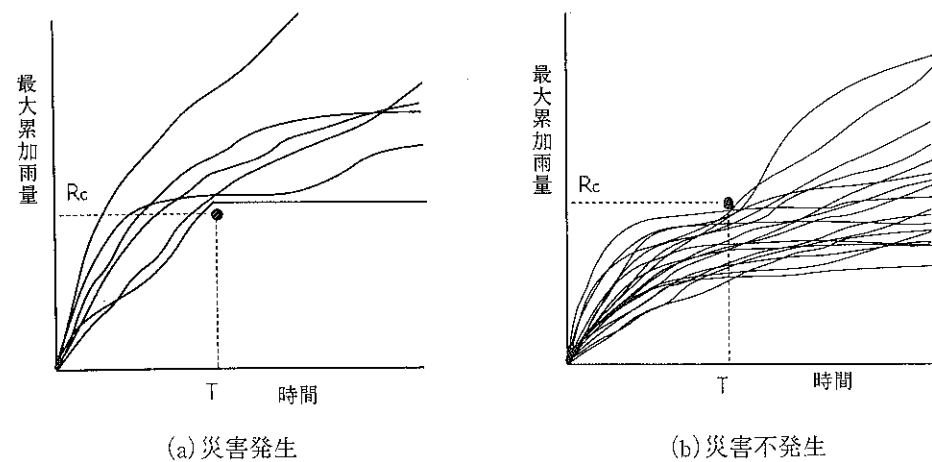


図3 災害発生時と不発生時の累加雨量

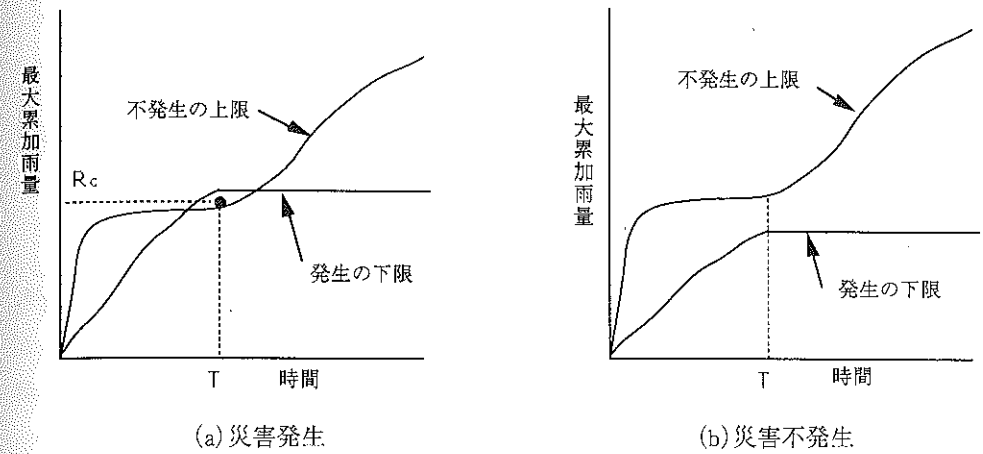


図4 発生の下限と不発生の上限

3.3 鹿児島市における災害発生限界降雨

1976年～93年9月について、鹿児島地方気象台の時間雨量データおよび鹿児島市内において発生した土砂災害記録を収集した。それらを用いて (13) および (14) 式により累加雨量の最大値を計算し、土砂災害が発生した場合としなかった場合に分けてプロットすると図5が得られる。

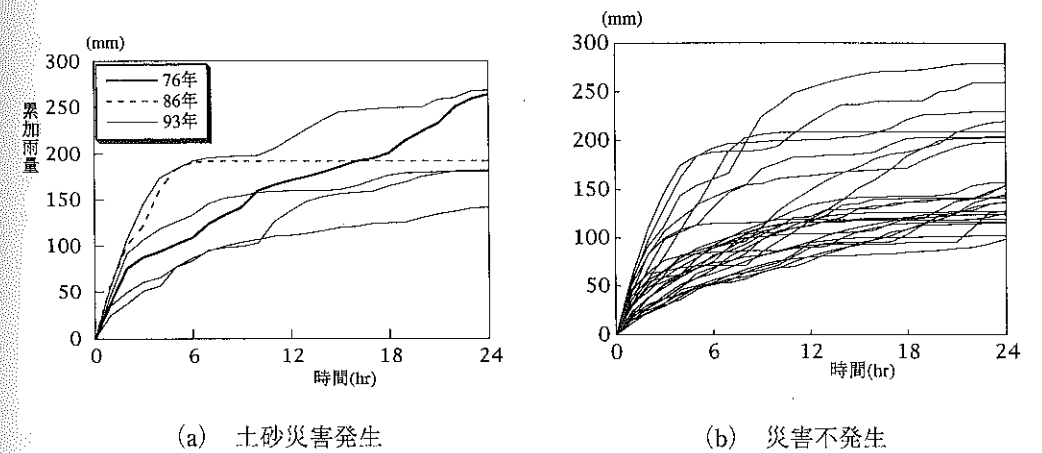


図5 鹿児島市の累加雨量図(1976-93)

上図より発生の下限と不発生の上限を求めて示すと図6が得られる。これより、到達時間は8時間程度、発生限界雨量は約100mmと推定される。

4. ニューラルネットワークによる発生限界降雨の検討

ニューラルネットワークの土石流発生予測への適用性は著者らによって確かめられている⁵⁾。

使用したニューラルネットワークは、図7に示すように、入力層、中間層、出力層の3層を持つ階層型ニューラルネットワークである。ユニットは階層状に連結されており、出力は1方向のみへ伝わる。

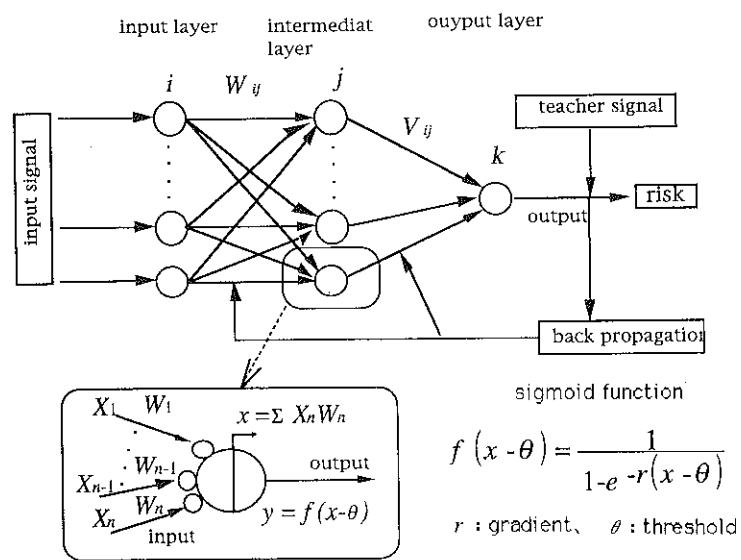


図7 ニューラルネットワークのフロー図

まず、入力層への入力 X_i に重み W_{ij} を乗じた $X_i W_{ij}$ が中間層のユニット j への入力となる。次に、その総和としきい値 θ との差 $\Sigma (X_i W_{ij}) - \theta$ を次式で定義されるシグモイド関数で変換したものがこのユニットから出力される。

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-rx)} \quad (15)$$

ここに、 r はシグモイド関数の傾きである。

中間層からの出力が出力層への入力となり、同様の手順により出力に変換される。出力層が

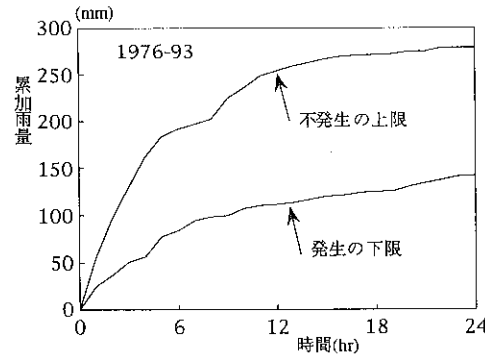


図6 発生の下限と不発生の上限

らの出力 O_p とそれに対する教師信号 T_p の誤差関数 E_p を次式

$$E_p = \frac{(T_p - O_p)^2}{2} \quad (16)$$

で定義し、学習用として与えられた全パターンの誤差 E_T

$$E_T = \sum_p E_p \quad (17)$$

が最小となるものを最適なネットワークとする。 E_T を極小化するようにネットワーク間の重みとしきい値を変えていくことを学習という。学習が終了したネットワークにデータを入力し、得られる出力の値で予測を行う。出力は0～1の範囲にあり、1に近いほど危険と見なされる。

4.1 鹿児島市の災害への適用

1976-92年までのデータを学習させて、93年の予測計算を行う。まず、学習データとして図5に示した1976～92年の降雨データと土砂災害の発生・不発生のデータを与える。ここで、入力信号としては1～24時間までの累加雨量最大値 $R_m(\tau)$ を $[0,1]$ で正規化したものとし、教師信号としては土砂災害発生時に0.99、不発生時に0.01を与える。次に、ネットワークの学習終了後、入力信号として1993年の各降雨時の1～24時間までの累加雨量最大値 $R_m(\tau)$ を与え、ネットワークの出力値を求める。

結果は図8の通りであり、出力が0.5以上の場合を発生と予測することになると、的中3個、見逃しおよび空振りが各1個となる。また、このネットワークに1976-92年のデータを適用すると、発生時の最低出力は0.86となり、この値を基準として93年の予測を行うと的中2個で空振りはないが、7月7日と6月26日の災害は見逃したことになる。図1に示されているように、93年7月7日と6月26日の災害時の降雨は学習した76、86両年のそれより小さいことを考慮すると、このシステムの判定は妥当のように思われる。

4.2 先行降雨の影響

図1および8を見ると、6月26日や7月7日の災害については、先行降雨が関係しているように思われる。そこで、先行雨量の影響を調べるために、93年のデータについてニューラルネットワークによる発生と不発生の分離を試みる。

まず、93年1～9月の111個の降雨波形（災害発生4個、不発生107個）について、1～24時間の累加雨量、および先行降雨として24時間より前1日（24時間）、前2日（48時間）……雨量を計算し、これらを入力して学習を行い、ニューラルネットワークを構築する。つぎにこれに同じデータを入力して出力を求める。

結果は図9の通りである。先行降雨を考慮しない場合（図の一点鎖線）には、出力0.89以上

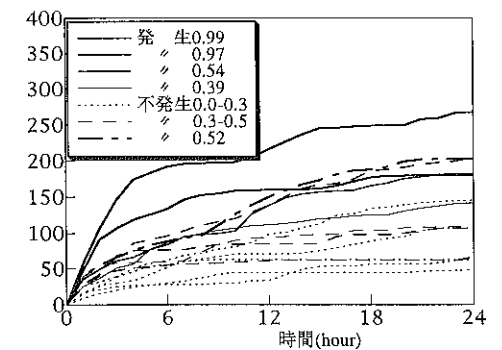


図8 予測計算結果

が、4個の発生降雨を含めて10個あり、それ以外は出力0.4以下となっている。したがって、出力0.8個を発生限界とすれば、的中4個、空振り6個、見逃し0個となる。先行降雨3日を入力に含めると空振り5個、5日では空振り3個と次第に改善され、7日までの先行降雨を使用すると、図に示されるように教師信号にかなり近いものとなり、発生と不発生がはっきりと区分される。

5. おわりに

1976-93年の降雨と土砂災害の資料を解析し、以下の結果を得た。

- (1) 鹿児島市においては8時間雨量が100ミリを越えると土砂災害が発生する可能性がある。
- (2) ニューラルネットワークは土砂災害予測に有効である。
- (3) 93年のデータについて、7日間の先行降雨を考慮することにより、予測精度が改善された。

先行降雨が土砂災害発生に関係していることは広く知られている。例えば雨期になるとT Vで「雨が降り続けていますので、地盤が緩んでいます。崖くずれや土石流に注意して下さい」などと放送される。しかし、先行降雨の影響について定量的な説明はなされていない。ニューラルネットワークは物理機構がはっきりしない現象を取り扱うのに適しており、先行降雨の評価に有効であると思われる。今後多くのデータについて検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 高橋保(1977): 土石流の発生と流動に関する研究. 京都大学防災研究所年報, 第20号, B-2, 405-435.
- 2) 芦田和男・高橋保・沢井健二(1978): 土石流の危険度の評価方法に関する研究. 京都大学防災研究所年報, 第21号, B-2, 423-440.
- 3) 平野宗夫・岩元賢・原田民司郎(1976): 人工降雨による土石流の発生機構に関する研究. 第31回土木学会年次学術講演会概要集第2部, 299-300.
- 4) 平野宗夫・足田誠・森山聡之(1986): 活火山流域における土石流の発生限界と流出規模の予測. 第30回水理講演会論文集, 181-186.
- 5) 森山聡之・平野宗夫・上松泰介・川原恵一郎・白川朋道(1992): ニューラルネットワークを用いた土石流発生予測について. 第36回水工学論文集, 705-708.

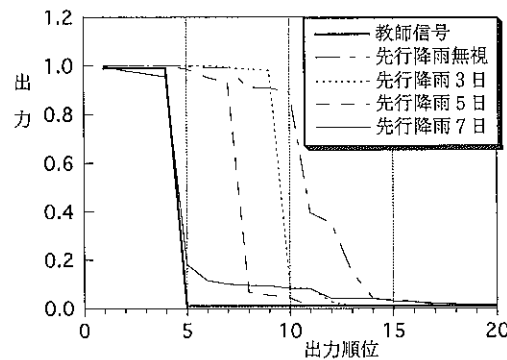


図9 出力と先行降雨の関係

1993年鹿児島豪雨による斜面崩壊の地質学的側面

鹿児島大学 理学部 横田 修一郎
岩松 暉

1. はじめに

1993年7月から9月にかけての豪雨によって鹿児島県内各地で多くの斜面が崩壊し、流動性の高い崩壊土砂は斜面下の広範囲に被害を及ぼした。一連の豪雨による斜面崩壊とそれに関わる災害については様々な機関や研究者によって調査がすすめられているが、我々は代表的な崩壊地について崩壊発生の原因とその機構を考える基礎資料を得るため、崩壊の形態とともに周辺を含めた地形・地質の状態を調査してきた。以下には調査結果のいくつかの例を示し、それらに基づいて崩壊をもたらした地質学的な原因(素因)を検討してみる。

2. 斜面崩壊の例

図1に規模が大きくかつ被害を伴った主な斜面崩壊の位置を示す。斜面崩壊は7月から9月にかけて何度も発生した。主な発生月日は8月1-2日、8月6日、9月3日などである。8月1-2日のものは鹿児島湾北側の始良町・吉田町から国分市が中心であるのに対し、8月6日のものは鹿児島市から伊集院町にかけての狭い範囲に集中している。また9月3日のものは薩摩半島南部の金峰町や川辺町が中心である。これら以外にも7月には薩摩半島南端や大隅半島などで、また9月20日には薩摩半島中部の日吉町で崩壊が発生している。ここでは比較的規模が大きくかつ地質的に特徴のある以下の4地点を取り上げる(位置は図1参照)。

- (1) 始良町九州自動車道桜島サービスエリア北側の斜面崩壊(8月2日発生)
- (2) 鹿児島市花倉病院裏の斜面崩壊(8月6日発生)
- (3) 鹿児島市多賀山の斜面崩壊(8月6日発生)
- (4) 金峰町大坂扇山の斜面崩壊(9月3日発生)

2.1 九州自動車道桜島サービスエリア北側の斜面崩壊

図2に示すようにここでは標高110m前後に定高性をもったシラス台地があり、崩壊はその南東側の谷状斜面で発生した。崩壊土砂は斜面下端から南へ流下し、サービスエリア内の上り側駐車場の大半を埋めたうえ、本線

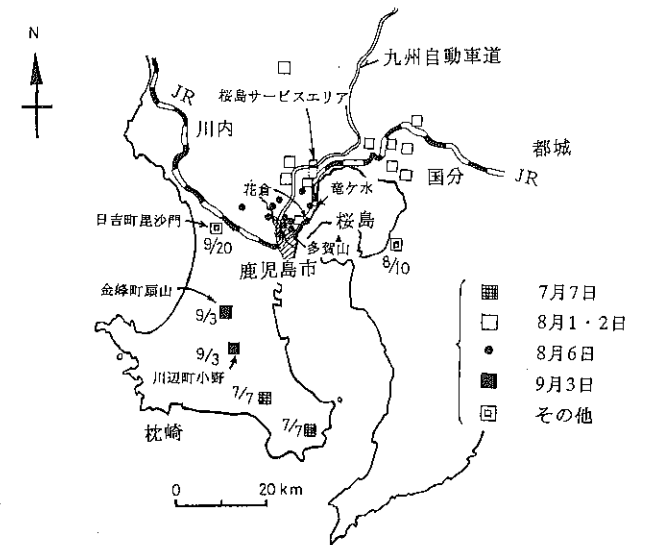


図1 主な斜面崩壊の発生場所

近くまで達している。斜面下端から土砂の最到達部までの水平距離は約200mである。また、土砂は斜面下端とサービスエリアとの間の道路に沿って東西約300mにも広がっている。

台地のまわりは標高20m前後でほぼ平坦な沖積平野ないし沖積段丘面となっており、これから台地上までの比高は約90mである。崩壊の発生した谷部は幅50m以上と幅広くかつ緩やかである。谷部のなかには北東端と北西端に切れ込んだ部分がある。前者に沿って標高70m以下には深さ4-5mでガリー状に洗掘されているところがある。

崩壊斜面中央付近の地形・地質縦断面図を図3に示す。平均して20°前後の勾配であるが、標高50-60m付近には下部がやや急で上部がやや平坦になっているところがある。これより上部では再び急勾配となり、とくに標高90m付近より上部では30°以上となっている。

斜面の大部分は凝灰質の砂・シルト(第四紀更新世の国分層群¹⁾)よりなる。凝灰質の砂・シルトは大局的にはほぼ水平であるが、顕著な乱堆積構造のため層理面の走向・傾斜は一定していない。標高50m前後に黄褐色を呈する厚さ約15mの凝灰岩層(火砕流堆積物)があり、前述した斜面中腹部の急傾斜部に対応している。凝灰岩層の直上には厚さ約5mで礫径5-15cmの円礫層があり、水平によく連続している。

標高75m付近にも軽石を多く含んだ凝灰岩(火砕流堆積物)があり、これは下位の凝灰岩に比較して軟質である。これら2枚の火砕流堆積物のうち、下位のものが小宮路凝灰岩、上位のものが小田凝灰岩に相当すると考えられる。前者では0.96Maの、後者では0.97Maのフィッシュントラック年代が報告されている²⁾。

凝灰岩より上位では再びシルト優勢層となる。シルト層直上の標高90-100mには厚さ6-8mの安山岩層(西餅田安山岩³⁾)が存在し、ほぼ水平に連続している。これは赤紫色を呈する粗粒の安山岩で著しく角礫化しており、様々な大きさのブロックの集合体よりなる。安山岩の上位には厚さ10m前後またはそれ以下のシラスが存在する。ここでいう"シラス"とは入戸火砕流堆積物・妻屋火砕流堆積物⁴⁾の弱溶結ないし非溶結の部分を行い、岩松・他⁵⁾の定義に基づいたものである。これらは約24,000年前⁶⁾に、当時の鹿児島湾北部から噴出したものと考えられている。

一方、斜面下部(裾部)では国分層群は崩壊土砂に覆われているが、ここでは崩壊以前から斜面堆積物(崖錐堆積物)が広く堆積していたと推定される。

崩壊頂部は最上部に近い標高90m付近の安山岩層およびその上位のシラスの部分である。赤紫色の安山岩ブロックが斜面下に広く散在していることから、この部分の崩壊が斜面全体の崩壊のきっかけであったと推定される。

ブロック化している安山岩の岩層と下位のシルト層との透水性のコントラストは大きく、両者はキャップロック構造をなすと考えられる。したがって、著しい降雨があれば両者の境界付近をすべり面とする崩壊が発生することは十分考えられる。

上部からの崩壊土砂が斜面を覆っていた表層堆積物(崖錐堆積物)を浸食し、かつ一度に移動させたのであろう。部分的には国分層群の凝灰質砂岩やシルト岩、凝灰岩も浸食され、それらを合わせた流動性の高い土砂が斜面を流下したものと推定される。しかし、斜面中央部には部分的に立木や旧表土が残存していることからみて、崩壊は左右両側の切れ込みを中心に進行したものの全体としては比較的薄いものであったようである。

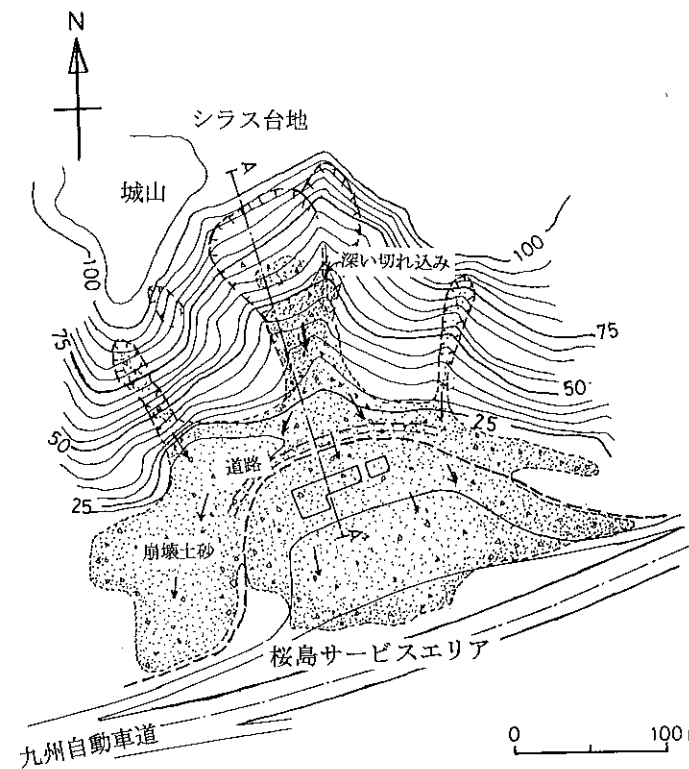


図2 九州自動車道桜島サービスエリア北側の地形概要と崩壊位置

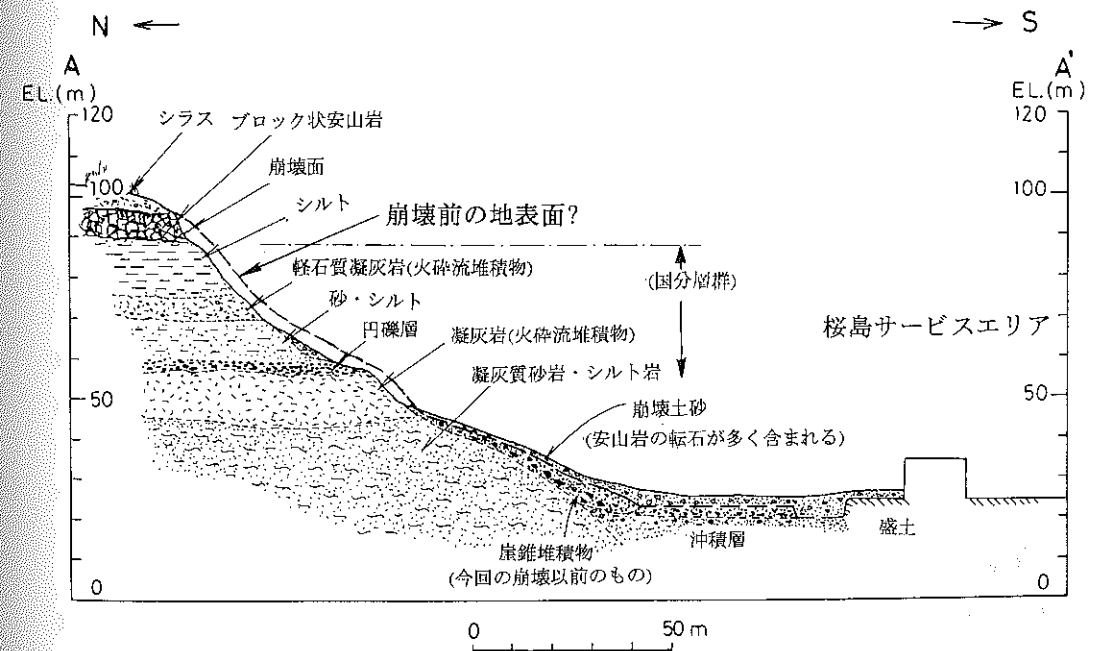


図3 桜島サービスエリア北側崩壊部の地形・地質断面図

2.2 花倉地区花倉病院裏の斜面崩壊

鹿児島市磯から始良町重富までの間は吉野台地が海岸近くまで迫り、台地の南東縁が連続した急斜面となっている。本地区はそのなかでも南部の比較的緩傾斜の地域である。図4に示すように標高40m付近より下部は緩斜面となっており、土石流化した崩壊土砂に直撃された花倉病院はその緩斜面上に位置している。

病院の北東側と北西側の2箇所にて台地斜面を刻む谷が認められる。いずれの谷も標高100m以下のみを刻んでおり、しかも谷の出口が緩斜面によって塞がれた状態になっている。北西側の谷の出口に病院が位置している。この谷に沿っては吉野台地上へ至る簡易舗装の道路が設置されているが、崩壊土砂によって一部は破損・流出している。また、道路と多少斜交しながら水路構造物が少なくとも標高100mまで設置されているが、これの一部も崩壊土砂によって破損している。

花倉地区の斜面を構成するのは黄褐色を呈する凝灰岩と凝灰質砂岩・シルト岩であり、上記の谷沿いや花倉病院のすぐ裏側(北西側)斜面などに露出している。これらは花倉層⁷⁾とよばれている地層であり、前述の国分層群とはほぼ同時代と考えるべきであろう。

病院の立地している緩斜面の構成物がどのようなものかは直接的には明かではないが、後述のように上記の谷中や谷壁斜面に溶結凝灰岩のブロックを多量に含んだルーズな角礫層があることから、緩斜面部もこれとほぼ同様の堆積物と推定される。崖錐堆積物中の溶結凝灰岩ブロックは斜面上部の急崖を構成している吉野火砕流堆積物^{7),8)}が崩落したものと推定される。この地区の崖錐堆積物は軽石を多量に含んでいる。

一方、谷の出口付近の西側谷壁には成層した軽石層がみられ、厚いところでは6-7mの厚さで堆積している。これは桜島火山誕生時の降下火山灰層である薩摩火山灰層とそのベースサージ堆積物と考えられる。ただし、ほとんど軽石のみからなるこの堆積物と上記の崖錐堆積物とは混じりあっているように見える。

図4に示すように花倉病院北西の谷では右枝沢の標高70から85mにやや規模の大きい崩壊が認められる。この水系には他にも小規模なものがみられるが、規模からみてこの部分が今回の主体と考えてよいであろう。

崩壊部の地形・地質断面図を図5に示す。崩壊面は25-30°の勾配で、崩壊面は幅10-15m、長さ15-20mの規模である。崩壊面には花倉層の凝灰岩と凝灰質砂岩・シルト岩が露出し、これには角礫の含まれている部分がある。層理面はいずれもほぼ水平である。崩壊面のまわりには花倉層を覆って厚さ2-3mの崖錐堆積物が認められる。両者の境界面は25°前後で今回の崩壊面にはほぼ一致している。換言すれば、今回の崩壊は花倉層とそれを覆う崖錐堆積物との境界部分で発生したことになる。

崩壊斜面上に残存している崖錐堆積物はルーズな砂よりなり、径0.5-2cmの軽石を非常に多く含みかつ直径0.5-3.0mの硬い溶結凝灰岩のブロックを多数含んでいる。溶結凝灰岩のブロックは崩壊土砂が土石流化した際、大きな破壊力をもたらしたに違いない。

軽石が多量に含まれていることから、この崖錐堆積物は透水性が著しく高いに違いなく、透水係数はおそらく 10^{-1} ないし 10^{-2} cm/sec前後と推定される。実際に崩壊斜面上部の崖錐堆積物からは常時多量の湧水があるのはこのことを物語っている。これに対して花倉層の凝灰質砂

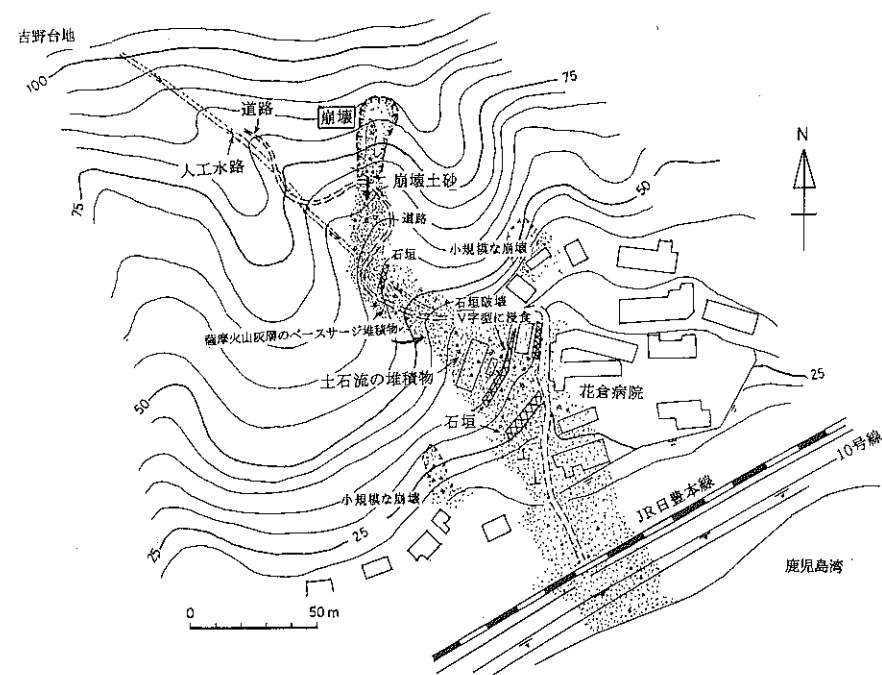


図4 花倉地区の地形概要と崩壊発生位置
崩壊は図中の標高75m付近で発生している

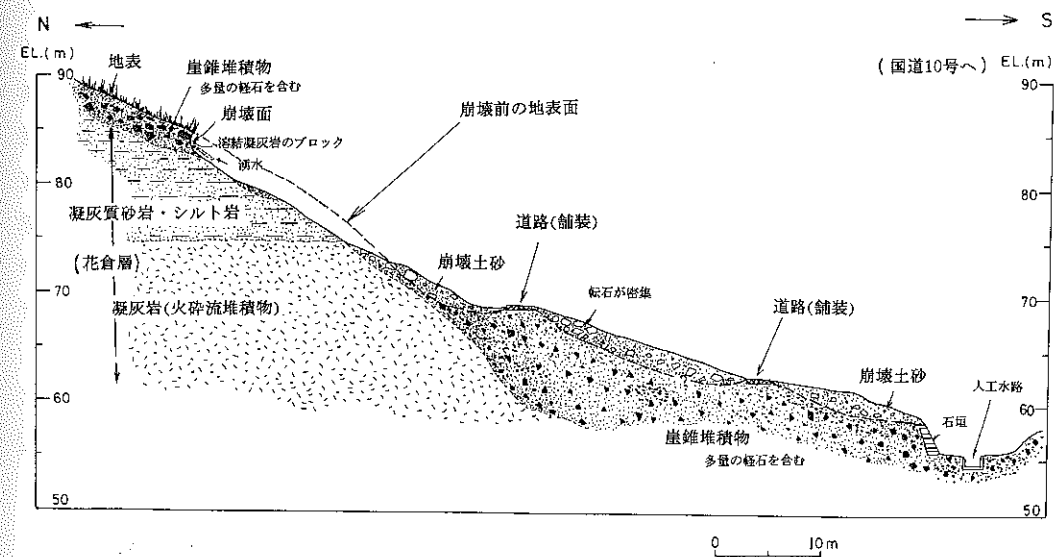


図5 花倉地区崩壊部の地形・地質断面図

岩・シルト岩は粒径から 10^{-4} ないし 10^{-5} cm/sec 前後と推定され、相対的に難透水性と考えられる。したがって、これら両者の透水性のコントラストが崩壊発生の素因の役割を演じているものと推定される。

なお、前述したようにベースサージ堆積物と厚い崖錐堆積物の一部はほとんど同時期に形成された可能性もあり、桜島火山の活動に伴ったベースサージや降下軽石によって植生が荒廃し、裸地化された斜面から多量の崖錐堆積物が生産されたとも考えられる。

2.3 多賀山の斜面崩壊

鹿児島市の鳥越トンネルより南西側の国道10号と鹿児島湾との間に位置する多賀山周辺斜面でも多数の崩壊が発生している。図6はそのうち比較的規模の大きい稲荷町の崩壊である。山稜部は狭いが、標高100-110mに定高性がみられる。高標高部はシラスによって構成されていることから、浸食の進んだシラス台地といえることができる。

崩壊斜面の周辺では標高50m付近を境にして下部(裾部)では比較的緩傾斜であり、上部では急傾斜となっている。標高50m前後では斜面の凹地形は明瞭であるが、それより高標高部になると凹地形は不明瞭となり、標高75m前後ではむしろ2つの凹地形に分かれている。崩壊頂部もこれに対応して2つに分かれている。

広域的にみると、多賀山山体の裾部には更新世の吉野火砕流堆積物の溶結凝灰岩が広く露出しており、高標高部を構成するシラスとの間には城山層(中期ないし後期更新世)とよばれるシルト、砂が挟まれている。城山層は鹿児島市の城山のほか当山地の東側や南側でも確認されている⁷⁾。

図7のA-A'、B-B'断面は上記の2つの崩壊頂部を通る地形・地質断面を示したものである。斜面の上半はシラス、下半は城山層のシルト・砂などよりなる。さらにこれの下位には暗灰色を呈する硬質の溶結凝灰岩(吉野火砕流堆積物)が存在する。

城山層は砂が優勢であり、基底にはわずかに円礫層が認められるものの貝化石を含むシルト層をも挟んでいる。シラスは標高60m付近より高標高部に限られている。ただし、シラスのうち標高75-80m付近には礫層が水平に連続しており、層相から亀割坂角礫層⁴⁾に相当すると考えられ、したがって荒牧⁴⁾の定義に基づけば、これを境として下位の部分が妻屋火砕流堆積物、上位の部分が入戸火砕流堆積物ということになる。A-A'断面では礫層の直下には白色軽石を多量に含む火砕流堆積物が存在し、これと上位のシラスの間には黒褐色の古土壌が存在する。崩壊斜面では下部は緩やかな勾配であるが、シラスより構成されている上部は比較的急になっており、たとえばA-A'断面では約45°、B-B'断面では60-70°となっている。斜面下部の緩斜面には崖錐堆積物が厚く覆っており、その一部は深く(最大約4m)洗掘されている。おそらく崩壊前からかなりの堆積物が存在していたと推定される。

崩壊はシラス斜面の2つに分かれた頂部から発生したと考えられ、崩壊土砂が斜面の下部に堆積していた崖錐堆積物や城山層の砂・シルトを浸食しながら巻き込んで流下したものと推定される。

崩壊した土砂は図6に示すように崩壊下部からさらに南西方向に100m近く流下している。崩壊したシラスの急斜面には斜面にほぼ平行したクラックが随所に認められる。クラックそのものが斜面に露出しているものや斜面内部に存在してそれらに沿って部分的に崩壊したものが

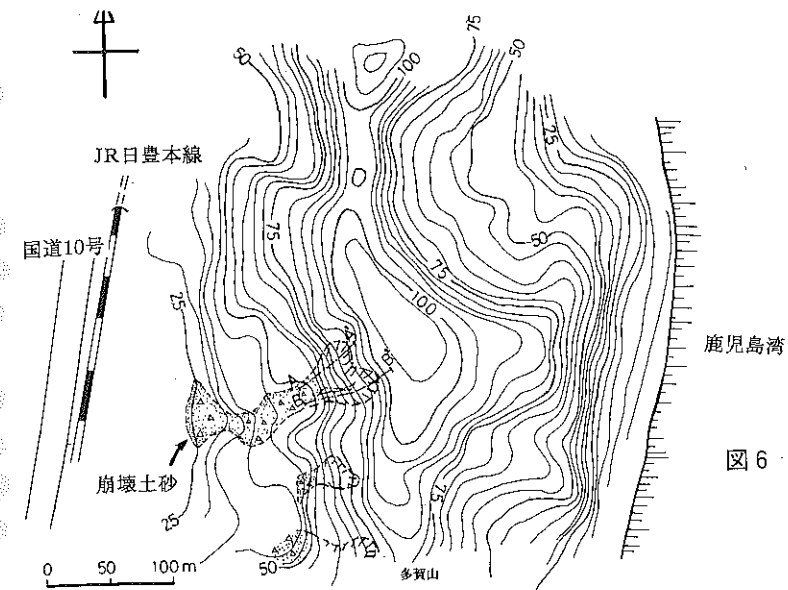


図6 多賀山の地形概要と崩壊位置

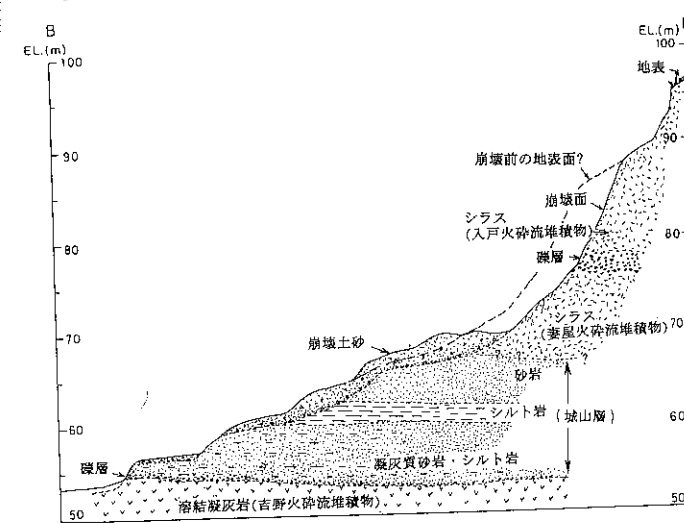
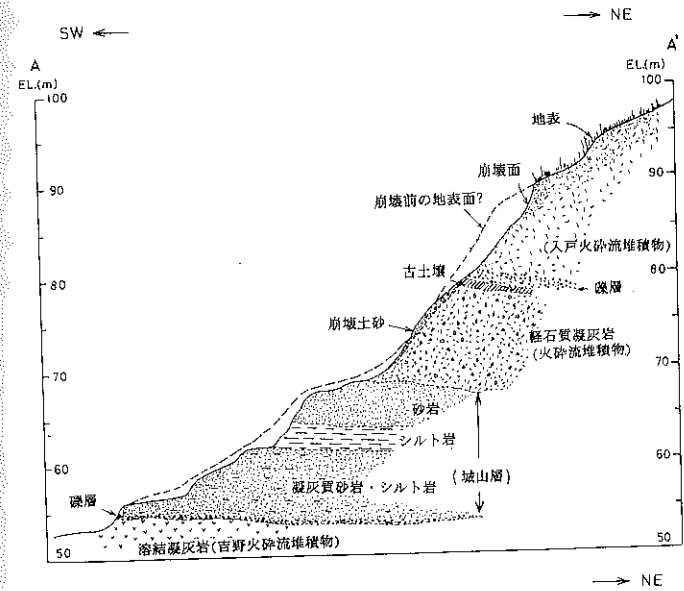


図7 多賀山崩壊部の地形・地質断面図
(上) A-A'断面
(下) B-B'断面

ある。したがって 崩壊は一種の剝離面であるクラックによって分離された部分が崩落するように落下またはすべったものと考えられる。

2.4 金峰町大坂扇山地区の斜面崩壊

金峰町大坂扇山地区は薩摩半島中央部のNNE-SSW方向に延びる山稜の北西側斜面に位置している。崩壊箇所を含めた周辺の地形概要を図8に示す。図中の2箇所の崩壊のうち、被害が大きかったのは北西側のものである。標高190-200m付近が崩壊の頂部である。標高125m付近より下方には緩斜面上に多数の人家が存在していた。

広域的にみれば、この付近の基盤は四万十層群の砂岩および砂岩優勢層よりなり、開析されたその谷部を第四紀の溶結凝灰岩(阿多火砕流堆積物)が埋めるように堆積している。ただし、崩壊斜面近くでは溶結凝灰岩は見られず、すでに剝離されてしまったものと考えられる。周辺での分布に基づけば、道路盤付近の標高がほぼこの火砕流堆積物溶結部の分布上面に相当すると考えられる。

崩壊部の全体形状のうち道路から上の部分を図9に示す。崩壊は標高125m付近の道路から上の部分で長さ約150mである。崩壊幅は25-35mで下部の道路盤付近では広く50m近くになっている。崩壊面上にはその上部を中心に四万十層群の風化した砂岩が部分的に露出している。また下部の道路盤付近ならびにそこから上方へ比高で約15mまでの間には風化して赤褐色を呈する特徴的な砂礫層が認められる。この砂礫層は層序的には阿多火砕流堆積物の下位に位置するものと考えられる。なお、この道路盤から下方は河床まで比高は約40mであるが、この間には四万十層群は全く現れず、崩壊土砂以外はかつての斜面堆積物(崖錐堆積物)と段丘化したシラスの2次堆積物などである。

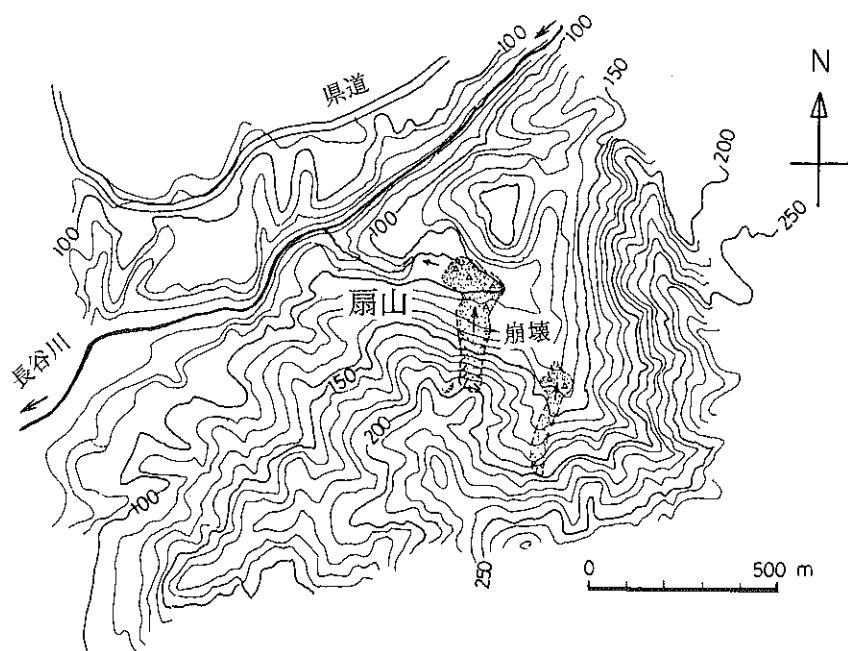


図8 金峰町大坂扇山地区の地形概要と斜面崩壊

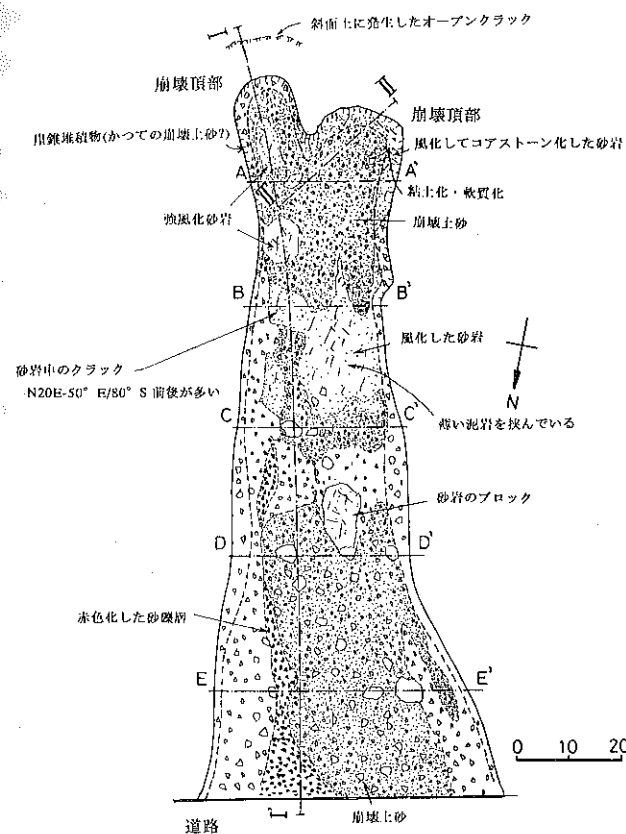


図9 扇山地区 崩壊部の形状

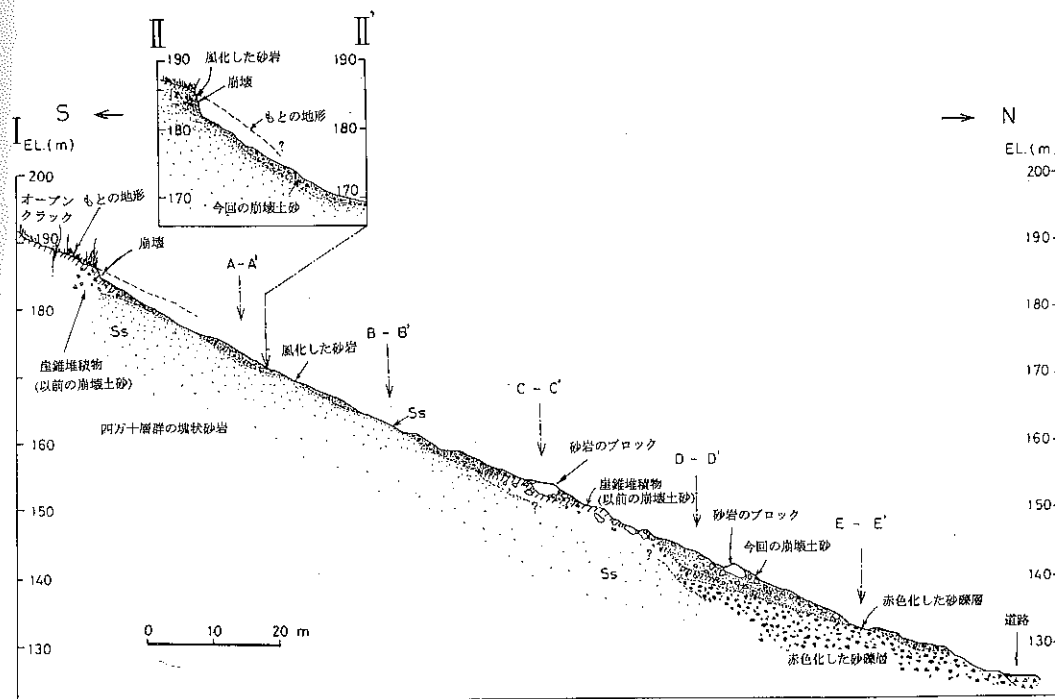


図10 扇山地区崩壊部の地形・地質断面図(縦断方向)
I-I'、II-II'の断面位置はそれぞれ図9参照

崩壊斜面の下部では中央部の幅20-25mが今回の崩壊土砂で埋められているものの、両側には以前の斜面堆積物(崖錐堆積物)が露出している。崩壊斜面中腹の標高150m付近にも今回の崩壊以前の旧表土がわずかに確認できる。

崩壊頂部は図9のように2つに分かれており、いずれも3-4mの比高をもった急崖となっている。ただし、左側(東側)の頂部の崖は砂岩の角礫を含んだ斜面堆積物(崖錐堆積物)よりなるが、右側(西側)のものには風化した四万十層群の砂岩が現れている。

斜面上に現れている砂岩は塊状であるが、わずかに泥岩(頁岩)をはさんでいるところがある。層理面の走向・傾斜はNNE-SSWで東側に急傾斜しているようである。砂岩中のクラックにもこれと同方向のものが多い。

図10は崩壊部の地形・地質状態を縦断面として示したものである。斜面の勾配は比較的緩く、道路盤近くでは22-24°、標高の高い部分では25-28°で、全体として一定している。

2つの崩壊頂部のうち左側の崖は崖錐堆積物よりなり(図10のI-I'断面)、その下方の崩壊斜面上で風化砂岩がわずかに露出していることから、ここで崩壊したのは砂岩上を覆っていた崖錐堆積物と考えられる。一方、右側の崖には崖錐堆積物がほとんど現れず、風化砂岩よりなることから(図10のII-II'断面)、崖錐堆積物は当初から極めて薄く、砂岩でも風化の著しい表層部が崩壊したと考えられる。ここでの砂岩の岩盤は多数のクラックによって分離され、しかもそれらの中央部は丸く新鮮なコアストーンになっている。コア部分は硬質であっても岩盤としての強度は弱いものであったようである。砂岩中には粘土化して著しく軟質になっているところもある。崩壊は段階的に進行し、左側の崩壊が発生した後に右側の崩壊が発生したことが指摘されているが⁹⁾、上記の状態もこのことを示唆している。

崩壊土砂は道路盤の下方に散在して一部は河床にまで達していることから、多量の水を含み流動性の高い状態であったと推定される。コアストーンには直径数10cmのものが多く、なかには径2-3mに達するブロックも含まれている。これらは崩壊・流動するなかで大きな破壊力になったのであろう。

なお、崩壊頂部の上方8-9mの地表には10cm程度の段差をもったオープンクラック(亀裂)が確認された。これと同様のものは周辺にいくつか存在するようである。これらは今回の崩壊の発生後に上部斜面が不安定化してクリープした結果と考えられる。したがって、少なくともこれらのクラック(亀裂)直下の表層ブロックは現段階でもかなり不安定な状態にあると考えられる。

2.5 その他の例

一連の豪雨で生じた崩壊の分布は県内各地の広範囲に及んでおり、ここで述べたのはごく一部の例にすぎない。シラス斜面の崩壊に関しては上記の多賀山の例以外にも吉田町から始良町を中心に各地で頻発している。鹿児島県本土における広いシラス台地の面積を考えれば量的には多いが、規模は比較的小さいようである。

シラス斜面崩壊の大半はもともと急斜面であったところが崩壊したものである。ただし、崩壊した急斜面上にも立木が残存しているところがあることから比較的表層のものと考えられる。

花倉地区とほとんど同時期の8月6日夕方に発生した竜ヶ水地区の崩壊・土石流については大

田他¹⁰⁾がすでに概報している。

日吉町毘沙門地区で9月20日に起こった斜面崩壊はほぼ花崗岩よりなる山体の一部である(図11)。すぐ東の矢筈岳から西方に張り出した尾根があり、間に地形的鞍部がある。崩壊はこの尾根の北西斜面の標高110-120m前後で発生している。

崩壊面は切り立っており、崩壊面には風化した花崗岩が露出している。全体としてマサ状化し、一部にはブロック状のところもある。ここに現れた花崗岩は向江山花崗岩類¹¹⁾とよばれている岩体の一部で、著しい風化は熱変質の影響が大きいと推定される。崩壊当初は著しい湧水があった。崩壊面は全体としては断面的にも平面的にも円弧状に近いものと考えられる。崩壊後、崩壊面の周辺上部斜面に崩壊面と平行したオープンクラック(亀裂)が多数発生していることが確認された。これらは最大2m前後の段差を伴っており、最奥のものは上記の山体の頂部近くにまで達している。当初は地すべりの可能性が指摘されたが、斜面上部のクラック変位は崩壊発生後比較的短期間で収束したことから、大規模な崩壊に伴う周辺表層部のクリープと考えられる。

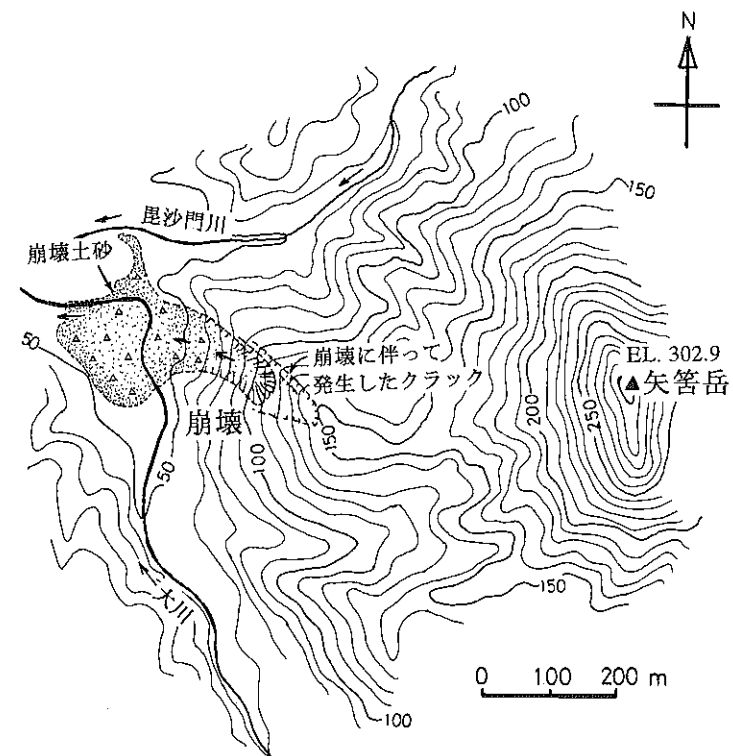


図11 日吉町 毘沙門地区の地形概要と斜面位置

3. 斜面崩壊の様式と機構

3.1 崩壊の様式

以上の調査資料をもとに今回の斜面崩壊の様式を考えると図12のようにいくつかのタイプに分けることができる。桜島サービスエリア北側のようなキャップロック構造のものでは透水性にコントラストのある岩石・地層が共存していることが原因となり、崩壊はそれらの境界から進行したと考えられる(図12(a))。国分層群のような堆積岩中に火山岩が挟まれているところ

は鹿児島県下では少なくなく、この種の様式は他にも多いであろう。国分市周辺での溶結凝灰岩の崩壊などもこれに近いものかも知れない。

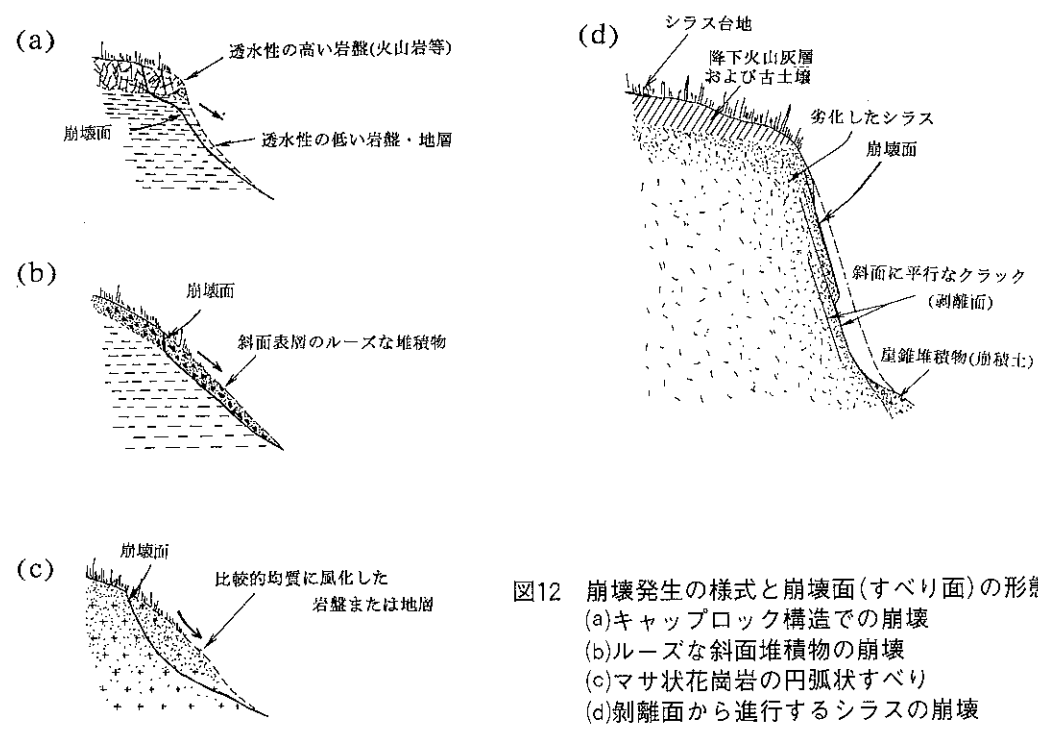


図12 崩壊発生の様式と崩壊面(すべり面)の形態
 (a)キャップロック構造での崩壊
 (b)ルーズな斜面堆積物の崩壊
 (c)マサ状花崗岩の円弧状すべり
 (d)剝離面から進行するシラスの崩壊

表1 考え得る斜面崩壊の地形・地質的素因

<p>1. 急傾斜斜面の拡がり</p> <p>(1) 火山活動を含む活発な地殻変動 (隆起・沈降)</p> <p>(2) 大きな浸食・剝離速度</p> <p>(3) 斜面構成物に特有の被浸食性 (溶結凝灰岩に特有な急斜面)</p>
<p>2. 斜面上の厚い表層堆積物</p> <p>(1) 急速な岩盤の風化・劣化と土砂生産</p> <p>(2) 特異な第四紀の地形・地質発達史に関連した岩盤劣化と土砂生産</p> <ul style="list-style-type: none"> ・火砕流堆積物による河谷の埋積と浸食 ・火山活動に伴う植生の急変・裸地化
<p>3. 力学的に多様な岩石・岩盤の混在</p> <p>(1) 多様な岩石種の分布 (堆積岩と火山岩の混在)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・新第三紀以降の活発な火山活動 ・小規模な堆積盆地 <p>(2) 多様な透水性をもった岩石・岩盤の組み合わせ</p> <p>(3) 多様な強度をもった岩石・岩盤の組み合わせ</p>

花倉地区や金峰町扇山地区の崩壊は基本的には斜面表層にあった斜面堆積物(崖錐堆積物)がそれ以下の岩盤との間に著しい透水性・強度のコントラストをもつことを原因として崩壊したものと考えられる(図12(b))。この場合、崩壊面は比較的平滑で勾配が一定なのが特徴である。扇山地区で斜面堆積物に加えて四万十層群の風化砂岩が崩壊しているのは、岩盤であっても風化した表層は力学的・物性的という点では斜面堆積物に近い状態であったためと考えられる。花倉地域では崖錐堆積物のなかに降下軽石が多量に含まれていることが特徴であったが、こうした“ボラ”の崩壊はこれまでも指摘されており^{12),13)}、桜島を取り囲む鹿児島湾周辺地域では共通の素因であろう。

一般に力学的に均質な砂層や砂礫層、風化岩盤では円弧状のすべりを起こすことが多い(図12(c))。ここで取り上げたものではわずかに日吉町毘沙門の風化花崗岩のものがこれに近い様式と考えられる。ただし、道路や鉄道に関連した人工の切土・盛土法面の崩壊などではこういったタイプのものが多いであろう。

3.2 シラスの崩壊

自然斜面・人工斜面を問わず各地のシラスよりなる急斜面では多くの崩壊が起こっている。ある程度硬質なシラスの場合、急斜面での崩壊様式は図12(d)のようなものと考えられる。すなわち、急斜面にはほぼ平行な剝離面が形成されていて、その面に沿って崩壊もしくは崩落していくタイプである。

シラス斜面の崩壊については古くから多くの研究がなされている^{14)~17)}。また、シラス斜面崩壊の周期性についても表面で軟質な土層が徐々に形成され、ある程度の厚みに達すると崩壊にいたるという考え方¹⁸⁾が一般的であろう。ただし、今回のものでは単に土層化したものだけでなく、ある程度硬質の部分も剝落したようである。

4. 鹿児島豪雨災害における斜面崩壊の地形・地質的素因

4.1 崩壊発生の素因と誘因

次に、今回の豪雨による崩壊の原因について考えてみる。一般に斜面崩壊はその斜面が本来有していた素因になんらかの誘因が加わることによって発生するという考え方が理解しやすい。今回の場合の誘因はまれにみる降雨と考えるとよいであろう。もちろん、その場合の降雨も崩壊直前の10分間雨量をとるか1時間雨量をとるか、あるいは2カ月にも及ぶ長雨をとるかで評価は分かれるし、日吉町毘沙門地区の崩壊のように降雨時期と大きなタイムラグのあるものもある。

一方、素因については広範な地域の様々なものをグルーピングすることは困難かも知れないが、ここで述べた例を中心に崩壊発生の地形・地質的原因(素因)ないしはそれらの共通因子等について考察してみると、崩壊をもたらした地形・地質的素因として表1のようなものが考えられる。すなわち、(i)急傾斜の斜面が多いこと、(ii)斜面上の表層堆積物が厚いこと、そして(iii)力学的にみて多様な岩石・岩盤が混在していることなどである。それぞれについて以下に考察する。

4.2 急斜面の存在

崩壊は鹿児島県下でも当然ながら急斜面で発生している。このような急傾斜の自然斜面の形

成は一般論として地殻変動の激しさ、浸食の激しさに遠因を求めることができる。それらはわが国の他地域についてもいえ、地形的に急峻な島弧の基本的な性格でもある。浸食の激しさは急斜面が多いことの原因でもあるとともに結果でもあるが、それには年間を通じての降雨等の気象条件も関係しているであろう。しかし、本地域に急斜面が多いことについては斜面を構成する岩石・岩盤にも原因が考えられる。たとえば、シラスなどの火砕流堆積物の存在が急斜面の存在と結び付いている可能性もある。

火砕流堆積物、なかでも溶結凝灰岩は一般に急傾斜の斜面を構成することが多い。これは溶結凝灰岩よりなる斜面では円弧すべり的な崩壊はほとんど起こらず、急斜面がそのまま後退するような様式で崩壊・浸食が進行して、その結果、時間が経過しても常に急斜面として残るためである。鹿児島県下では弱溶結のシラスも含めてこのような岩石が広大な面積を占めているから、これに対するかたちで急斜面が存在するといえる。

溶結凝灰岩がなぜこのような性質をもっているかは、それを構成する個々の粒子間が多少溶結していることによって引張強度を有するためと考えられている。その具体的な機構については火山ガラスのインターロッキング効果を強調する説¹⁹⁾や化学的結合を強調する説¹⁷⁾などがある。

4.3 厚い表層堆積物

一般に斜面上には広域の地質図で表されるような岩石・地層が直接現れることは少なく、それらは通常表層の堆積物によって覆われている。その場合の表層堆積物はそこでの岩石・地層が風化して生産されたものと斜面上部から崩壊して堆積したものがあがるが、一般には両者の識別は困難である。鹿児島県下ではこういった表層の堆積物が概して厚く、降下火山灰層とまじりあっているものも少なくない。

表層堆積物の厚さは降下火山灰層による材料の付加も大きい、これに加えて周辺の岩石・岩盤で土砂の生産速度が速いということも考えられる。これには一般論としての南九州という気候条件とともにこの地域の第四紀地史のかかわりも指摘できる。具体的には火砕流堆積物による谷の埋積と浸食の繰り返し、あるいは火山活動に伴う植生の急変・裸地化である。

前者は、たとえば四万十層群のような硬岩よりなる地域でも火砕流堆積物によって一度埋積された後、再び浸食されたところが多く、このような地域では谷が急峻であっても過去に風化を受けたであろうから、岩盤状態はそれほどよくない。そして、このことが斜面堆積物を生産しやすくする原因となりうる。

後者は、第四紀の完新世に限っても桜島火山は約11,000年前から活動をつづけ、鹿児島湾の周辺地域には薩摩火山灰層等を堆積させているし、また約6,300年前の鬼界カルデラからのアカホヤ火山灰層が南九州の広範囲に堆積している。これらによって一時的にせよ植生が破壊され、それに伴って多量の土砂が斜面上で生産された可能性がある。

斜面上の降下軽石、いわゆるボラの存在が斜面堆積物を極めて不安定なものにしており、それが斜面崩壊で重要な役割を演じていることはすでに指摘されている^{12), 13)}。

4.4 力学的に多様な岩石・岩盤の混在

当地域では堆積岩類と火山岩類が混在していることが多く、その結果、透水性や強度に関して多様な性質をもった岩石・岩盤の組み合わせが作られている。キャップロック構造などもこの

ような組合せの一部である。

鹿児島地域に多様な岩石種が分布している理由としては、少なくとも新第三紀以降活発な火山活動の継続していた地域であること、それを反映して小規模な堆積盆地しか形成されえなかったこと等が考えられる。

5. おわりに

1993年鹿児島豪雨によって発生した斜面崩壊は必ずしもシラス斜面だけではない。ここで取り扱った例は県下で発生した崩壊のごく一部にすぎないが、この地域の様々な地形・地質条件が多様な崩壊形態と機構をもたらししているとみることもできる。

今回の斜面災害では崩壊土砂が土石流化して被害を大きくしたのも少なくないし、地すべりが新たに発生したり再活動はじめたものも知られている。今後総合的な災害対策を考えていくには個々の地域での地形・地質条件をこれら多様な災害形態と対応させて理解しておく必要がある。

謝 辞

個々の斜面における崩壊の形態については国際航空写真(株)の斜め写真を参考にさせていただいた。また、現地調査に際しては鹿児島大学理学部学生の皆さんに協力をいただいた。記して謝意を表します。

文 献

- 1) 鹿児島県地質図編集委員会(1990): 1/10万鹿児島県地質図および同解説書, 鹿児島県
- 2) 長谷義隆・壇原 徹(1985): 南部九州後期新生代火山岩の放射年代, 地球科学, 39, 136-155.
- 3) 大塚裕之・西井上剛資(1980): 鹿児島湾北部海岸の地質, 鹿児島大学理学部紀要(地学・生物学), no.13, 35-76.
- 4) 荒牧重雄(1969): 鹿児島県国分地域の地質と火砕流堆積物, 地質学雑誌, 75, 337-349
- 5) 岩松 暉・福富安雄・郡山 栄(1989): シラスの応用地質学的諸問題, 地学雑誌, 98, 379-400.
- 6) 村山雅史・松本英二・中村俊夫・岡村 真・安田尚登・平 朝彦(1993): 四国沖ピストンコア試料を用いたAT火山灰の噴出年代の再検討—タンデム加速質量分析計による浮遊性有孔虫の¹⁴C年代—, 地質学雑誌, 99, 787-798.
- 7) 大木公彦・早坂祥三(1971): 鹿児島市北部地域における第四系の層序, 鹿児島大学理学部紀要(地学・生物学), no.3, 67-92.
- 8) 大田良平(1967): 加治木地域の地質, 地質調査所, 13pp.
- 9) 下川悦郎・地頭 隆・松本舞恵・三浦郁人・加藤昭一(1994) 1993年豪雨による鹿児島県下の土砂災害, 1993年鹿児島豪雨災害の総合的調査研究報告書, 47-59, 1993年豪雨災害鹿児島大学調査研究会
- 10) 太田岳洋・大島洋志・大保正夫(1993): 1993年8月の鹿児島市竜ヶ水地区における土石流

および斜面崩壊について. 応用地質, 34, 245-252

- 11) 大庭 昇(1967): 西南日本外帯型花崗岩質岩類. 柴田秀賢編, 日本岩石誌, 2, 深成岩(2), 花崗岩類, 342-361, 朝倉書店.
- 12) 岩松 暉(1976): シラス崩災の一形式 -1976年6月梅雨前線豪雨による鹿児島市紫原台地周縁部の崖崩れについて-. 鹿児島大学理学部紀要(地学・生物学), no.9, 87-100.
- 13) 小林哲夫・岩松 暉・露木利貞(1977): 始良カルデラ壁の火山地質と山くずれ災害. 鹿児島大学理学部紀要(地学・生物学), no.10, 53-73.
- 14) 遠藤 尚(1973): シラス台地における谷頭部大崩壊地の地質学的背景. 第12回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, 261-262.
- 15) 福富幹男・田矢盛之・真鍋弘道(1969): シラス地帯における自然斜面の崩壊と形態. 一とくに昭和44年6月梅雨前線豪雨による災害を視察して-. 応用地質, 10, 1-10.
- 16) 藤本 廣(1975): シラスの浸食とパイピング現象の問題点. 土と基礎, 23, 41-48.
- 17) 上田通夫(1984): シラスの力学的性状の解明と防災技術の研究. 上田通夫先生退官記念事業会, 302pp.
- 18) 下川悦郎・地頭蘭 隆・中村淳子(1987): シラス急斜面における崖くずれの周期性と発生位置の予知. 文部省自然災害特別研究突発災害研究成果. B-61-1, 69-81.
- 19) 春山元寿・山内豊聡(1967): 土粒子のインターロッキングを考慮した"シラス"層の 直立斜面の安定について. 九州大学工学部集報, 40, 370-378.

1993年豪雨による鹿児島県下の土砂災害

鹿児島大学農学部 下川悦郎
地頭蘭 隆
松本舞恵
三浦郁人
加藤昭一

1. はじめに

1993年は梅雨に入ってから台風13号が上陸した9月3日までの間、鹿児島県は幾度となく豪雨に見舞われた。その間の雨量は年間の降水量を上回る多量のものである。これによって県内のあちこちで災害が発生し、合わせて120人(不明者も加えると121人)という多数の尊い人命が犠牲になった。

鹿児島県では、豪雨・台風災害は被害が軽度なものを含めるとほぼ毎年発生しているが、今回ほど大きな被害を受けたのは戦後では1949(昭和24)年と1951(同26)年の災害以来である。

ここでは、土砂災害の概要について報告する。

2. 一連の災害の経過

犠牲者を伴う最初の災害は6月26日に始良町で発生した。崖崩れによって家が押しつぶされ、老人1人が亡くなった。

次いで発生した7月7日の災害では、山川町で2人、顛娃町、鹿児島市、末吉町、大隅町、松山町でそれぞれ1人の、合わせて7人がいずれも崖崩れで亡くなった。

7月31日から8月2日にかけて、県の中中部地域では総雨量500mm以上の激しい雨に見舞われた。この豪雨で霧島町、国分市、隼人町、吉田町などを中心にして山崖崩れや土石流が発生し、23人という多くの人命が犠牲になった。犠牲者の内訳は、国分市で7人、隼人町で6人、霧島町と吉田町でそれぞれ4人、その他の町で2人となっている。

この災害から間もない8月6日、鹿児島市の北部から郡山町にかけての地域が総雨量300mm以上の激しい豪雨に襲われた。この雨で山崖崩れ・土石流による土砂災害が発生したのに加え、甲突川、稲荷川が氾濫し、鹿児島市街地の広い範囲が浸水した。この災害による犠牲者は48人(不明者も加えると49人)にもなり、住宅の損壊・浸水は1万戸以上にのぼった。被害が最も集中したのは鹿児島市吉野町花倉・竜ヶ水地区で、山崩れ・土石流で19人が亡くなった。災害が発生したのは夕方、同地区では住民や帰宅途中の勤労者、旅行中の人など約1800人がJR九州竜ヶ水駅や国道10号線内に閉じこめられ、一時は最悪の事態発生かと懸念されたが、幸い大多数の人は海と陸から救出された。

この災害に追い打ちをかけたのが8月10日の台風7号で、これにより垂水市二川では山崩れ・土石流が発生し、5人が犠牲になった。この台風災害から1月も経たない9月3日、鹿児島地方は戦後最大級といわれた台風13号の直撃を受けた。この豪雨で金峰町と川辺町では山崩れ・土石流が発生し、合わせて29人という多数の人の命が奪われた。さらに日吉町で9月20日

夕大規模な崩壊が発生し、2人が死亡した。雨がほとんど降っていない時の出来事であった。

3. 人的被害状況

表1は、今回の一連の災害による人的被害の原因を一覧にしたものである。死者、不明者合わせて121名のうち、その大部分の117名は山・崖崩れや土石流、鉄砲水による土砂災害の犠牲者である。河川の増水による死者、不明者は4名である。このほかけが人も多数でた。

表2は死者・不明者の年齢構成である。犠牲者の年齢は、いわゆる災害弱者である高齢者(60歳以上)と10歳未満の子供が約60%を占めるが、青年、壮年者も多数含まれている。

表1 1993年豪雨災害による死者・不明者数

月・日	場所	死者(人)	不明者(人)	原因
6・26	始良町	1		山・崖崩れ
	鹿児島市	1		河川の増水
7・05	佐多町	1		山・崖崩れ
7・07	山川町	2		山・崖崩れ
	額娃町	1		山・崖崩れ
	鹿児島市	1		山・崖崩れ
	末吉町	1		山・崖崩れ
	松山町	1		山・崖崩れ
	大隅町	1		山・崖崩れ
	国分市	7		山・崖崩れ
8・01 ~02	隼人町	6		山・崖崩れ
	霧島町	4		山・崖崩れ
	吉田町	4		山・崖崩れ・鉄砲水
	始良町	1		山・崖崩れ
	薩摩町	1		山・崖崩れ
8・06	鹿児島市	46	1	山・崖崩れ・土石流・洪水 (うち洪水による死者・不明者は3人)
	伊集院	1		山・崖崩れ
	吉田町	1		山・崖崩れ
8・10	垂水市	5		土石流
9・03	金峰町	21		山・崖崩れ
	川辺町	9		鉄砲水
	大口市	1		川の増水
	垂水市	1		山・崖崩れ
9・20	知覧町	1		山・崖崩れ
	日吉町	2		山・崖崩れ
合計		121	1	

表2 死者・不明者(121人)の年齢構成

年齢(年)	人数	頻度(%)	累加頻度(%)
01-09	6	5	5
10-19	8	6	11
20-29	1	1	12
30-39	12	10	22
40-49	6	5	27
50-59	20	16	43
60-69	27	22	65
70-79	28	23	88
80-89	13	11	99
90-99	1	1	100

4. 降雨の概況

5月17日(発表では5月21日)に梅雨入りした九州南部地方は、6月から9月にかけて長雨、幾度の集中豪雨、相次ぐ台風の襲来により記録的な大雨となった。7月9日に梅雨明けが発表されたが、その後も梅雨状態が続く結果となり、鹿児島地方気象台は「7月9日の梅雨明け」を「梅雨明けははっきりしない」と修正した。

鹿児島地方気象台における1993年の年降雨量は4022mmに達し、平年の181%であった。この年降雨量は1905(明治38)年に記録した最多年降雨量(3550.6mm)を上回り記録を更新した。月降雨量では、4、5、10、11月を除く他月は平年値を上回り、特に7月の月降雨量は1054.5mmを記録し、7月の最多だった1901(明治34)年の記録(980.5mm)を更新、最多月降雨量の1915(大正4)年6月の記録(994mm)をも上回った。そのほか、県内各地で雨量に関する多くの記録が更新された。

図1は、鹿児島県内の気象台の各観測所のデータを用いて、ほぼ平年的な降雨量であった1992年の年降雨量と1993年の年降雨量の等雨量線図を作成したものである。鹿児島県の年降雨量の平年値は平野部で2000~2500mm程度、山沿いで2500mm以上であるが、1993年は県本土のほとんどの地点で3500mmを超えている。特に、8月1~2日および8月6日に集中豪雨を受けた県中部から鹿児島市北部にかけては5000mm以上となっている。

以下、8月から9月にかけての集中豪雨や台風により大きな災害が発生した降雨特性について概説する。

4.1 7月31日~8月2日の降雨

図2は、鹿児島県内の気象台の各観測所、各市町村役所および鹿児島大学の観測所の雨量データを用いて作成した7月31日~8月2日の総降雨量および最大時間雨量の等雨量線図である。大きな災害が発生した県中部地域の吉田町、始良町、加治木町、溝辺町、隼人町、国分市、霧島町では総雨量が600mmを超え、最大時間雨量も70mm以上となっている。溝辺町の鹿児島航空測候所では1日17時前後に104mm/hr(県内での観測史上第3位)を記録し、鹿児島県では1時間85mm以上の場合に適用される「記録的短時間大雨情報」が出された。

4.2 8月5~6日の降雨

図3は、上記と同様のデータを用いて作成した8月5~6日の総降雨量および最大時間雨量の等雨量線図である。鹿児島市の北部地域から郡山町にかけては総雨量が300mmを超え、最大時間雨量も50mmを超えている。鹿児島市では6日18:30~19:30に63.5mmを記録し、日雨量も259.5mmに達した。一方、今回の豪雨により鹿児島市内で氾濫を起こした甲突川の支川川田川の最上流に位置する郡山町厚地量水試験地では6日16:50~17:50に101mmを記録している。

4.3 8月9~10日の台風7号に伴う降雨

大型で非常に強い台風7号は9日夕方から10日朝にかけて鹿児島県を暴風雨に巻き込み、九州西海上を北上した。台風による雨は大隅半島を中心に降り、特に山崩れにより死者5名が発生した垂水市二川付近一帯では総雨量が300mmを超えている(図4)。垂水市の鹿児島大学高隈演習林の雨量観測所では9日21:10~22:10に50.5mmを記録している。

4.4 9月2~3日の台風13号に伴う降雨

戦後最大級といわれた大型で非常に強い台風13号は、3日16時前薩摩半島南部に上陸し、県

本土を縦断するコースをとった。上陸時の台風の中心気圧は930hPaで、日本に上陸した台風では3番目に低い記録となった。台風による雨は薩摩半島を中心に降り、山崩れにより合計31名の死者が発生した金峰町、川辺町付近一帯では総雨量が300mmを超えている(図5)。3日夕方には知覧町町里で1時間に116mm、枕崎市で92mmの強雨を記録し、鹿児島県で本年2度目の「記録的短時間大雨情報」が出された。

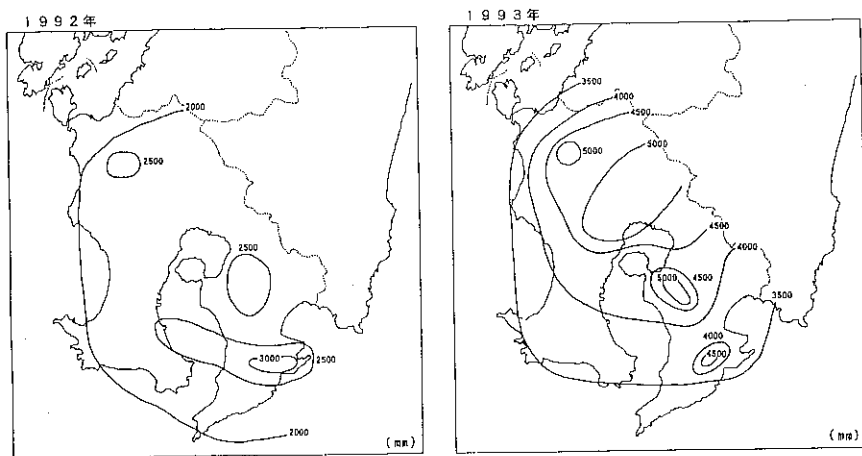


図1 年降雨量の等雨量線図

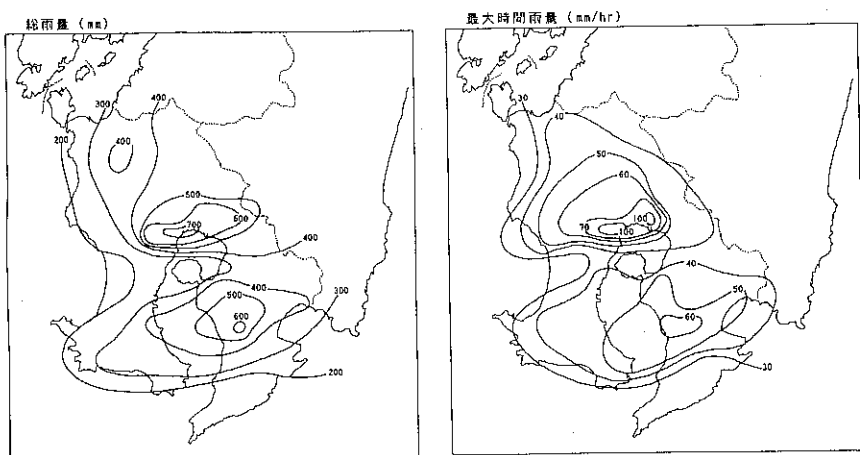


図2 1993年7月31日～8月2日の等雨量線図

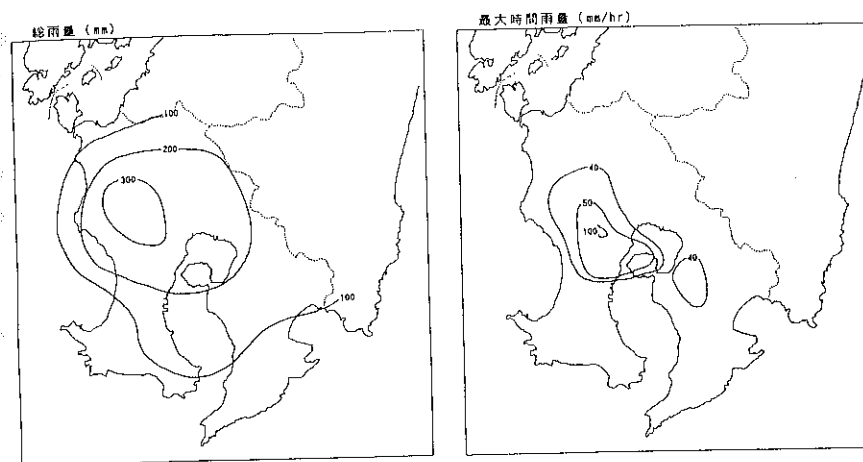


図3 1993年8月5～6日の等雨量線図

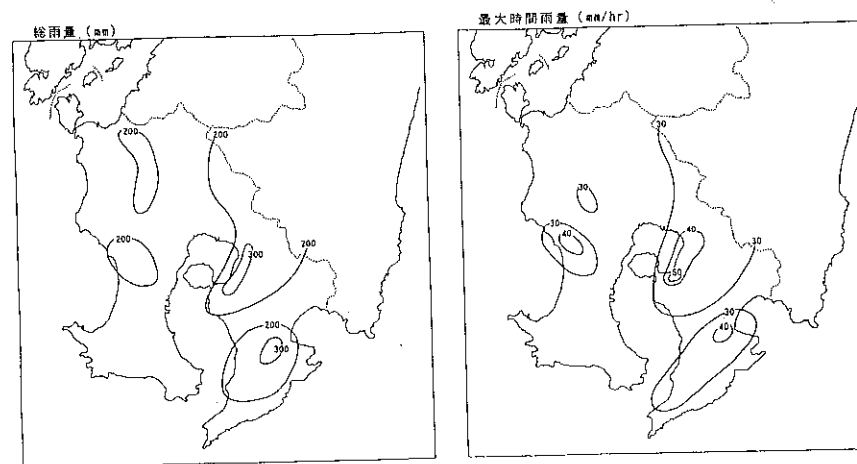


図4 1993年8月9～10日(台風7号)の等雨量線図

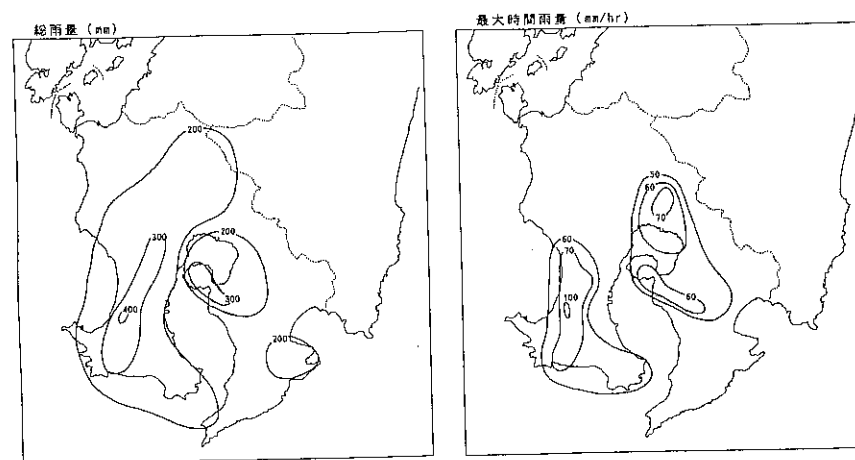


図5 1993年9月2～3日(台風13号)の等雨量線図

5. 代表的な土砂災害の例

5.1. 始良郡隼人町松永 (図6)

この災害は8月1日17時40分頃発生した。激しい雨のなかで避難寸前にあったとされる家族5人が斜面崩壊で犠牲になった。崩壊が起きた斜面は天降川水系霧島川の右岸側壁であり、その上部は切り立った崖を呈している。斜面の地質は下位から国分層群、溶結凝灰岩(加久藤火砕流堆積物)およびシラスからなる。斜面中腹部以下は国分層群を崖錐堆積物が覆い、35度前後の比較的緩い傾斜をなす。国分層群は、水中に堆積した火砕流堆積物を含むシルト・砂層を主とする堆積層で、不透水層の役割を果たしている。豪雨時には、この堆積層とその上位の溶結凝灰岩の境界面からの湧出水に崖錐斜面からの多量の浸透水が加わり、崖錐堆積物の崩壊を誘発したものと考えられる。平均崩壊深は2m以上と比較的大きい。こうした排水の良い土層が壊れるには大きな浸透水圧が作用したと考えなければ説明がつかない。短期間の雨量に加えて、梅雨時から当日までの大量の雨が絡んで発生したものであろう。なお斜面の最上部を占めるシラス斜面では表層崩壊が多く発生しており、今回崩れた斜面の上部にも数年前の比較的新しい崩壊跡地がみられる。

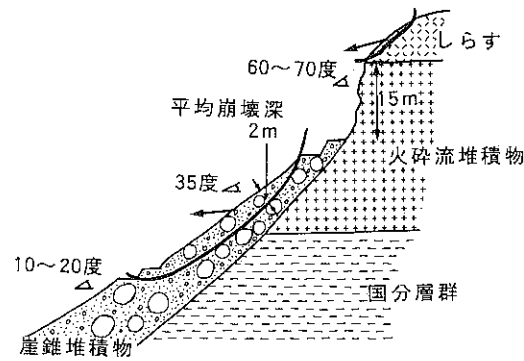


図6 松永における斜面崩壊発生の様式図

5.2 始良郡霧島町大窪 (図7)

崩壊が起きた斜面は霧島川支川狩川上流の右岸斜面である。崩壊は8月1日19時頃から始まり10~15分間隔で4回崩壊し、4回目の崩壊で崖から約30m離れた住宅が押しつぶされ、隣家から避難してきた1人を含む3名が犠牲となった。崩壊斜面は38~40度の傾斜をなし、基盤地質はシラスであり、かなり風化している。シラス層の上には火山灰・軽石層が1~2m堆積し、シラス層と火山灰・軽石層の境界からは湧水の跡がみられた。崩壊はシラス層と火山灰・軽石層の境にして、火山灰・軽石層が滑り落ちたものである。住民の話によると、今回崩壊した斜面の中下部の一部は約50年前にも崩壊しており、崩壊斜面の端には旧滑落崖が観察された。今回の崩壊は前回のさらに上部から発生したことになる。

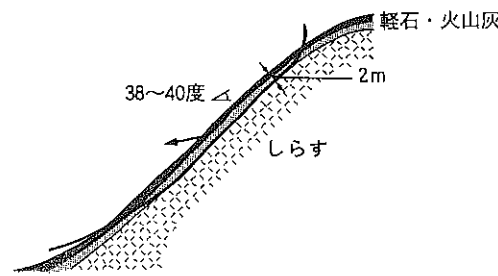


図7 大窪における斜面崩壊発生の様式図

5.3 国分市名波町 (図8)

この現場では同じ斜面で崩壊が3回発生したといわれている。最初の崩壊は8月1日21時10分頃発生した。これによって家が押しつぶされ、2人が犠牲になった。崩壊はさらに翌2日の2時前と5時にも起きた。斜面は鹿児島湾に面する旧海食崖であり、全体として急傾斜をなす。

斜面の地質は下位から安山岩、降下軽石層、火砕流堆積物およびシラスからなる。斜面中腹部は安山岩の風化層を崖錐堆積物が覆い、35度前後の傾斜を成す。斜面中腹部は新鮮な安山岩から構成される。斜面中腹部の降下軽石層からは湧水があり、崖錐堆積物が安山岩の風化層を境にして滑り落ちたものである。脚部が不安定になったことによって、安山岩の上位の降下軽石層の斜面もその後小規模に崩壊した。この斜面でも、隼人町松永と同様、長雨による多量の湧水が斜面の崩壊に大きく寄与している。

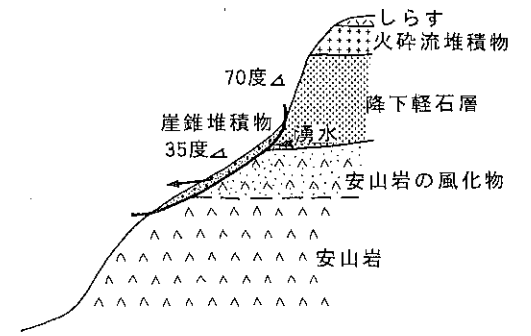


図8 名波町における斜面崩壊発生の様式図

5.4 国分市川内 (図9)

国分市名波町から南東約2kmの川内では8月1日夕から2日朝にかけて多数の崩壊・土石流が発生し、3名が犠牲となった。図9は検校川下流の左岸側で発生した斜面崩壊の様式図である。斜面の地質は下位から砂岩、凝灰岩、安山岩およびシラスからなる。斜面中腹部から下部は崖錐堆積物に覆われ、崩壊はこの崖錐堆積物が凝灰岩を境にして滑り落ちたものである。崩壊源の崖錐堆積物の厚さは1~1.5m程度あり、傾斜は38度であった。崖錐堆積物と凝灰岩および砂岩の境界からは湧水がみられ、この湧水が崩壊に関与したと思われる。

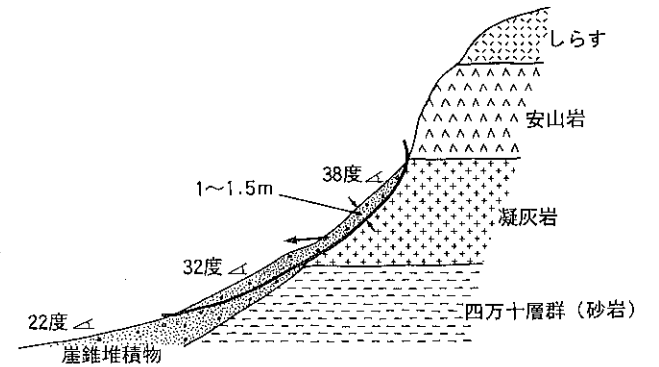


図9 下川内における斜面崩壊発生の様式図

5.5 曾於郡財部町大川原 (図10)

崩壊は8月1日に発生し、住家・非住家合わせて4棟が全壊した。幸い住人は事前に避難していたため人的な被害は免れた。崩壊した斜面は積苗工が施されクヌギが植栽されており、斜面脚部には土留工も施されていた。斜面の基盤地質は安山岩であり、傾斜約40度の安山岩斜面にシラスがへばりつくように

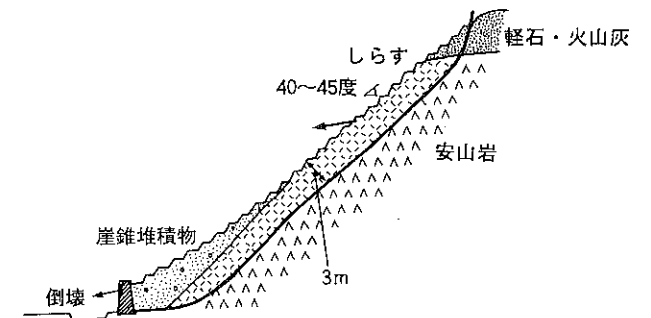


図10 大川原における斜面崩壊発生の様式図

存在し、斜面上部には軽石・火山灰が堆積している。安山岩斜面上のシラスは、かつて安山岩の谷を埋めたシラスが侵食されずに部分的に残ったものである。法面工事はこの残ったシラス斜面上に施されていたことになる。今回の崩壊は安山岩斜面に厚さ3mほど残っていたシラスが滑り落ちたものである。崩壊したシラスは斜面脚部の崖錐堆積物を侵食すると同時に擁壁を倒壊し崖下の住家を破壊した。安山岩とシラスの境界からは湧水が出た跡が観察された。シラス層の指標硬度を山中式土壌硬度計で計測したところ、上部27~29mm、安山岩との境界付近19~21mmであり、境界付近はかなり風化を受けている。

5.6 始良郡始良町始良ニュータウン (図11)、鹿児島郡吉田町東佐多浦・西佐多浦 (図12)

この一帯はシラスの侵食谷と急崖があちこちに分布している。災害は8月2日未明に発生した。7月31日から8月2日にかけて降った500mmを超える多量の雨はシラス崖を多数崩壊させ、同時に、シラス台地に刻まれた侵食谷では多量の水とシラス土砂が土石流のような状態で流下するいわゆる鉄砲水を誘発した。この一帯の斜面の地質は基部を構成する国分層群(堆積層)とそれを覆って分布するシラスからなる。シラス斜面は45度以上の急傾斜をなす。基部の国分層群とシラス層の間からは絶えず湧水がある。シラス斜面の崩壊は、シラス斜面の表層部に発達した50cm程度の薄い風化土層が雨水の浸透で崩れる表層滑落型崩壊(表層崩壊)である。堆積層とシラスの境界からの湧水による崖脚部の侵食もシラス斜面の崩壊に関与したかもしれない。表層崩壊はシラス斜面における崩壊の基本型の一つで、表層土の再生を通して100年前後の短い周期で同じ斜面で繰り返し発生している。今回シラス斜面で起きた崖崩れの大部分はこのタイプである。

一方、シラス谷で発生した鉄砲水は、シラス斜面脚部の傾斜20度以下の崖錐部がパイピングによって崩壊し、流動化したものである。多量の水と土砂が樹木を巻き込みながらシラス谷を数100m以上の距離を流下し、人的・住家・農地の被害を発生させている。この種の災害はシラス地域ではこれまであまり知られていない。シラス斜面で発生する表層崩壊とシラス谷の鉄砲水は別個の現象である。すなわち、シラス斜面脚部には繰り返し発生する表層崩壊により崖錐が発達する。崖錐の中には斜面から落ちた樹木も多く含まれる。今回のような給量と強度において異常ともいふべき豪雨があると、一般に安定しているはずの崖錐も流動化し、多量の水・土砂・樹木を含んだ鉄砲水となって流下する現象が起こりうる。

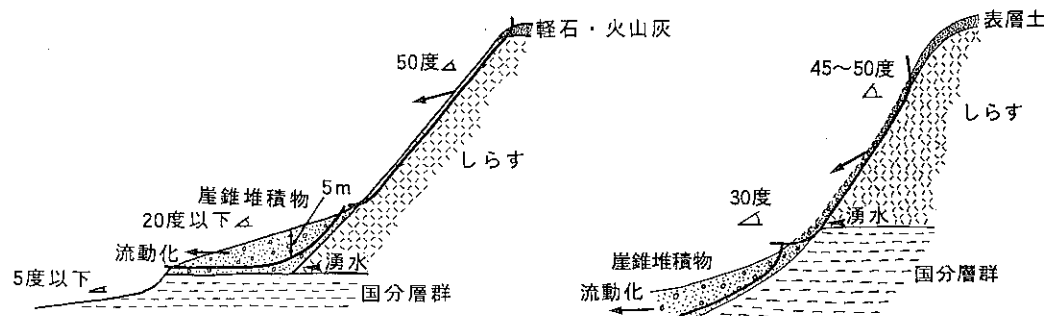


図11 始良ニュータウンにおける斜面崩壊発生の様式図

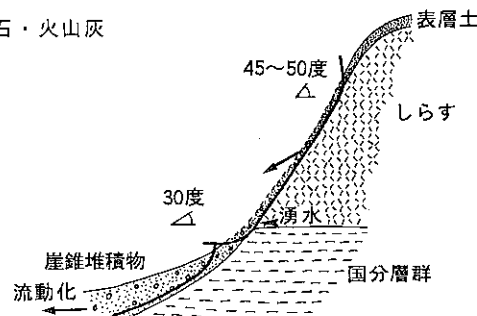


図12 吉田町佐多浦における斜面崩壊発生の様式図

5.7 始良町九州自動車道桜島サービスエリア (図13)

九州自動車道桜島サービスエリアの北側斜面が8月1日夜から2日未明にかけて断続的に崩壊し、多量の土砂がレストランなどを直撃した。従業員らは直前に避難していたため幸い人的な被害はなかった。崩壊した斜面の地質は下部は国分層群に属する凝灰岩、礫層、軽石層、シルト層などの堆積層からなり、その上位にはルーズな状態の安山岩、さらにシラスがのっている。シルト層は割れ目が非常に多く、割れ目からは湧水もみられた。崩壊はこのシルト層で起こり、上位のルーズな安山岩とともに崩壊し、途中崖錐堆積物を侵食しながら流下したと思われる。崩壊源の崩壊深は2m程度である。この崩壊の隣にも堆積層からの湧水が関与したと思われる崩壊深が5mに及ぶ崩壊がみられた。

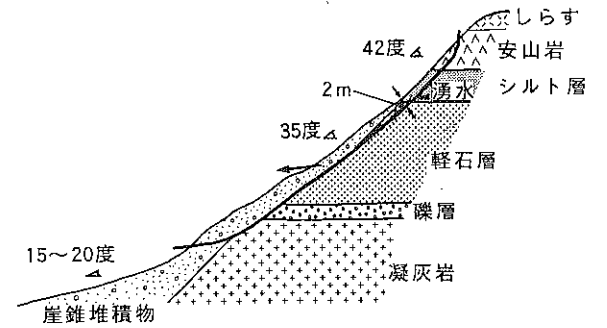


図13 桜島SAにおける斜面崩壊発生の様式図

5.8 鹿児島市吉野町竜ヶ水 (図14)

災害は8月6日18時過ぎ発生した。この地区では激しい雨のなかで崩壊・土石流が発生し、地区住民やJR日豊本線の乗客、国道10号線を通行中の人々約1800人がJR竜ヶ水駅周辺の海岸に孤立し、一時最悪の事態が予想されたが、大多数の人は海と陸から救出された。土石流発生で海に投げ出された人のうち4名が犠牲になった。山崩れ・土石流が起きた斜面は始良カルデラの西側の壁をなす急崖であり、1977(昭和52)年の土石流災害¹⁾をはじめ、これまでも大小規模の土砂災害が発生している

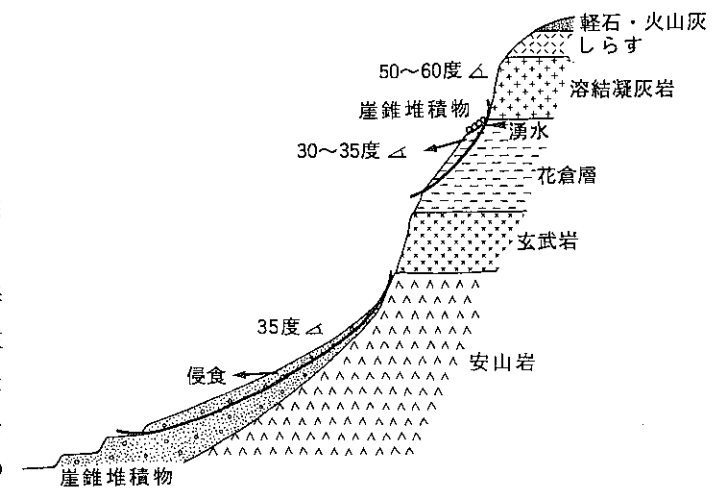


図14 竜ヶ水における斜面崩壊発生の様式図

ところである。斜面の地質は、基部を占める安山岩、その上位の玄武岩、花倉層(前記の国分層群相当層)、溶結凝灰岩、さらにそれらを覆って上位に分布するシラスと軽石・火山灰で構成される。斜面の傾斜は構成する地質で異なり、安山岩斜面は30~40度、花倉層斜面は30~35度、溶結凝灰岩斜面は50~60度である。崩壊は花倉層や安山岩からなる斜面部位で表層の風化した表土層や崖錐堆積物が滑り落ちる形で発生している。花倉層からは湧水があり、これが崩壊に関与しているようである。この地域で起きた崩壊のいくつかは土石流を誘発した。

5.9 鹿児島市吉野町花倉

この地区は奄ヶ水から南東に3 kmほど離れた距離にある。災害は8月6日23時前に発生した。病院の裏山から発生した崩壊土砂が病院の1階を襲い、16名もの多数の入院患者らの命を奪った。壊れた斜面の地質は花倉層が基盤となり、それを崖錐堆積物が覆っている。斜面の傾斜は35度である。崩壊は厚さ2 m程度の崖錐堆積物が花倉層を境にして滑り落ちたものである。崖錐堆積物は排水の良い土層であるが、これが崩壊したのは多量の雨が浸透し崖錐堆積物内の浸透水圧を高めたことによるものであろう。崩壊した土砂は土石流化し、病院を直撃、その下の海に流れ込んだ。

5.10 鹿児島市北部地域・日置郡郡山町 (図15、図16)

この地域では8月6日夕崩壊があちこちで多数発生し、土砂が住宅や道路に流れ込み、合わせて24名の人の命を奪った。崩壊の大部分はシラスの表層崩壊である。場所によっては斜面の基盤を構成する火砕流堆積物とシラスの間から生じた湧水が絡んで起きた崖崩れもある。同じく豪雨の中心地となった郡山町でもシラス崖が方々で崩壊し、40戸を超える住宅がその土砂で押しつぶされた。しかし、同町では役場が防災無線を使って早めの避難を呼びかけ、住民のほとんどは事前に避難していたため1人の犠牲者も出さなかった。

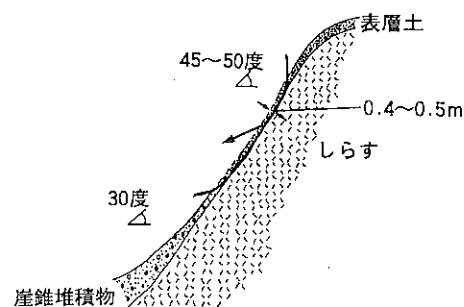


図15 鹿児島市北部地域・郡山町におけるシラス斜面で発生した表層崩壊の模式図

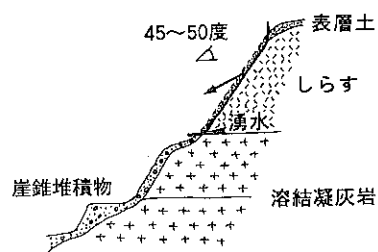


図16 鹿児島市稲荷町における斜面崩壊発生時の模式図

5.11 垂水市二川

九州の西海上を北上した台風7号は8月9日から10日にかけて大隅半島に多量の雨を降らせた。この大雨により垂水市二川では10日3時過ぎ崩壊・土石流が発生し、5名が犠牲になった。この一帯の斜面は始良カルデラの東側をなす急崖であり、その地質は基盤を占める四万十層群(堆積岩)とそれを覆って分布する阿多火砕流堆積物、シラスからなる。斜面には桜島起源の軽石や火山灰が堆積している。崩壊は谷頭のシラスと阿多火砕流堆積物から構成される斜面で発生した。この崩壊は谷底の堆積物を巻き込みながら谷の流れ下り、海岸に沿って発達した深港の集落を襲った。このとき付近一帯には避難警告がだされて犠牲となった5名を除く大部分の住民は避難していた。

5.12 日置郡金峰町大坂 (図17)

災害が起きたのは台風13号が薩摩半島南部に上陸して間もない9月3日16時半頃である。崩壊が発生し、斜面の裾部の民家に避難していた住民20名が土砂で生き埋めになり、全員が亡くなった。斜面は砂岩・頁岩(四万十層群)からなる。斜面上腹部の基岩は深くまで風化、粘土化している。斜面中腹部以下は崖錐堆積物が2~3 mの厚さで覆っている。この堆積物からは普段から地下水が豊富に湧出していた。また斜面裾部では崖錐堆積物がシラスの上に分布していることから、以前に同じ斜面で崩壊が

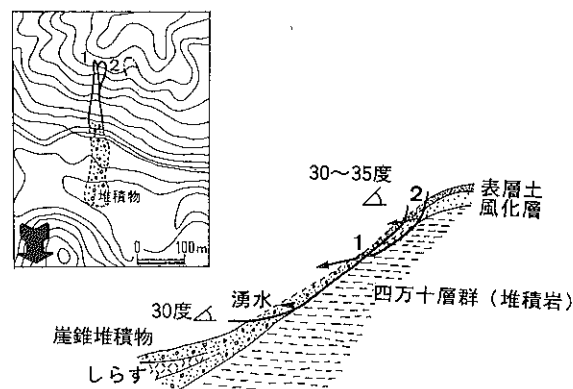


図17 大坂における斜面崩壊発生時の模式図

起きたことが示唆される。斜面の傾斜は上腹部で30~35度、中腹部25度と比較的緩やかである。斜面上腹部ではお互いに隣接して表層崩壊と深層崩壊の二つの崩壊が発生している。災害の発生に結びついたのは最初に起きた表層崩壊で、その土砂は中腹部の崖錐堆積物を巻き込んで谷底まで流れ落ちた。この表層崩壊は旧崩壊跡地に集積した土砂層が崩れたもので、その発生源の面積は120㎡(幅8 m、長さ15 m)、崩壊厚0.7 mと小規模である。深層崩壊は表層崩壊に続いて起きたもので、円弧状を呈し、崩壊深は比較的大きく2~3 m程度である。土砂のほとんどは斜面の中腹で止まっている。斜面表層を構成する表土は粘質で、一般的には壊れにくい、長雨で斜面は緩んでいたことや、短時間の集中豪雨で地下水圧が急激に上昇したことによるものと考えられる。この一帯の斜面の上腹部には斜面が動いたことを示す地面の割れ目や段差が観察された。

5.13 川辺郡川辺町小野

災害は9月3日23時頃発生した。台風13号が通り過ぎ、風雨が弱まって数時間経った時の出来事であった。発生した土石流は山裾の約20棟を襲い、9人を犠牲にした。この付近の地質は基盤を構成する砂岩・頁岩とその斜面裾部に分布する溶結凝灰岩(阿多火砕流堆積物)、シラスからなる。土石流は、谷に盛ってつくられた旧鉄道の路体の暗渠が土砂や流木で閉塞し、その上流側に貯まった多量の水が路体を崩壊させたことによって発生したものである。路体の上流側には崩壊や土石流が数か所発生し、これによる流出土砂や流木が暗渠を閉塞した。また路体の上流側には水が滞留した痕跡が観察された。水深は深いところで7 m程度ある。

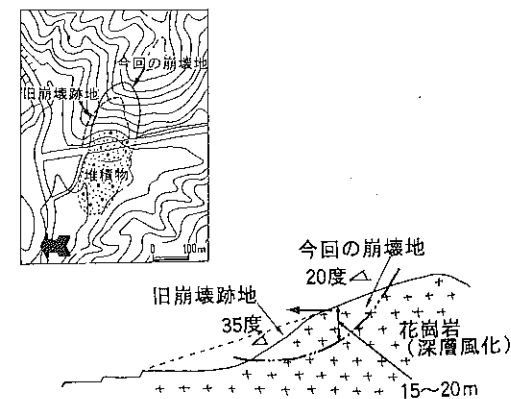


図18 昆沙門における斜面崩壊発生時の模式図

5.14 日置郡日吉町毘沙門 (図18)

この災害は、ほとんど雨のなかった9月20日20時頃発生した。崩壊土砂で2棟が押しつぶされ、生き埋めになった5名のうち2名が犠牲になった。崩壊は、幅約95m、長さ約150m、平均崩壊深15~20mの大規模なものである。斜面を構成する地質は花崗岩で、深層まで風化している。その表層部は赤色風化している。今回崩壊が起きた同じ斜面に崩壊跡地と認められる地形があることから、今回と同じような大規模の崩壊が過去にあったものと推察される。今回の崩壊では過去の崩壊跡地の後方の斜面が壊れたことになる。斜面の傾斜は旧滑落崖にあたる急なところで35度、崩壊地上腹部では20~25度程度と緩やかである。現場近くの道路の擁壁が9月3日の豪雨のとき倒壊し、また斜面裾部からの湧水が増える一方、被害にあった斜面裾部の民家の井戸水が涸れるなどの前兆と考えられる現象が事前に認められており、斜面は一連の豪雨で以前から少しずつ動いていたものと推測される。

6. まとめ

1993年鹿児島県下で発生した土砂災害は、総量と強度において異常ともいべき豪雨によってもたらされたものである。今回の土砂災害の特徴をまとめると以下の通りである。

- ① 山崖崩れ・土石流によって多数の人の命が犠牲になり、重軽傷者も多数でた。犠牲者の年齢構成は、60歳以上の高齢者が最も多いが、子供から青年、壮年者も多数含まれている。また災害の危険に巻き込まれた人は多数にのぼった。
- ② 鹿児島県は、県内に広く分布するシラスの崩壊がこれまでもしばしば発生し、“シラス災害”の名でよく知られている。1993年の鹿児島県下の災害では、シラスの崩壊も多く発生したが、シラス以外の地質の崩壊も多数発生した。
- ③ シラス以外の地質の崩壊では、傾斜の緩い斜面の崩壊、一般に透水性がよく安定しているはずの崖錐堆積物の崩壊など、これまで崩壊危険個所としてあまり注意されなかった所でも災害が発生した。このような場所での崩壊には湧水が関与していることが多かった。
- ④ シラス斜面では斜面表層部に発達した50cm程度の薄い風化土層が滑り落ちる表層崩壊が非常に多く発生した。また、シラス谷を多量の水と土砂が樹木を巻き込みながら鉄砲水(土石流)の状態で流下し、災害を拡大した。この種の現象はシラス地域ではこれまであまり知られていない。シラス谷の鉄砲水は、シラス斜面脚部の傾斜20度以下の崖錐部がパイピングによって崩壊し、流動化したことにより発生したものである。したがって、シラス斜面で発生する表層崩壊とシラス谷の鉄砲水は別個の現象である。今回のような異常な豪雨があると、一般に安定しているはずの崖錐も流動化し、多量の水・土砂・樹木を含んだ鉄砲水となって流下する現象が起こりうる。
- ⑤ 緊急時の避難をめぐる問題が大きな話題になった。8月6日の豪雨による崖崩れで42棟の住宅が全壊しながら事前に避難し、1人の犠牲者も出なかった郡山町の例は、緊急時の避難行動がいかに大切であるかを教えてくれた。しかし一方9月3日の金峰町の災害では、災禍を避けるために事前に避難していた住民20名が山崩れの犠牲になるという、痛ましい出来事が起こった。

参考文献

- 1) 春山元寿・下川悦郎(1978)：鹿児島市吉野町竜ヶ水地区の山地崩壊・土石流災害について。新砂防 30(4), 33-38.

空中写真判読による斜面崩壊・土石流の分布と土砂量

鹿児島大学農学部 地頭菌 隆
 下川悦郎
 松本舞恵
 加藤昭一
 三浦郁人

1. はじめに

7月31日から8月2日にかけて県中部地域では総雨量500mm以上の激しい雨に見舞われ、鹿児島市北部の吉田町および始良町では斜面崩壊・土石流が多発した。さらに、8月6日には鹿児島市の北部から郡山町にかけての地域が総雨量300mm以上の激しい雨に襲われ、多数の斜面崩壊・土石流が発生した。これらの豪雨により発生した斜面崩壊・土石流の形態、機構、原因についてはこの報告書内に別途報告している。ここでは、8・1豪雨および8・6豪雨後、鹿児島市からその北部の郡山町、吉田町、さらに始良町にかけて撮影された空中写真の判読結果と、それに基づいて算出した斜面崩壊・土石流による生産土砂量、土砂氾濫面積に関する解析結果について報告する。

2. 空中写真判読と解析方法

8・1豪雨および8・6豪雨後、鹿児島市からその北部の郡山町、吉田町、始良町にかけての区域の垂直空中写真（縮尺約8000分の1）が国際航空写真株式会社によって撮影された。この空中写真を実体視して斜面崩壊・土石流の発生跡地を判読し、その跡地周囲を透明なフィルムにトレースして分布図を作成した。その際、斜面崩壊・土石流の発生跡地は侵食域（崩壊域および侵食を伴う土砂移動域）と土砂氾濫域（土砂堆積域）に区分した。斜面崩壊・土石流の発生跡地の分布図から侵食域と土砂氾濫域の周囲の座標値をデジタイザ（座標読み取り装置）を用いてコンピュータに入力した。さらに、斜面崩壊・土石流の発生跡地の分布図と同じ座標系で5,000分の1地形図（一部25,000分の1地形図）の等高線の座標値を同様の方法でコンピュータに入力した。斜面崩壊・土石流の発生跡地の分布図と等高線を同縮尺でディスプレイ上に同時出力し、斜面崩壊・土石流の発生位置や面積のひずみ補正を行った。

コンピュータに入力した斜面崩壊・土石流による侵食域および土砂氾濫域の周囲座標データから面積計算が可能である。さらに、空中写真判読区域（南北方向20.6km×東西方向15.8km、面積約325km²）に200m×200m（面積40,000m²）のメッシュをかけ、メッシュ単位で斜面崩壊・土石流による侵食域および土砂氾濫域に関する数量的な解析を行った。

3. 斜面崩壊・土石流の分布

図1は、コンピュータに入力した斜面崩壊・土石流の発生跡地周囲の座標データと5,000分の1地形図の等高線の座標データをプロットに同時出力して作成した斜面崩壊・土石流の発生跡地分布図の例である。また、図2は、図1のような地区ごとに作成された斜面崩壊・土石流

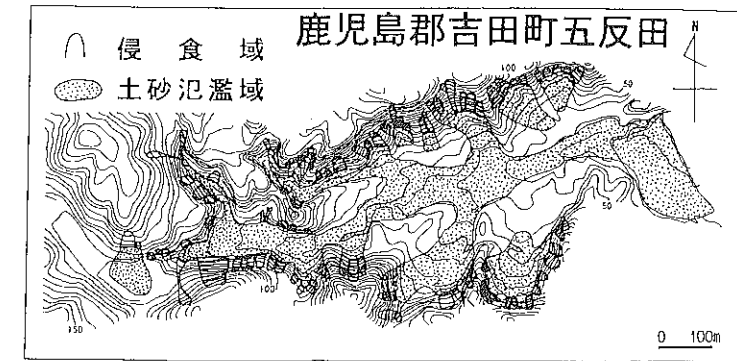


図1 斜面崩壊・土石流の発生跡地分布図の例

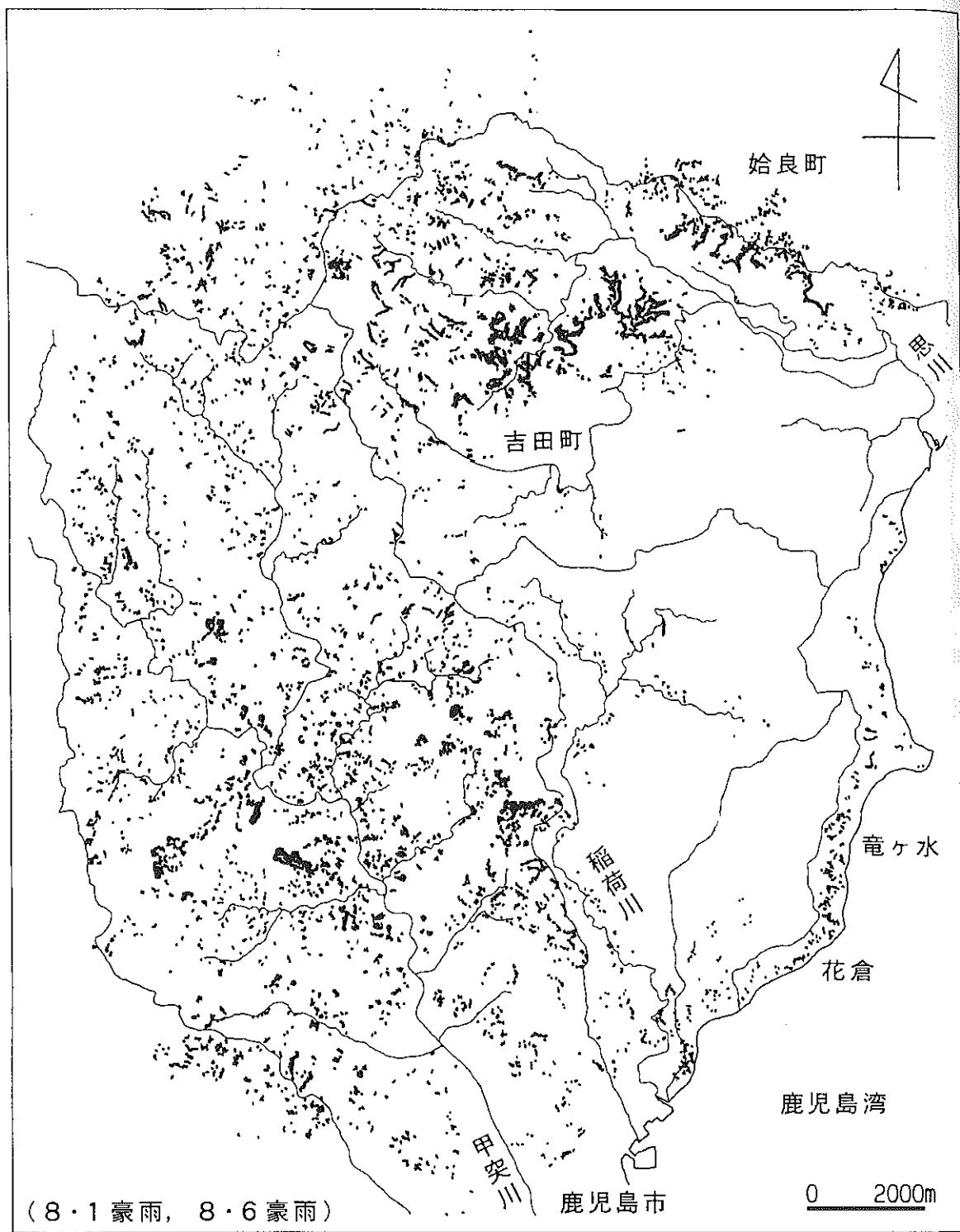


図2 斜面崩壊・土石流による侵食域の分布図

の発生跡地座標データから侵食域座標データを抽出し空中写真判読全域についてプロットに出力した侵食域分布図である。空中写真判読区域における侵食域は6,551箇所、土砂氾濫域は1,572箇所であった。ただし、複数の斜面崩壊・土石流により発生した土砂氾濫域はそれぞれの斜面崩壊・土石流に分離することは不可能であるため1箇所として数えている。図2において、思川流域に分布する斜面崩壊・土石流はおもに8・1豪雨によるものであり、甲突川流域から始良カルデラ西側壁にかけて分布する斜面崩壊・土石流はおもに8・6豪雨によるものである。

図3は、個々の侵食域および土砂氾濫域の周囲座標データから計算した面積を100㎡間隔でそれぞれヒストグラムに示したものである。侵食域は100~200㎡の面積が最も多く、次いで100㎡未満、200~300㎡となっており、3者で全体の約60%を占めている。侵食域の平均面積は420㎡、最大面積は7,500㎡であった。土砂氾濫域は100~200㎡と200~300㎡のものが多くなっている。また2,000㎡以上の土砂氾濫域も多数あり、中には86,000㎡に及ぶものもあった。

侵食域分布図(図2)に200m×200m(面積40,000㎡)のメッシュをかけ、そのメッシュ内の侵食域の箇所数およびメッシュに占める侵食域面積率を求めた。図2にかけられた総メッシュ数は8,137個(南北方向103個×東西方向79個)である。図4および図5は、侵食域の箇所数および面積率をそれぞれ4階級に区分した記号マップである。メッシュ総数8,137個のうちメッシュ内に侵食域が1箇所以上存在するメッシュは2,144個あり、全体の約26%に相当する。侵食域が10箇所以上存在するメッシュはおもに甲突川中流域および思川中流域に集中している。また、侵食域面積率が10%を超えるようなメッシュはおもに甲突川中流域、始良カルデラ壁および思川中流域に分布している。

図6は、メッシュ内の侵食域箇所およびメッシュに占める侵食域面積率のヒストグラムである。メッシュ内に侵食域が1箇所分布するメッシュが最も多く約34%を占め、メッシュ内侵食域箇所数が増加するに伴いその割合は減少している。メッシュ最大の侵食域箇所数は24個であった。メッシュ内の侵食域面積率は1%未満が最も多く約35%を占め、侵食域面積率が増加するに伴いその割合は減少している。メッシュ最大の侵食域面積率は49%であった。

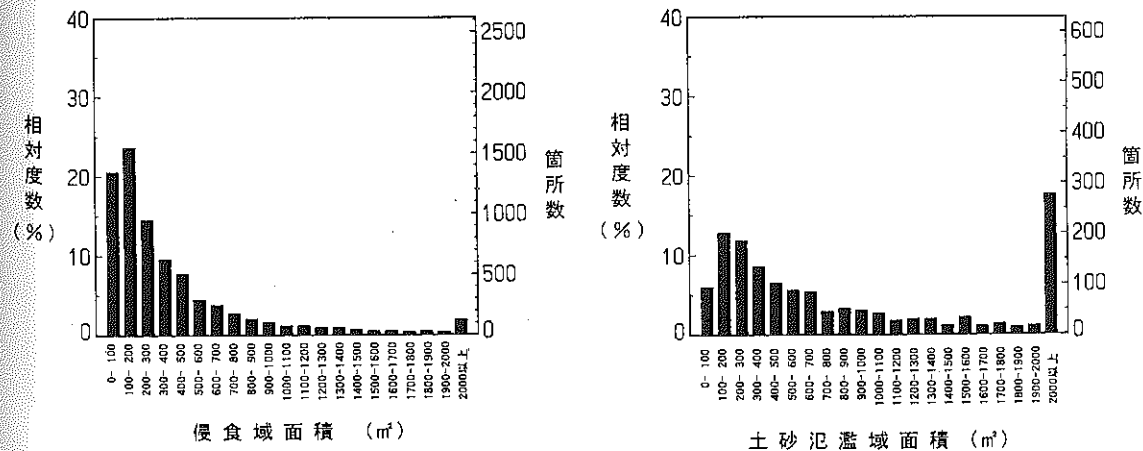


図3 侵食域面積および土砂氾濫域面積のヒストグラム

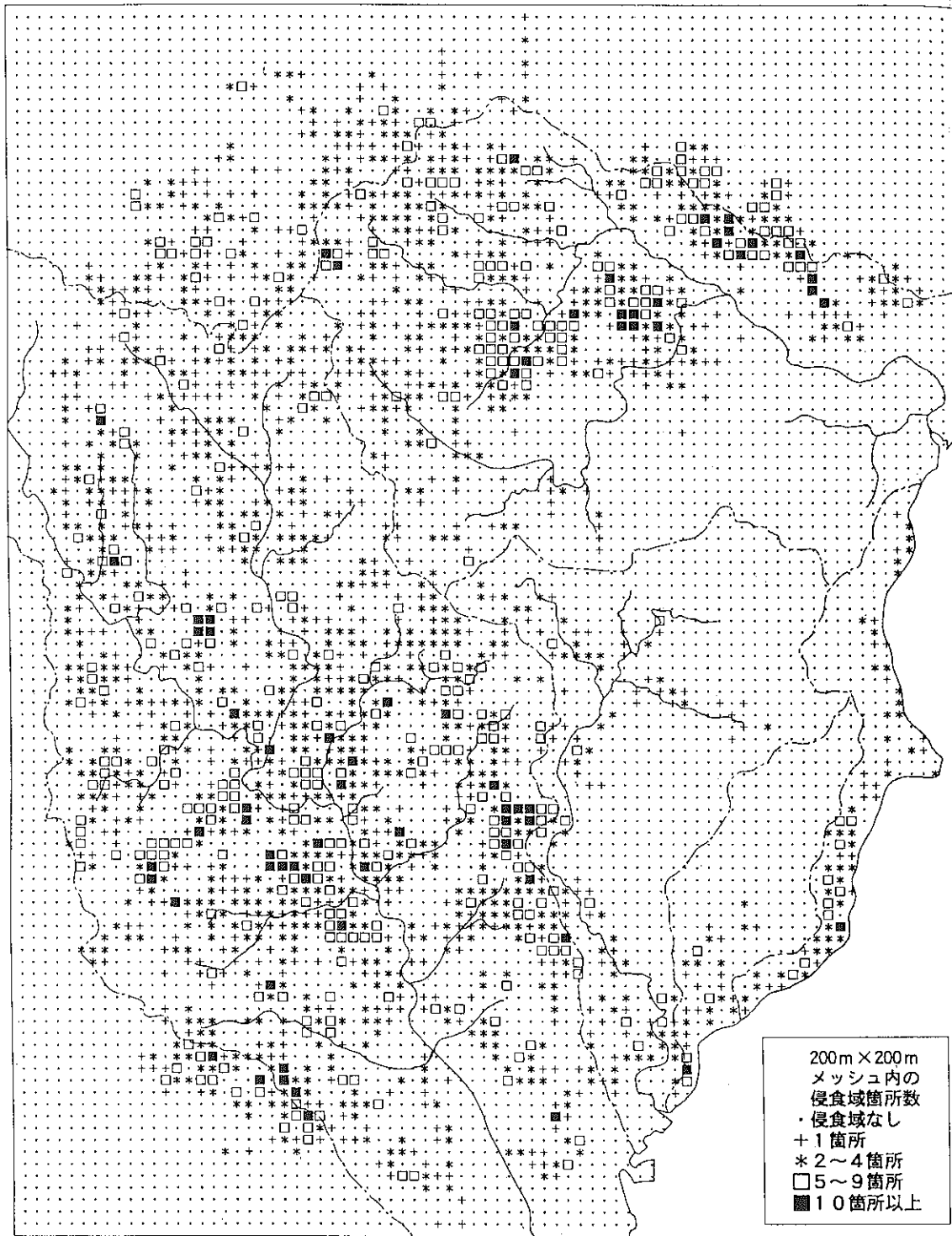


図4 斜面崩壊・土石流による侵食域箇所数の記号マップ

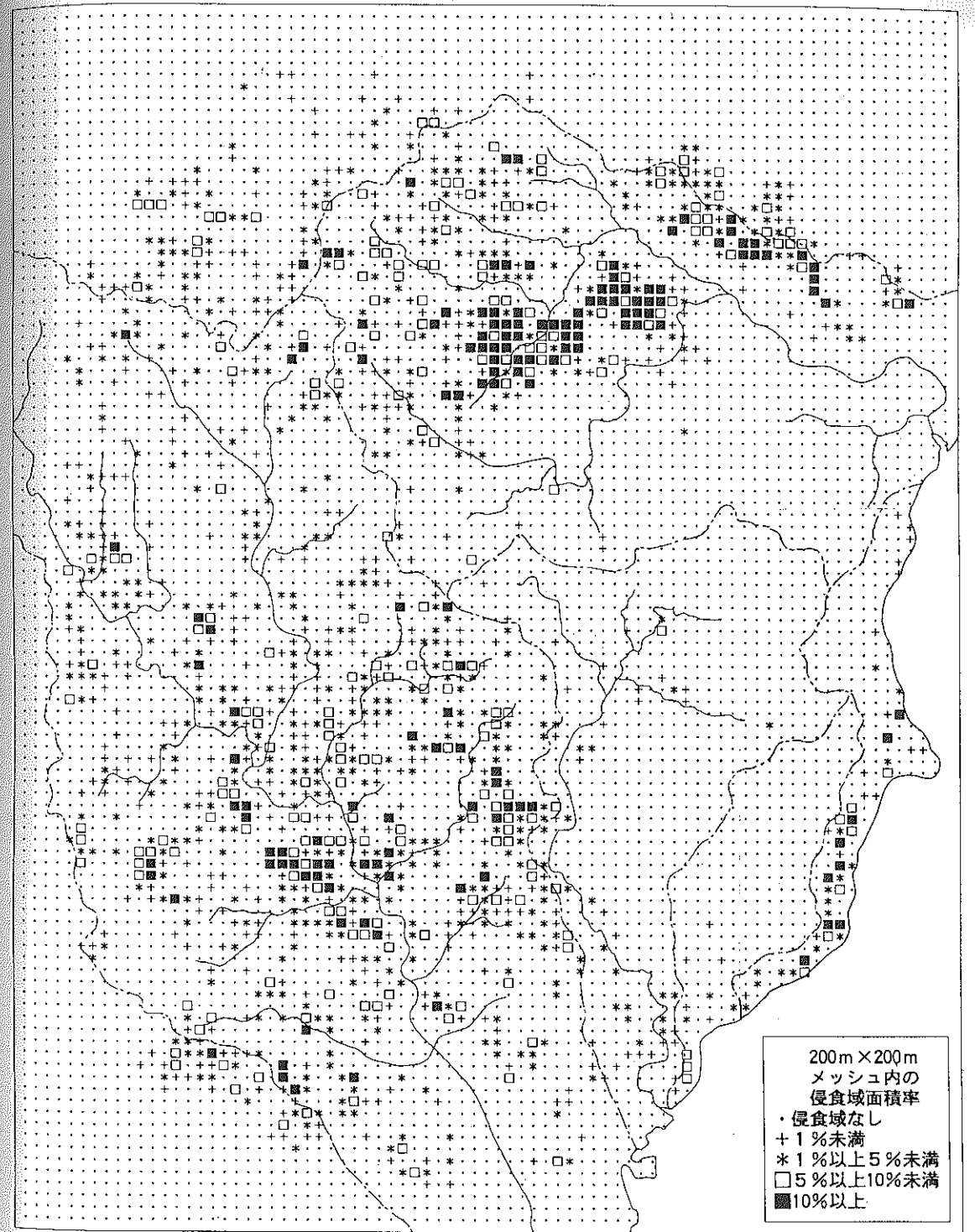


図5 斜面崩壊・土石流による侵食域面積率の記号マップ

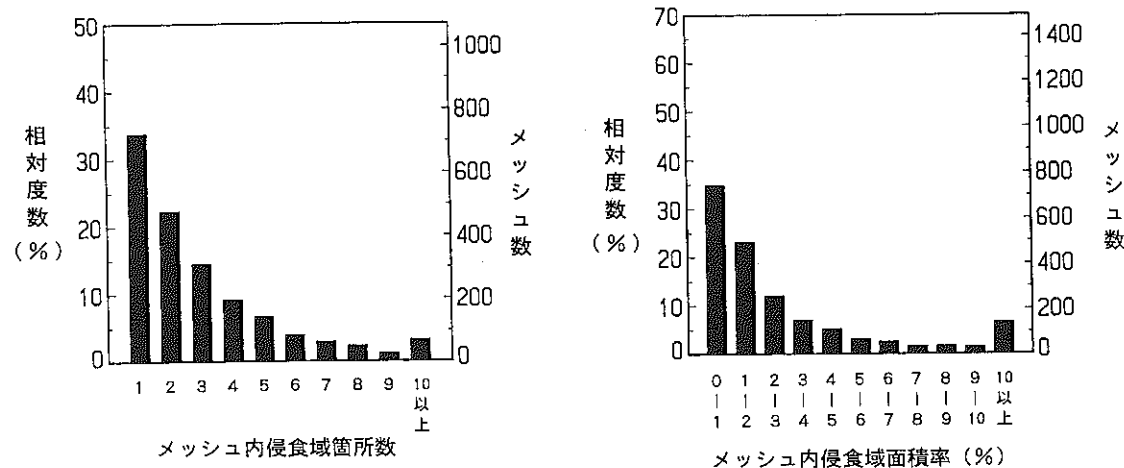


図6 メッシュ単位の侵食域箇所数および侵食域面積率のヒストグラム

4. 区域（流域）ごとの斜面崩壊・土石流の特徴

空中写真判読区域をメッシュ単位で思川流域、甲突川流域、稲荷川流域、吉野区域、および始良カルデラ壁区域の5区域（流域）に区分し（図7）、それぞれの区域ごとに斜面崩壊・土石流分布の特徴を分析した。それぞれの区域のメッシュ数およびメッシュ単位での面積は、思川流域1,518メッシュ（60.72km²）、甲突川流域2,651メッシュ（106.04km²）、稲荷川流域765メッシュ（30.60km²）、吉野区域237メッシュ（9.48km²）、始良カルデラ壁区域188メッシュ（7.52km²）である。斜面崩壊・土石流による侵食域の箇所数は、思川流域1,587箇所、甲突川流域3,663箇所、稲荷川流域243箇所、吉野区域83箇所、カルデラ壁区域187箇所であった。土砂氾濫域は、思川流域369箇所、甲突川流域805箇所、稲荷川流域137箇所、吉野区域31箇所、カルデラ壁区域73箇所であった。

図8は、斜面崩壊・土石流による個々の侵食域面積のヒストグラムを示したものである。思川流域では100~200m²が最も多く約16%を占め、次いで200~300m²、0~100m²、300~400m²、400~500m²の順で多くそれぞれ約12~10%を占めている。最大値は7,500m²、平均値は630m²である。甲突川流域では100~200m²および0~100m²が多くそれぞれ約25%および約23%を占め、次いで200~300m²が約15%を占めている。最大値は5,200m²、平均値は360m²である。稲荷川流域および吉野区域では0~100m²が最も多く、次いで100~200m²であり、両方で約60%以上を占めている。最大値および平均値は稲荷川流域で3,500m²および230m²、吉野区域で800m²および210m²である。始良カルデラ壁区域では0~100m²および100~200m²が多くそれぞれ約22%および約20%を占め、次いで200~300m²が約15%を占めている。最大値は7,400m²、平均値は580m²である。5区域の侵食域面積の平均値を比較すると、思川流域で最も大きく、次いで始良カルデラ壁区域、甲突川流域、稲荷川流域、吉野区域の順である。

図9は、斜面崩壊・土石流による土砂氾濫域面積のヒストグラムを示したものである。思川流域では100~200m²、300~400m²、200~300m²、400~500m²の順で多く、それぞれ8~6%を占めている。最大値は86,000m²、平均値は4,200m²である。甲突川流域では100~200m²および

0~100m²が多くそれぞれ約14%および約13%を占めている。最大値は3,200m²、平均値は1,200m²である。稲荷川流域では200~300m²が最も多く約19%を占め、次いで100~200m²が約16%を占めている。最大値は6,700m²、平均値は900m²である。吉野区域では100~200m²、200~300m²、400~500m²で多くそれぞれ約13%を占めている。最大値は24,000m²、平均値は1,900m²である。始良カルデラ壁区域では100~200m²、300~400m²で多くそれぞれ16~15%を占めている。最大値は28,000m²、平均値は1,800m²である。5区域の土砂氾濫域面積の平均値を比較すると、思川流域で最も大きく、次いで吉野区域、始良カルデラ壁区域、甲突川流域、稲荷川流域の順である。

図10は、メッシュ内の侵食域箇所のヒストグラムを示したものである。5区域ともメッシュ内に侵食域が1箇所存在するメッシュが最も多く、メッシュ内侵食域箇所数が増加するに伴いその割合は減少している。斜面崩壊・土石流が高密度に分布している甲突川流域および思川流域においてはメッシュ内侵食域が10箇所以上存在するメッシュがそれぞれ42個および24個含まれている。メッシュ内の侵食域箇所の最大値は、思川流域15箇所、甲突川流域24箇所、稲荷川流域8箇所、吉野区域15箇所、始良カルデラ壁区域10箇所であった。

図11は、メッシュ内の侵食域面積率のヒストグラムを示したものである。5区域ともメッシュ侵食域面積率1%のメッシュが最も多い。思川流域、甲突川流域、稲荷川流域および吉野区域はメッシュ内侵食域面積率が増加するに伴いその割合は減少する傾向にあるが、始良カルデラ壁区域は不明瞭である。これは、カルデラ壁区域の複雑な地質構造に関係していると思われる。斜面崩壊・土石流が高密度に分布している甲突川流域および思川流域にはメッシュ内侵食域面積率が10%を超すメッシュがそれぞれ57個および80個含まれている。メッシュ内の侵食域面積率の最大値は、思川流域49%、甲突川流域47%、稲荷川流域9%、吉野区域9%、始良カルデラ壁区域26%であった。

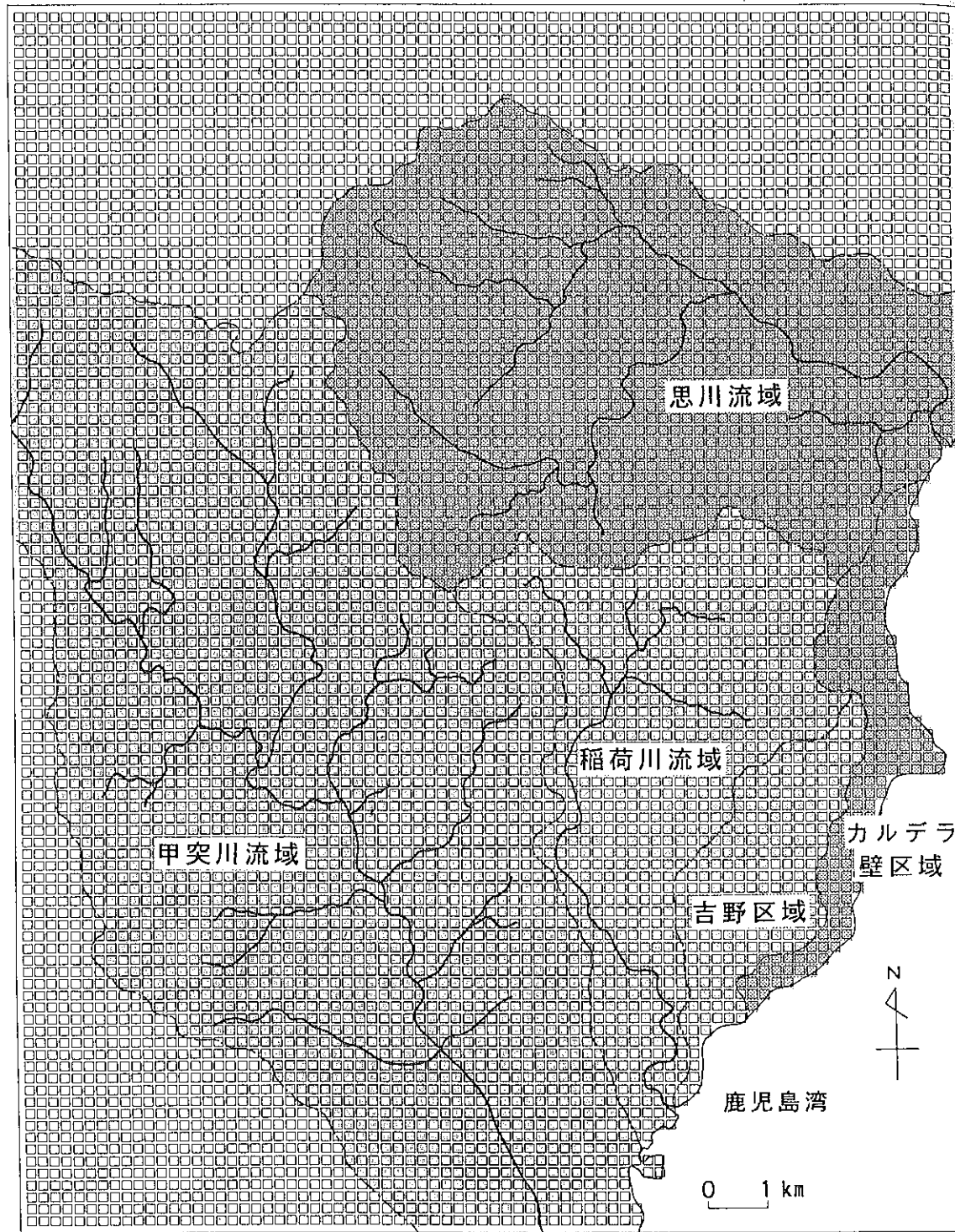


図7 空中写真判読区域のメッシュ単位での流域・区域区分

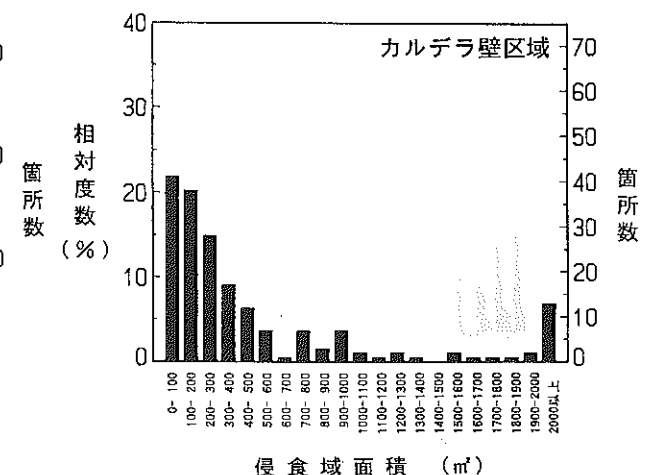
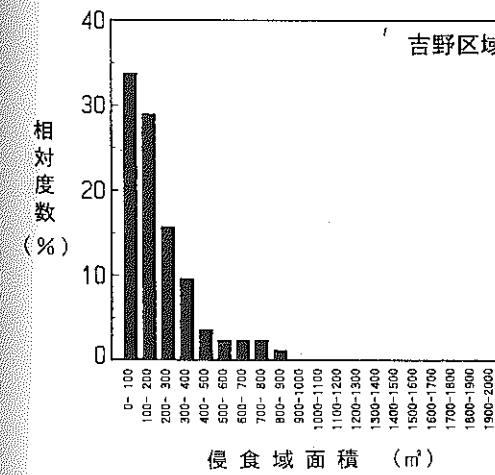
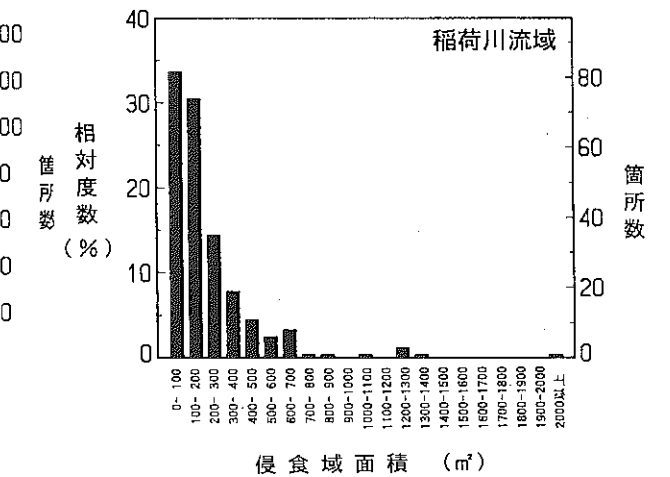
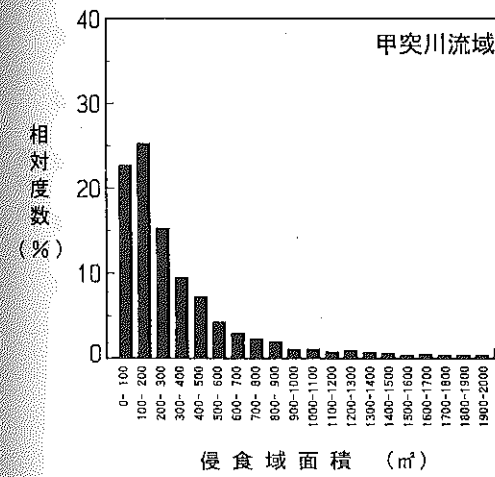
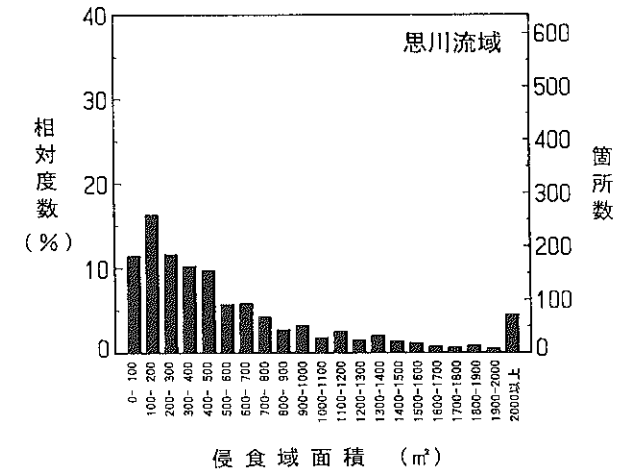


図8 斜面崩壊・土石流による侵食域面積のヒストグラム

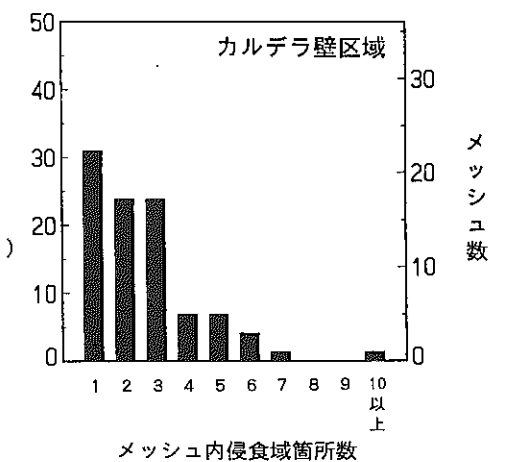
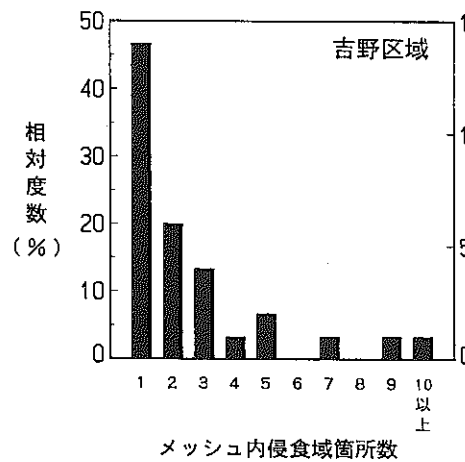
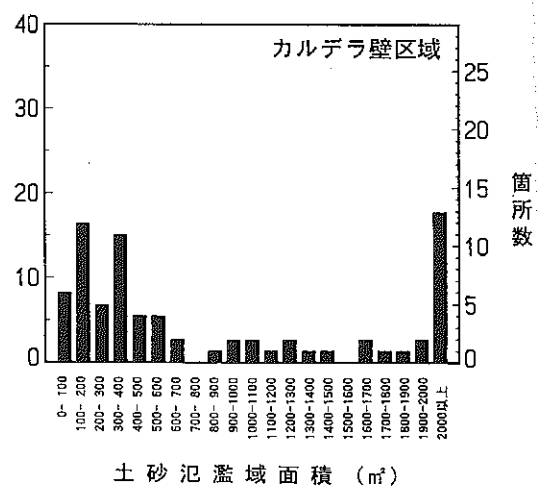
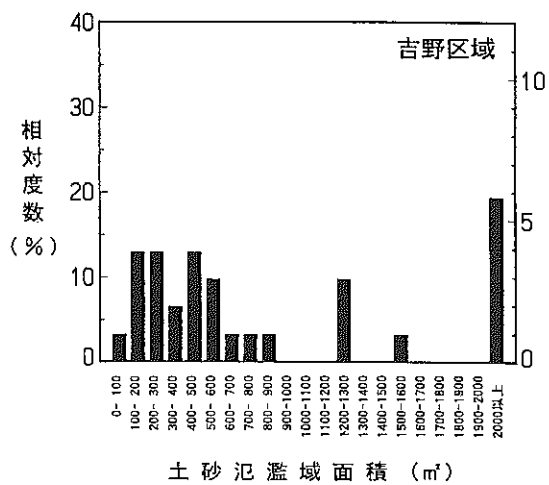
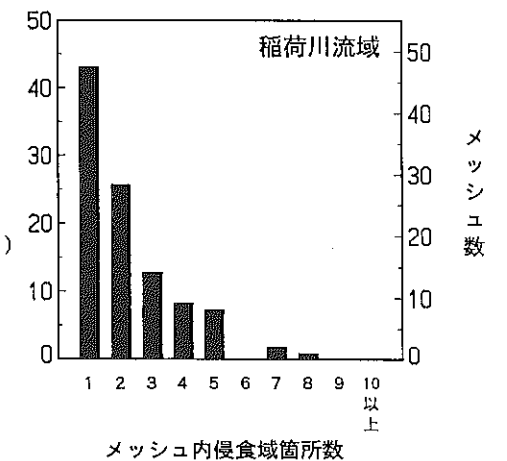
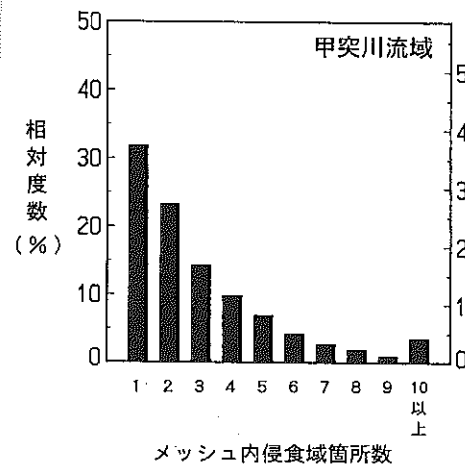
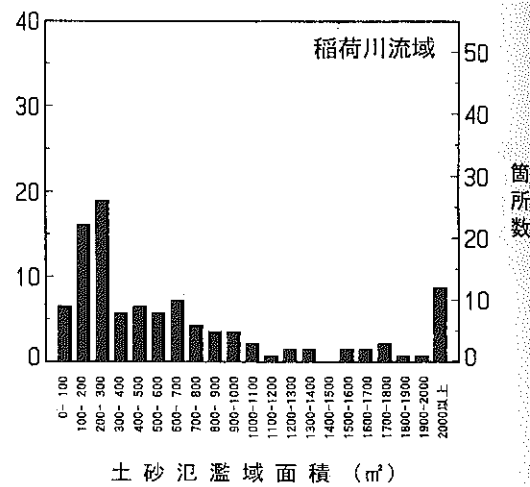
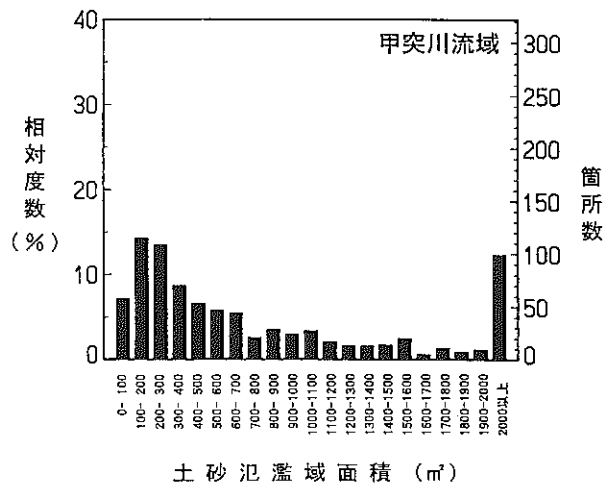
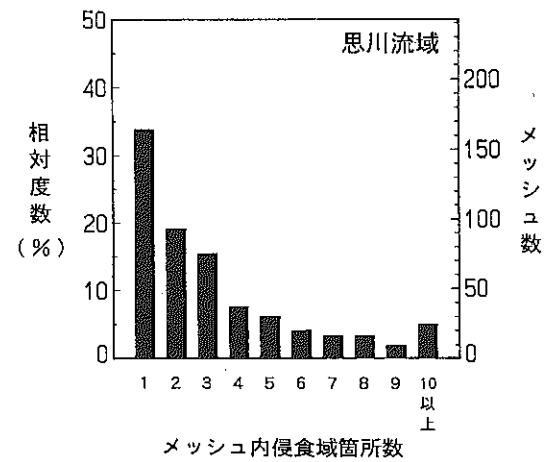
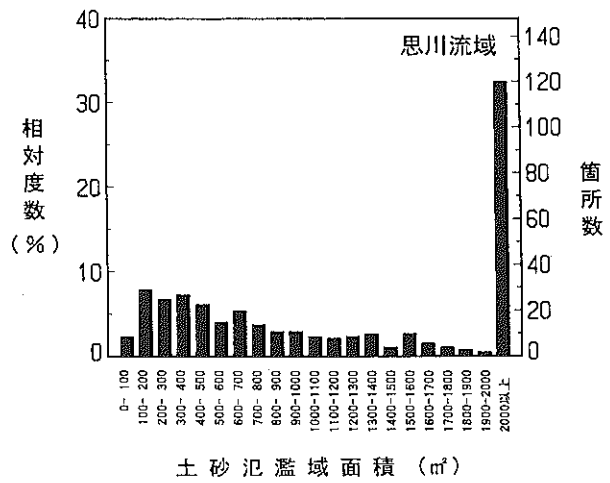


図9 斜面崩壊・土石流による土砂氾濫域面積のヒストグラム

図10 メッシュ内の侵食域箇所のヒストグラム

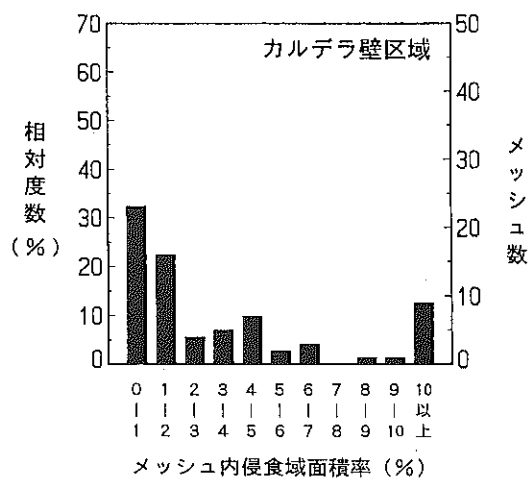
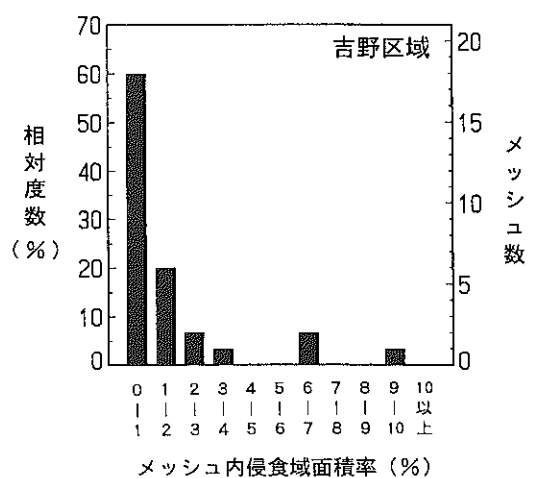
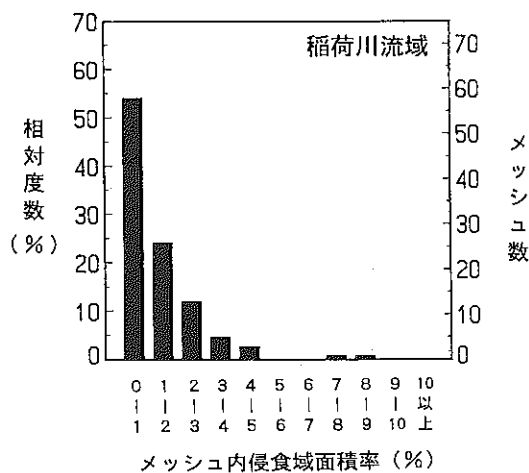
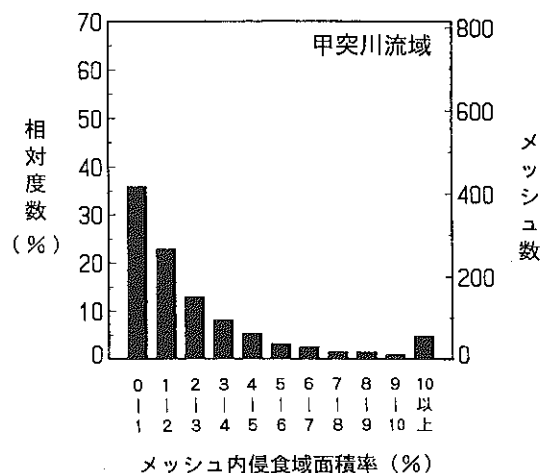
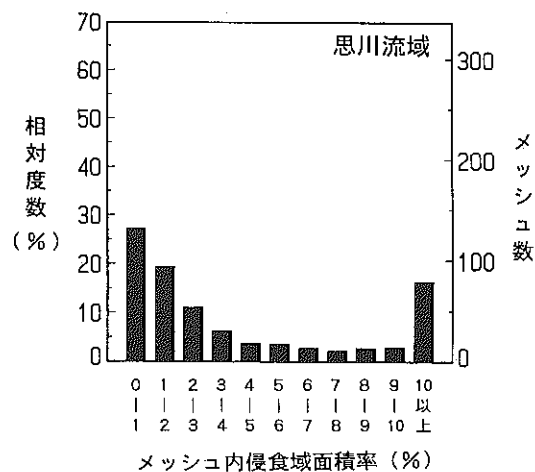


図11 メッシュ内の侵食域面積率のヒストグラム

5. 斜面崩壊・土石流による侵食土砂量

空中写真判読により作成した斜面崩壊・土石流による侵食域分布図から5区域ごとの侵食土砂量を算出した。斜面崩壊・土石流による侵食域面積を5区域ごとに合計したのが表1である。これらの値に平均崩壊深を乗ずると侵食土砂量が求められる。空中写真判読区域における斜面崩壊の形態は表層滑落型が多くみられた。ここでは平均崩壊深を50cmとして5区域における侵食土砂量を計算した(表1)。甲突川流域および思川流域で多量の土砂が生産されたことがわかる。侵食土砂量を区域面積で除して比侵食土砂量(面積1km²あたりの侵食土砂量)に換算した結果も表1に示している。比侵食土砂量は思川流域、始良カルデラ壁区域および甲突川流域で大きくなっている。

斜面崩壊・土石流による土砂氾濫域の面積を5区域ごとに合計した(表2)。土砂氾濫域面積は、シラス谷での崖錐の崩壊・流動化により発生した鉄砲水(土石流)が多発した思川流域で非常に大きくなっている。表2には面積1km²あたりに換算した土砂氾濫面積も示している。1km²あたりの土砂氾濫面積は思川流域で非常に大きく、次いで始良カルデラ壁区域、甲突川流域、吉野区域、稲荷川流域の順である。

斜面崩壊・土石流により侵食や土砂氾濫の被害を受けた土地面積を区域ごとに集計した(表3)。思川流域および甲突川流域で被害を受けた面積が非常に大きい。1km²あたりの土地被害面積に換算すると、思川流域で非常に大きく、次いで始良カルデラ壁区域、甲突川流域、吉野区域、稲荷川流域の順である。区域面積に占める斜面崩壊・土石流による土地被害面積率を求めると、思川流域4.2%、始良カルデラ壁区域3.2%、甲突川流域2.1%、吉野区域0.8%、稲荷川流域0.6%となっている。

6. 地質区分ごとの斜面崩壊・土石流

縮尺10万分の1地質図¹⁾を用いて、空中写真判読区域をメッシュ単位で入戸火砕流堆積物の非溶結部であるシラスに覆われた区域(シラス区域)、安山岩・玄武岩などの火成岩類からなる区域(火成岩類区域)、国分層群・花倉層などの堆積層からなる区域(堆積層区域)の3区域に大まかに区分し(図12)、それぞれの区域ごとに斜面崩壊・土石流の特徴を分析した。それぞれの区域のメッシュ数およびメッシュ単位での面積は、シラス区域4,369メッシュ(174.76km²)、火成岩類区域1,761メッシュ(70.44km²)、堆積層区域1,280メッシュ(51.20km²)である。斜面崩壊・土石流による侵食域箇所数は、シラス区域4825箇所、火成岩類区域931箇所、堆積層区域795箇所であった。

図13は、斜面崩壊・土石流による個々の侵食域面積のヒストグラムを3地質区分ごとに示したものである。3地質区分とも100~200m²が最も多く、次いで0~100m²、200~300m²であり、分布傾向に差はみられない。3地質区分の侵食域面積の平均値を求めると、シラス区域390m²、火成岩類区域481m²、堆積層区域507m²であり、堆積層区域および火成岩類区域の崩壊・土石流の侵食域はシラス区域のそれよりやや大きい傾向にある。

表4は、地質区分ごとに集計した侵食域面積、平均崩壊深を50cmとした場合の侵食土砂量を示したものである。3地質区分の比侵食土砂量を比較すると、シラス区域で大きく、次いで堆積層区域、火成岩類区域の順となっている。

表1 斜面崩壊・土石流による侵食土砂量

区 域	区域面積 km ²	侵食域面積 ×10 ³ m ²	侵食土砂量 ×10 ³ m ³	比侵食土砂量 ×10 ³ m ³ /km ²
思川流域	60.72	999	500	8
甲突川流域	106.04	1,309	655	6
稲荷川流域	30.60	55	28	1
吉野区域	9.48	17	9	1
カルデラ壁区域	7.52	109	55	7

表2 斜面崩壊・土石流による土砂氾濫域面積

区 域	区域面積 km ²	土砂氾濫域面積 ×10 ³ m ²	1 km ² あたりの 土砂氾濫面積 ×10 ³ m ² /km ²
思川流域	60.72	1,545	25
甲突川流域	106.04	959	9
稲荷川流域	30.60	122	4
吉野区域	9.48	58	6
カルデラ壁区域	7.52	133	18

表3 斜面崩壊・土石流による土地被害面積

区 域	区域面積 km ²	被害面積 ×10 ³ m ²	1 km ² あたりの 被害面積 ×10 ³ m ² /km ²	区域面積に占める 土地被害面積率 %
思川流域	60.72	2,544	42	4.2
甲突川流域	106.04	2,268	21	2.1
稲荷川流域	30.60	177	6	0.6
吉野区域	9.48	75	8	0.8
カルデラ壁区域	7.52	242	32	3.2

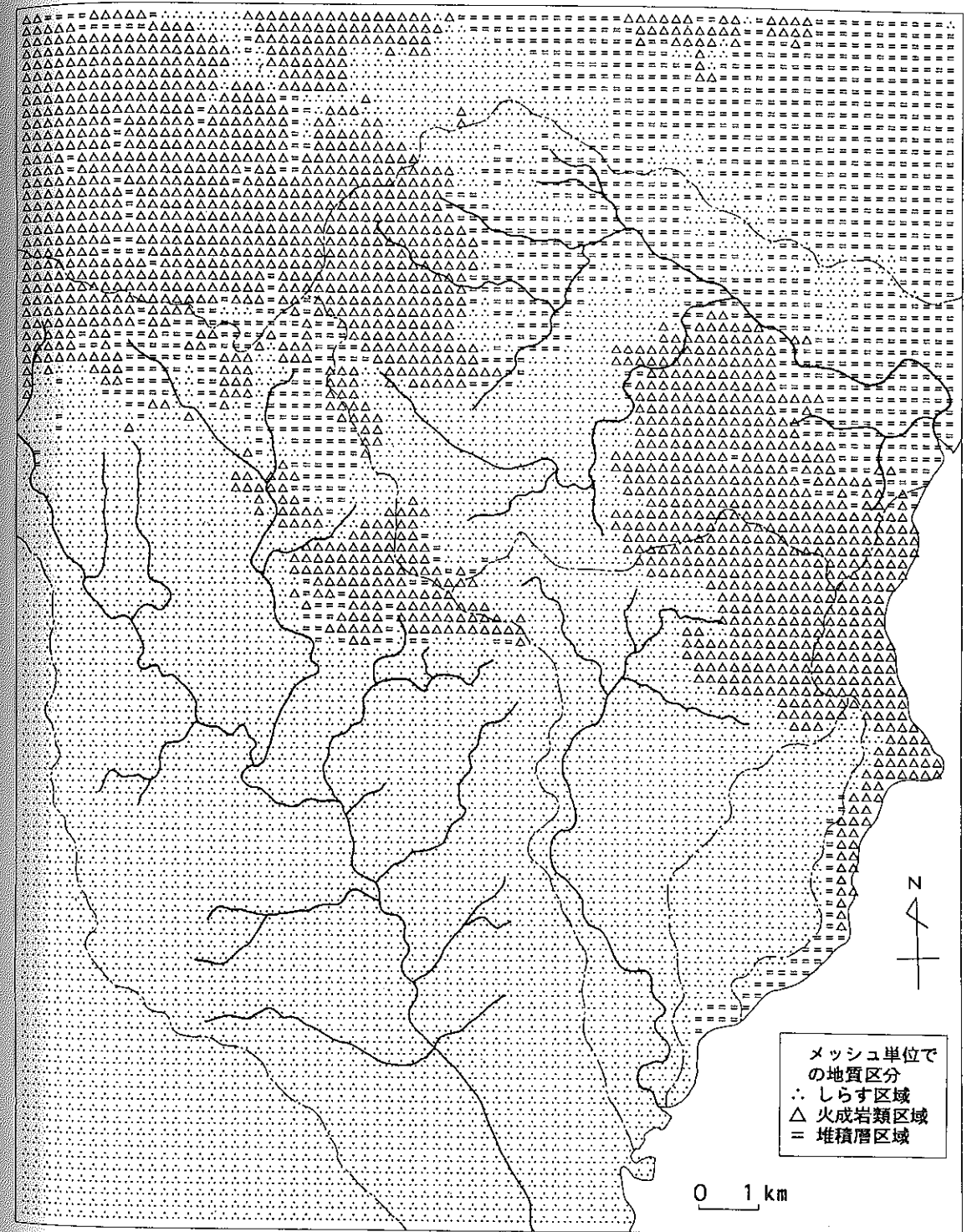


図12 空中写真判読区域のメッシュ単位での地質区分

8・6 豪雨における崩壊土砂の挙動

京都大学防災研究所 江頭進治
 横山康二
 (株)ニュージェック 大槻英樹

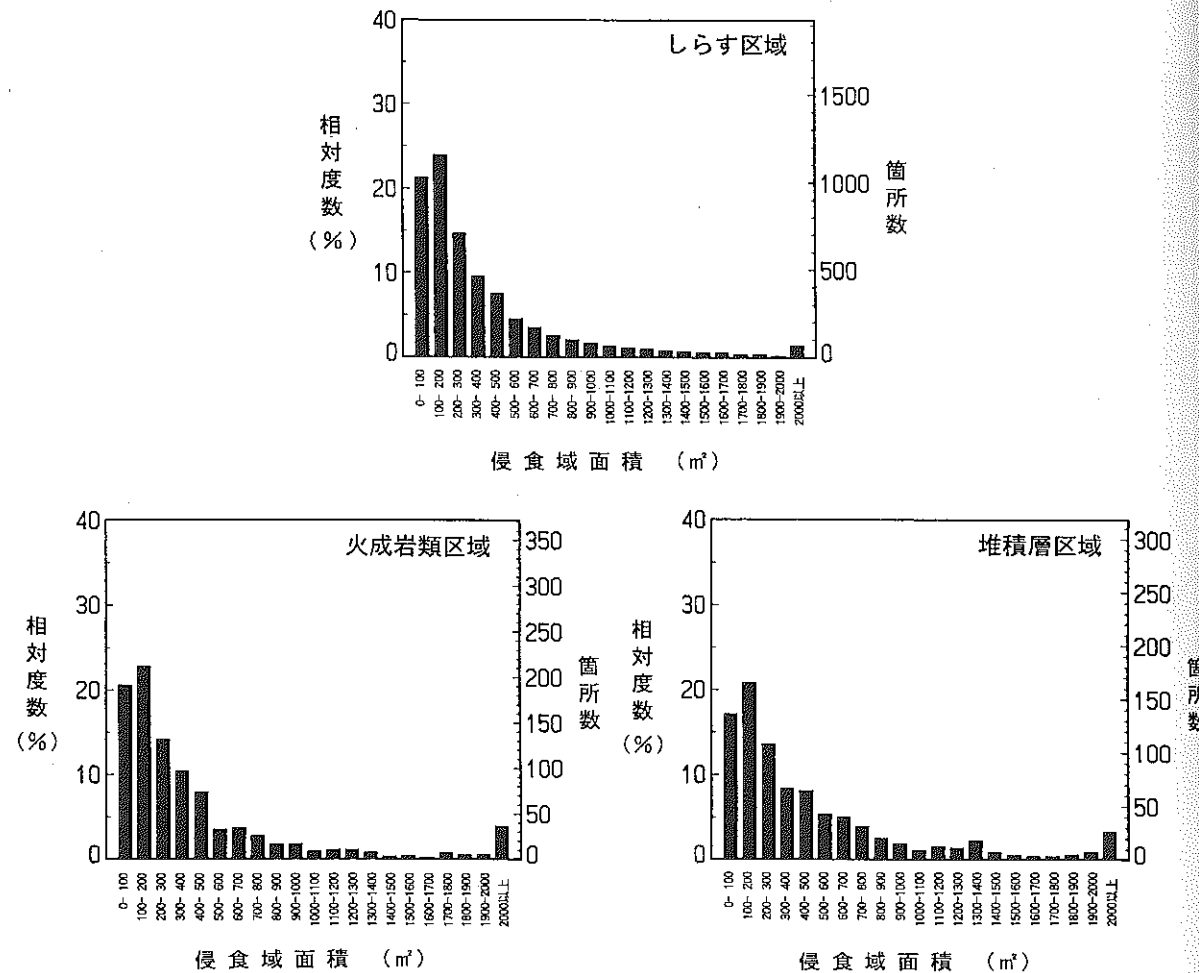


図13 3地質区分ごとの斜面崩壊・土石流による侵食域面積のヒストグラム

表4 地質区分ごとの斜面崩壊・土石流による侵食土砂量

区 分	区域面積 km ²	侵食域面積 ×10 ³ m ²	侵食土砂量 ×10 ³ m ³	比侵食土砂量 ×10 ³ m ³ /km ²
シラス区域	174.76	1,883	942	5
火成岩類区域	70.44	447	224	3
堆積層区域	51.20	403	202	4

参考文献

1) 鹿児島県(1990): 鹿児島県地質図(縮尺10万分の1)

1. はじめに

1993年7月から9月にかけて、九州南部は梅雨前線豪雨、集中豪雨、台風とそれに伴う豪雨にみまわれ、各地で斜面崩壊・土石流、洪水氾濫が頻発した。そのため、とくに鹿児島県下においてありとあらゆる分野に大きな被害が発生した。県災害対策本部の調べによると、9月6日現在、死者・行方不明者数119人、住家の全・半壊1,604棟、床下浸水を含めた住家の被害総数52,140棟にも及んでいる。死者・行方不明者数を災害別にみると、7月梅雨前線豪雨9人、8月1日豪雨23人、8月6日豪雨49人、台風7号5人、台風13号33人となっている。これらの犠牲者の殆どは崩壊・土石流によるものである。8月6日の集中豪雨の犠牲者についてみると、約半数が市内国道10号線に沿ったシラス斜面の崩壊の犠牲者であることから分かるように、犠牲者の分布は、住環境の局所的な地形条件に依存している。

このような土砂災害から生命・財産を守るためには、その予知・予測技術の向上とハード・ソフト面からの対策が必要であり、各方面において努力されているところである。土砂災害対策をより有効に推進するためには、発生時期と場所および規模、ならびに危険範囲に関する予測技術の向上が不可欠である。本調査研究においては、とくに崩壊に伴う危険範囲に着目し、崩壊土砂の移動過程の実態ならびに移動速度に関する解析を行う。

2. 崩壊土砂の流出の実態

鹿児島県吉田町の国道10号線に沿った平松地区から磯地区の区間において、空中写真、踏査および簡易測量を通して、崩壊土砂の流出の実態を調べた。なお、この地域では、道路に沿って典型的な崖状の地形が連なっており、崖の上部は台地で宅地化されている。崖下には海岸がせまっており、比較的勾配の緩い部分や平地に集落が形成されている。

図1(a),(b)は、空中写真を用いて崩壊土砂の流出経路および堆積範囲を読みとったものである。図中の番号は、崩壊およびその流出経路を区別するために付けられている。図からも分かるように崩壊は全て30°~50°の急斜面で発生し、その殆どはいわゆる“流れ”(土石流)を形成して流出している。流出の範囲、すなわち到達範囲は崩壊の規模と地形の影響をかなり受けている。この地区においては、海岸に沿って鉄道と道路が平行して走っており、崩壊土砂がそこまで流出するか否かは、災害対策上、重要な意味をもっている。そこで、番号を付けた崩壊について道路を基準にこれより上流で停止しているものと道路や海まで流出したものを調べると、上流で停止したものはNo.2, 7および14の3箇所であり、それ以外は全て道路および海まで流出している。この事実は、この地域がいかに崩壊による災害の危険性が高いかを物語っている。道路より上流で停止・堆積したものは、崩壊規模が小さいか、あるいはその流出経路に勾配の緩い区間が存在していることが分かる(図2参照)。

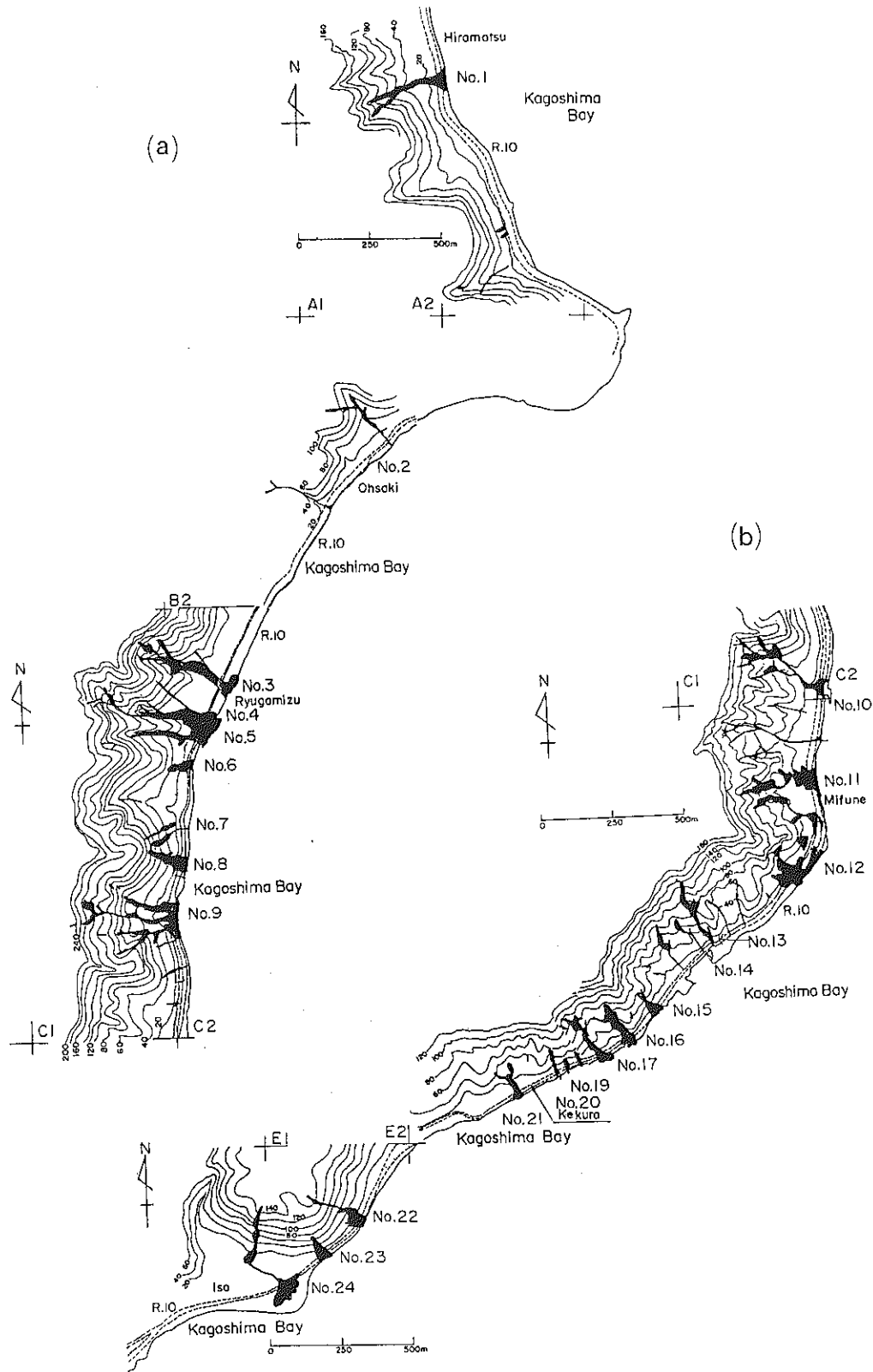


図1 崩壊分布と崩土の堆積範囲

なお、道路面の標高は場所によって高低はあるものの、おおよそ10m程度である。

3. 崩壊土砂の移動速度

崩壊土砂が移動を開始してから停止（移動速度0）するまでの領域はいわゆる危険範囲に相当し、それに応じた土地利用が必要である。また、災害危険度や危険範囲を軽減するためにハードな対策を実施する場合、高速で移動する領域と低速で移動する領域での構造物の種類と規模は異なり、低速域においては、シンプルで経済的な構造物を設置すれば十分な効果が期待できる場合もある。このように、崩壊土砂の移動速度に関する知見は、より有効な対策を実施する上で重要な情報を提供する。

流出径路における移動速度の予測法には、質点系の支配方程式を用いる方法、一次元支配方程式による方法および平面2次元支配方程式による方法があって、これらはそれぞれ解析対象と目的の違いに応じて使い分けられている。ここでは、精度の面では十分とは云えないが、最も容易な質点系の支配方程式に基づく芦田・江頭らの方法^{1),2),3)}を図1に示すNo.1~No.24の崩壊に適用しよう。

芦田・江頭らによれば、崩壊土砂の形状が三角形で近似でき、移動過程における侵食・堆積の影響が無視できるとき、斜面上における崩壊土砂の運動は、無次元移動速度、無次元時間および無次元距離を用いれば次式で与えられる。

$$\frac{dv'}{dt'} = -av'^2 + b \quad \dots\dots\dots (1)$$

あるいは

$$v' \frac{dv'}{dx'} = -av'^2 + b \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

$$v' = v/\sqrt{gh}, \quad t' = t\sqrt{g/h}, \quad x' = x/h$$

$$a = 2(\rho/\rho_m) f_b$$

$$b = \cos \theta \{ \tan \theta - \mu_k c(\sigma - \rho) / \rho_m \}$$

$$\rho_m = (\sigma - \rho)c + \rho$$

である。 v' 、 t' 、 x' はいずれも無次元の移動速度、時間および距離である。 g は重力の加速度、 f は流動抵抗係数、 h は土砂の移動厚、 σ は土粒子の密度、 ρ は水の密度、 ρ_m は水と土砂の混合物の密度、 c は土砂濃度、 μ_k は崩壊土砂の動摩擦係数で静摩擦角の0.8倍程度、 θ は斜面勾配である。

ここでは移動速度の時間的な変化を知るよりも、その場所的な変化を知る方が有用な情報が得られる。そこで、式(2)を $x'=0$ において $v=v_0$ として解けば次式を得る。

$$v' = \left\{ v_0'^2 e^{-2ax'} + \frac{b}{a} (1 - e^{-2ax'}) \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (3)$$

上式によれば、十分に長い勾配一定の斜面を移動するとき、移動速度は $v=\sqrt{gh}(b/a)^{1/2}$ に漸近する。

崩壊土砂の移動経路をいくつかの折れ線で近似し、最上流の斜面の上端（崩壊発生点）で $v_0=0$ としてその斜面の下端の移動速度を求め、これをその下流の斜面の上端の境界条件(v_0)として与えれば、各斜面の下端（折れ点）の移動速度が次々に求められる。

なお、式(1)および(2)からも分かるように、崩壊土砂はどこまでも運動を継続するわけではなく、勾配がある限界値以下であれば減速して停止する。停止限界の勾配の条件は、 $b=0$ としたときの勾配で与えられる。これよりも勾配が緩く、減速して停止するための距離があれば崩壊土砂の運動は停止する。

流出径路に沿った移動速度は、図1のNo.1～No.24の全てについて算定された。計算に用いた諸量は、 $f=0.02$ 、 $h=2\text{m}$ 、 $\sigma=2.65\text{g/cm}^3$ 、 $\rho=1.0\text{g/cm}^3$ 、 $c=0.5$ 、 $\mu_k=0.65$ である。

以上の計算において道路よりも上流で停止したものは、No.2, No.7およびNo.10の崩壊で、これら以外のものは全て道路や海まで流出した。これは、2章で述べた実態にほぼ一致している。

次いで、流出径路における移動速度の分布に関する2～3の例をみる。図2(a),(b)は、道路より上流で停止したNo.2およびNo.10の例である。図には、計算に用いられた流出径路の縦断形状と移動速度が示されている。図3(a),(b)は、道路および海まで流出したNo.3およびNo.21の計算例である。図4はNo.24の計算例である。図1を参照すれば、No.24の崩壊は崖下で一旦停止した後、土砂は二次侵食によって海岸部まで流出している。

図示のように、崩壊土砂の移動速度は勾配の影響を強く受け、緩い斜面から急な斜面へ入ると加速され、その逆の場合には減速され、停止条件が満たされるような領域までくると停止する。

4. おわりに

1993年8月6日の集中豪雨によって激甚な被害を受けた国道10号に沿った平松地区から磯地区の区間を対象として崩壊土砂の流出の実態を調べるとともに、崩土の移動速度に関する計算を行った。これらの結果より、崩壊土砂は、殆どの場合道路・海岸まで流出することが示された。これらは今回の崩壊土砂についての結果であるが、崩壊が発生しなかった斜面において、仮に発生したとした場合にも、ほぼ同様な結果になることは容易に推察される。

このように、解析の対象とした地域の生活の場は、崖と海岸に挟まれた狭い地域に制限されており、土砂災害に対して安全な場所を捜すのが難しいようなところである。これに対し、国や自治体において防災対策が実施され、その効果が発揮されているのも事実である。ここで示した方法は、移動経路に沿った崩壊土砂の運動量や運動エネルギーを簡単な解析によって与え

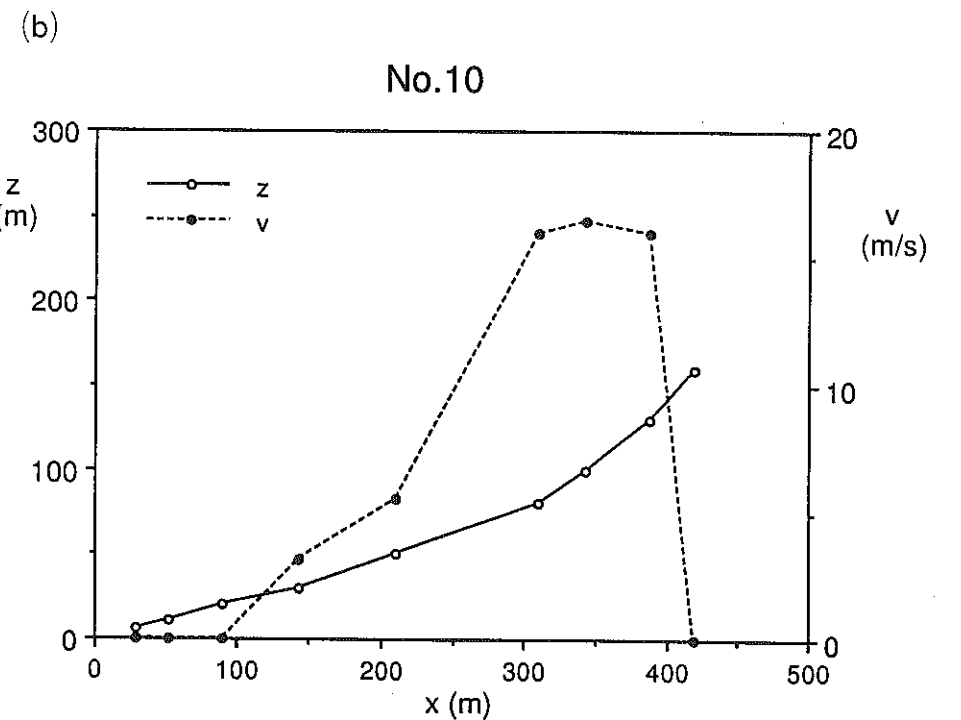
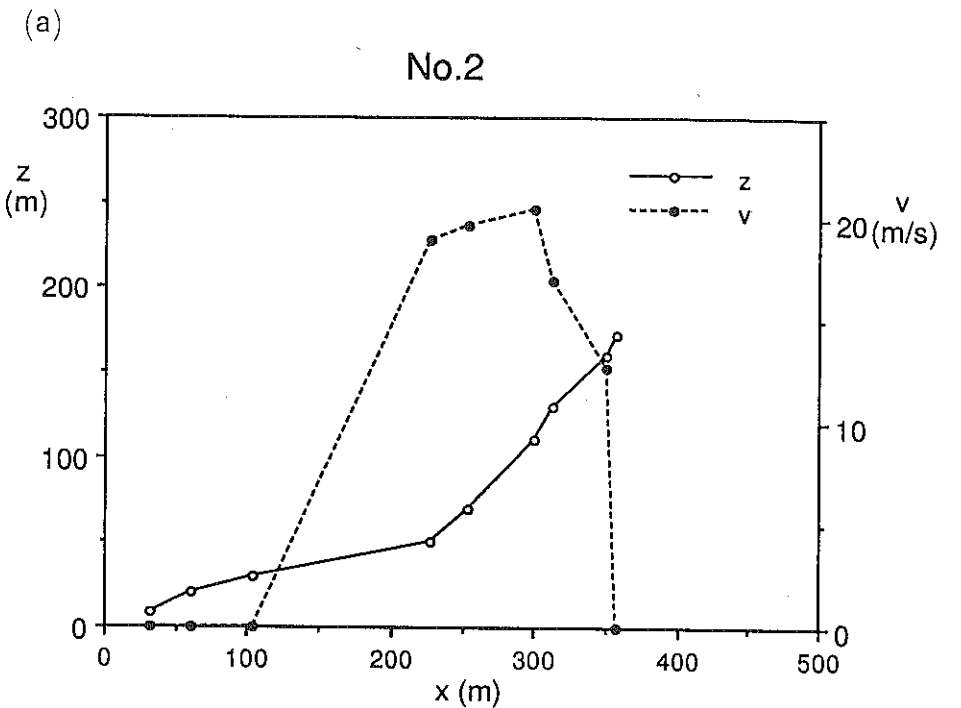


図2 移動速度の分布(道路より上流で停止)

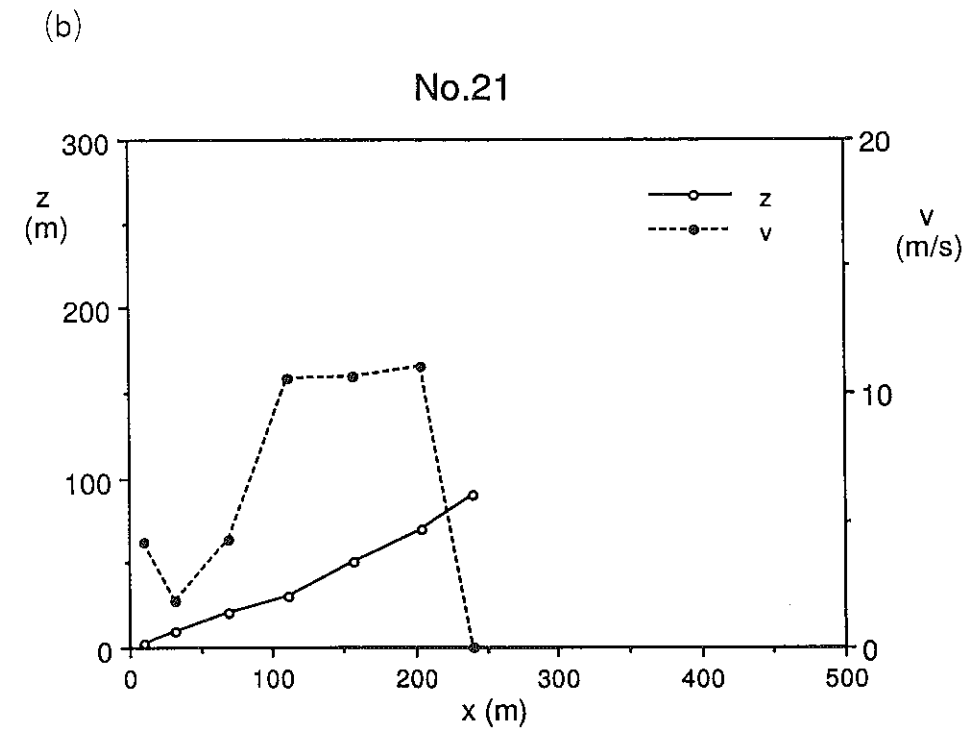
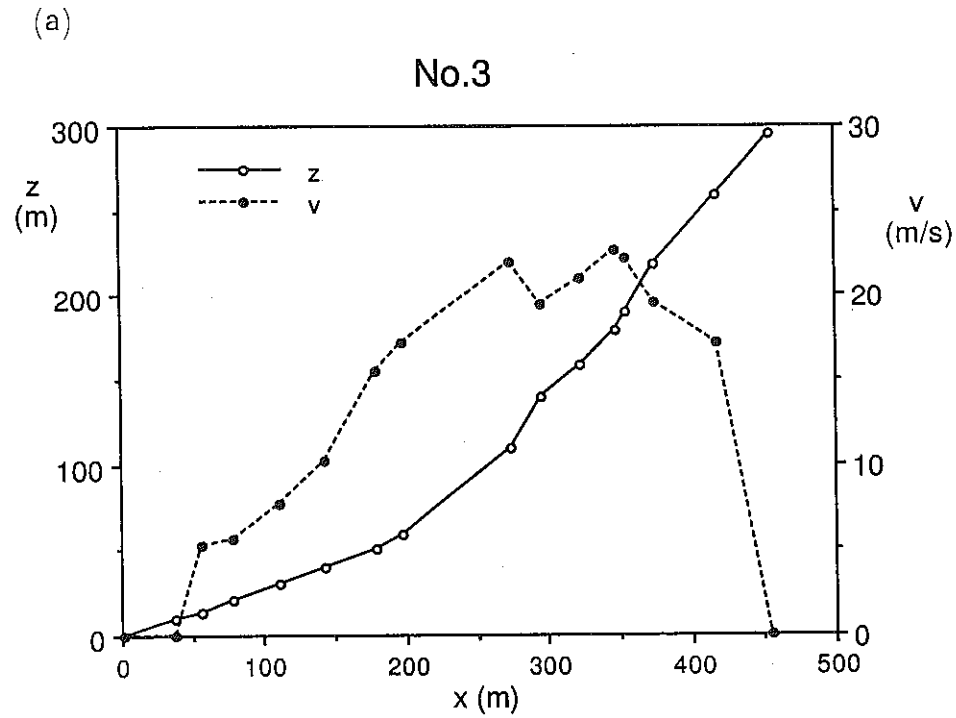


図3 移動速度の分布(道路および海まで流出した例)

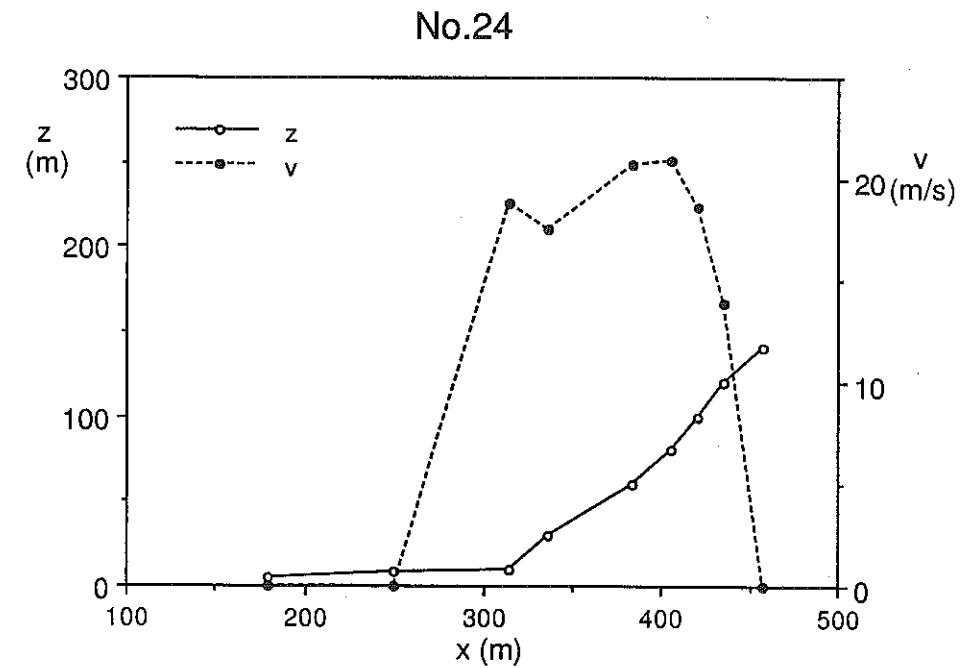


図4 移動速度の分布(一旦停止したが2次浸食を受けて流出した例)

るものであって、土砂災害対策のための有用な情報となれば幸いである。

最後に、本調査を行うに当たり、建設省鹿児島国道事務所、鹿児島県、鹿児島大学理学部岩松 暉教授、同工学部浅野敏之助教授には種々御協力いただいた。京都大学防災研究所里深好文助手、同吉田義則技官には資料解析でお世話になった。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 芦田和男・江頭進治・大槻英樹(1983)：山腹崩壊土の流動機構に関する研究。京大防災研年報，26号B-2，315-317.
- 2) 芦田和男・江頭進治・神矢弘(1984)：斜面における土塊の滑動・停止機構に関する研究。京大防災研年報，27号B-2，331-340.
- 3) 芦田和男・江頭進治(1989)：崩壊・土石流の発生と土砂災害の危険範囲。1988年7月島根・広島豪雨災害の調査研究(研究代表者・芦田和男)。文部省科学研究費突発災害調査研究成果，No.B-63-2，8-21.

1993年鹿児島豪雨による甲突川等の河川災害

鹿児島工業高等専門学校 疋田 誠
九州大学工学部 平野 宗夫

1. まえがき

平成5年(1993年)の夏、鹿児島県下は豪雨・台風の来襲が相次ぎ、冷夏となった。鹿児島地方気象台の年雨量4022mm、7月の月雨量1054.5mmはいずれも記録最大、地球規模での異常気象が原因のようである。鹿児島県中央部の鹿児島市及び郡山町に降った雨量は、県庁所在地の中心部を直撃、甲突川は8月6日と9月3日氾濫、約13,000棟浸水の大惨事となった。150年間健在で歴史的土木構造物であった市内の五石橋の内、二石橋流失は未曾有の雨量を象徴する。鹿児島県の調べで1993年の夏、豪雨による死者・行方不明121名、被害額約3,002億円に達している。

2. 豪雨災害の特徴と問題点

1993年夏の鹿児島県下の河川災害の特徴と問題点を鹿児島市街部を流れる甲突川を中心に述べると次のようである。①鹿児島市は県人口の約1/3(約54万人)を占める一極集中の過密都市である。人口の密集した県庁所在地を直撃した家屋の浸水は市民にとって、経験のない氾濫であった。二級河川における豪雨災害時の情報伝達や避難誘導の方法が問題になった。②1993年の鹿児島市の雨量は史上最高である。鹿児島地方気象台のアメダス雨量観測網にない甲突川中流の郡山町役場で時間雨量99.5mmを記録、下流の鹿児島地方気象台の63.5mmよりかなり大きい。局地的な雨量情報の活用が問題となった。③鹿児島市周辺は大部分火山灰土壌のシラス台地で、中小河川のピーク流量を求める合理式の流出係数は他地域に比べてかなり小さい。計画流量の算定根拠が問題視された。④150年間健在の歴史的土木構造物であり、岩永三五郎が甲突川に架けた現存する六つの石橋(上流から河頭太鼓橋・玉江橋・新上橋・西田橋・高麗橋・武之橋)の内、新上橋と国内最長五径間の武之橋が流失。市民運動の形で、玉江橋より下流の五石橋の文化財としての現地保存と治水のための石橋撤去が意見対立した。⑤甲突川改修の年間予算は2億円程度。現況の流下可能流量約300m³/sの約2倍の流量がピーク時に出水、氾濫した。鹿児島県の独自予算では、県内の川内川下流の市街化区域の拡幅、肝属川のシラス台地をくり抜く分水路のような抜本的な計画は困難である。県都の河川改修事業費の念出が大きな問題となった。

3. 気象特性

鹿児島地方気象台の1993年の月雨量を平年と比較すると、図1のようである。6~9月が平年の2~3倍の雨量となっている。図2は平均湿度で、1~5月は低く、7~9月は高くなっている。図3は平年(過去10年,1979~1988年)に対する1993年の毎日の最高気温と最低気温の増減傾向を示したものである。梅雨末期の7月上旬、8月1日、8月6日、9月3日(台風13号)頃の最高気温は著しく低い。冷夏であったことがわかる。

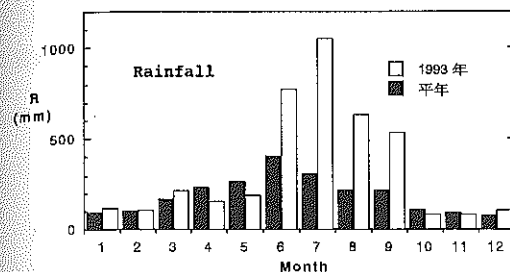


図1 月雨量の推移(1993年vs平年)

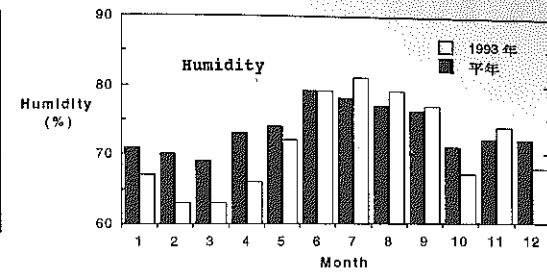


図2 平均湿度の推移(1993年vs平年)

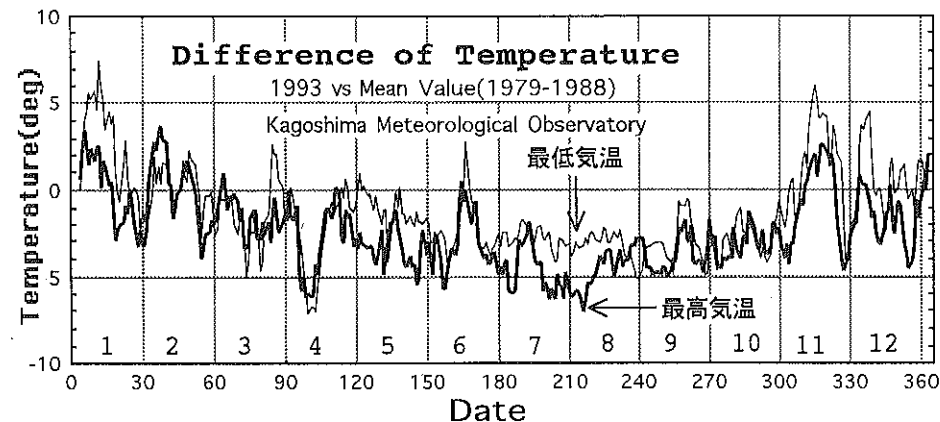


図3 最高気温と最低気温の差の推移(1993年vs平年)

4. 豪雨の年超過確率と甲突川の氾濫の関係

鹿児島地方気象台における過去111年間(資料:1883年以降)の観測資料に基づき、岩井法による雨量の年超過確率を求めると、表1のようである。7月と9月及び年雨量は観測記録を更新している。1993年の鹿児島県下の大きな水害は、8月1日、8月6日及び9月3日に発生している。甲突川流域はシラスで覆われており、畑地の浸透能¹⁾は0.2~0.35とかなり小さい。7~9月の月間雨量は未曾有の大きな値であったために、甲突川上中流域の浸透能が大幅に低下、先行降雨の影響を強く受け、8月上旬及び9月上旬の甲突川下流域(鹿児島市街部)は氾濫し易い状態にあったと推察される。

表1 鹿児島地方気象台の雨量の年超過確率

	雨量記録	第何位	岩井法
年最大時間雨量	63.5mm	9位	10年
年最大日雨量	259.5mm	2位	48年
6月雨量	775.0mm	7位	18年
7月雨量	1054.5mm	1位	213年
8月雨量	629.5mm	2位	87年
9月雨量	532.0mm	1位	66年
年雨量	4022.0mm	1位	828年

5. 鹿児島県下の災害の被害状況

鹿児島県の災害報告による被害状況は、表2の通りである。ただし、9/3には9/20の日吉町の被害も含む。

表2 鹿児島県下の災害の被害状況(1994.2.7確定)

		6/12-7/8	7/31-8/2	8/5-8/6	8/8-8/9	9/3	合計
人的被害(人)	死亡	9	23	48	5	35	120
	行方不明	-	-	1	-	-	1
	重傷	4	9	12	4	18	47
	軽傷	10	69	52	10	160	301
	計	23	101	113	19	228	730
住宅被害(棟)	全壊	29	148	299	26	228	730
	半壊	33	108	193	47	706	1,087
	一部破損	153	222	588	988	31,879	33,830
	床上浸水	100	1,168	9,378	24	1,382	12,052
	床下浸水	819	4,763	2,754	329	3,883	12,548
	計	1,134	6,409	13,212	1,414	38,078	60,247

6. 国道10号の竜ヶ水地域の土石流災害と雨水の関係

鹿児島市周辺部では豪雨によるシラスの崖崩れ、土石流が多発した。中でも8月6日夕刻、鹿児島市北部の国道10号沿いの竜ヶ水地域では土石流のため、車約800台と地元住民や移動中の車や列車の乗客ら約2,500人が閉じ込められ巡視船等で救援される大惨事が発生した²⁾。鹿児島市の調べでは死者14名である。竜ヶ水地域では過去幾度も土石流災害が起きている。8月6日に氾濫した稲荷川下流域も鹿児島市北部に位置し、竜ヶ水地域と同様、吉野台地を源流とする。

板垣等²⁾は「くずれた崩土は花倉層を上から覆っていた崖錐性堆積物が主体であり、発生時刻では雨も少なく、これまでの累積した降雨、特に台地からの浸透水等が大きな原因と思われる」と、春山・下川等³⁾と同様の指摘を行っている。竜ヶ水地域の土石流流出のメカニズムを究明するために、8月6日の災害直後、現地踏査を行い、航空写真による災害状況の把握、地形図を調べ、考察を行った。

国道10号沿いの竜ヶ水地域の斜面は急峻である。大崎鼻付近の山頂を $x=0$ 、南方に国道10号に沿う海岸線を x 軸、吉野台地に向かって水平直角に y 軸、標高を z 軸とする。図4は横断形状 ($y \sim z$ の関係) で、崩壊発生地点・山頂および吉野台地の谷部の値にそれぞれ添字1,2,3をつける。図5は縦断形状 ($x \sim z$ の関係) を示す。いま、シラス台地に降った雨の流出を、 x と y 、2方向について考える。図6の横軸は山頂と崩壊地点に至る水平距離 $y_2 - y_1$ (斜面に降った雨水に比例)、縦軸は崩壊地点の標高 z_1 で、 $z_1 = 80\text{m} \div$ 一定となった。小林ら⁴⁾は地質学的に国道10号沿い竜ヶ水地域の不透水層(安山岩)を調べ、その標高は最高50~100m位であることを示している。この値は z_1 にほぼ一致する。図7は崩壊発生地点から吉野台地の谷部に至る浸潤線の動水勾配 $(z_3 - z_1)/(y_3 - y_1)$ で、 $\tan \theta \div 0.128$ 、 $\theta = 7.3^\circ \div$ 一定である。崩壊発生地点より斜面上流の勾配 $(z_2 - z_1)/(y_2 - y_1)$ は、動水勾配に比べてかなり急である。

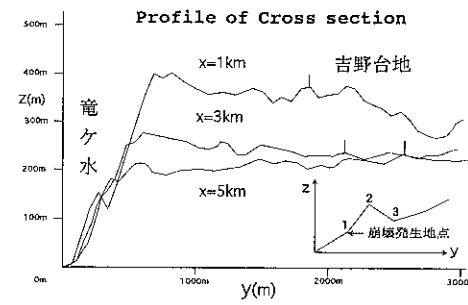


図4 吉野台地の横断形状

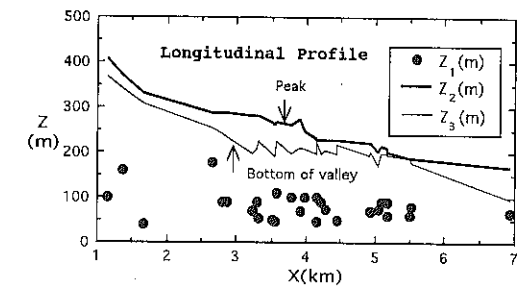


図5 吉野台地の縦断形状と崩壊発生地点

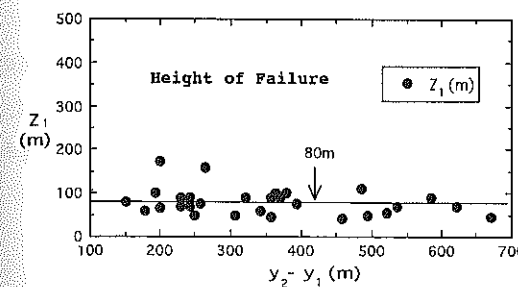


図6 崩壊発生地点の標高

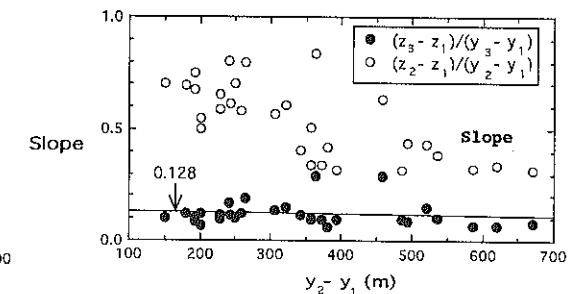


図7 台地からの浸透水の動水勾配

斜面長 $y_2 - y_1$ が長くなると、崩壊発生地点より上流の斜面が緩やかでも、容易に土石流が発生することを示す。

以上から、山頂から土石流発生点に至る斜面長に無関係に土石流が発生したこと、土石流発生地点はシラス斜面の標高80mに集中したことがわかる。吉野台地に降った豪雨が地表面下に浸透、国道10号沿いに竜ヶ水地域で土石流の姿で目前に現われた、と推測される。今後、南九州特有のシラス河川の計画流量の算定に際し、長期降雨に伴うシラス土壌の雨水の浸透能特性を十分考慮する必要がある。

7. 天降川の豪雨による浸水被害

国分市と隼人町の調査資料を参考にしながら、8月1日の水害後、天降川の現地踏査を行い、天降川の浸水実績図(付録の1993年鹿児島豪雨災害浸水図、縮尺1/50,000)を作成した。

天降川は鹿児島湾北部に注ぎ、国分平野を形成する。江戸時代に灌漑用水がつくられ、左岸の松永用水経路で国分市に、右岸の宮内原用水経路で隼人町に導水されている。8月1日、鹿児島県中央部の豪雨により河川災害が発生、隼人町で死者6名・床上浸水456棟・床下浸水555棟、国分市で死者7名・床上浸水83棟・床下浸水1618棟の被害を出した。江戸時代の旧天降川は隼人町日当山経路で東方に左折、国分市街地を通り、錦江湾に向っている。現在の天降川は日当山から南方に直進、新川の名称で海に注ぐ。8月1日の天降川下流域の浸水は、天降川の本川の増水に伴い各水門を閉じたため、全て内水による浸水である。本川沿いの多くの田圃や家屋

が冠水している。天降川の国分市街部に至る堤防の決壊はない。国分市内の浸水区域は大部分が田圃であったため、被害は比較的小さい。国分準人地域は現在、県下で人口が最も増大傾向にあり、田圃の宅地化が急速に進んでおり、鹿児島市の甲突川と同様、将来豪雨があれば浸水被害も飛躍的に増大するようになる、と危惧される。

8. 鹿児島市内の豪雨による浸水被害

鹿児島市の中心部を流れる甲突川と稲荷川は、鹿児島湾西部に注ぎ、鹿児島市街部を流れる都市河川である。甲突川は8月6日に氾濫（以下8・6水害とよぶ）、市内の死者・行方不明47名、床上浸水9014棟、床下浸水1926棟の被害を出した。9月3日には台風13号が来襲、床上浸水480棟、床下浸水914棟に達した。年に2回も氾濫した。甲突川の氾濫形式は、明治の頃は堤防決壊、現在は堤防を横断する排水孔経由の逆流及び堤防の越流による溢水である。鹿児島県による鹿児島市街を流れる3河川の8・6水害の浸水状況を表3に、河川の模式図を図8に示す。

8・6水害後に、現地で写真撮影と河川測量を実施、鹿児島市内を流れる甲突川と稲荷川の浸水実績図（付録の1993年鹿児島豪雨災害浸水図、縮尺1/10,000）を本川筋を中心に作成した。さらに、災害直後の航空写真や地形を収集、明治以降の大氾濫の様子を記述した新聞や土地利用図を閲覧、分析を行った。

表3 鹿児島市の8・6水害の浸水状況

	流域面積		浸水面積	浸水家屋
甲突川	106km ²	鹿児島市	4.24km ²	11,586戸
		郡山町	約1.2km ²	約150戸
稲荷川	32km ²	鹿児島市	0.24km ²	793戸
新川	19km ²	鹿児島市	0.53km ²	1,379戸

9. 甲突川の浸水状況

8・6水害の甲突川の氾濫状況を調査、郡山町小山田地点より下流、甲突川本川沿いに浸水図を作成した。地上からの最大水位を1m刻みで等深線表示した。以下、上流から下流に向かって氾濫状況を説明する。氾濫幅は下流に向かって次第に広がり、勾配の緩やかな区域、凹地では大きな水深を示す。河頭中学校地点には河頭太鼓橋（石橋）があり、右岸堤防から越水による遊水池が生じ、同中学校校庭に大量の土砂が堆積、水深は3mに達した。浸水の著しい区間は、田中宇都橋～新上橋（石橋）である。玉江橋（石橋）より上流の岩崎橋地点では左岸側から支川の山崎川が合流する。山崎川の本川に合流する箇所では河幅が狭く、山崎川の凹地に浸水区域がみられる。岩崎橋～玉江橋間の本川と国道3号の間の凹地は旧甲突川とみられ、水深は2mに達する。本川水位が上昇（17:30以降）したため、排水孔経由の逆流現象が堤内地の各所で起った。この傾向は下流の武之橋（石橋）地点まで続き、最初に排水孔からの逆流、次に、河川水位上昇に伴う堤防越流による氾濫が起こっている。

玉江橋地点では右岸側、新上橋地点では左岸側が急峻な山となっている。このため、岩崎橋～玉江橋間で本川を溢れた水は左岸堤防を越流し、国道3号を下った。国道3号は水路と化し、水流はJR橋下を通過、平田橋～西田橋（石橋）間の左岸堤防からの越水と合流、天文館に向かい、

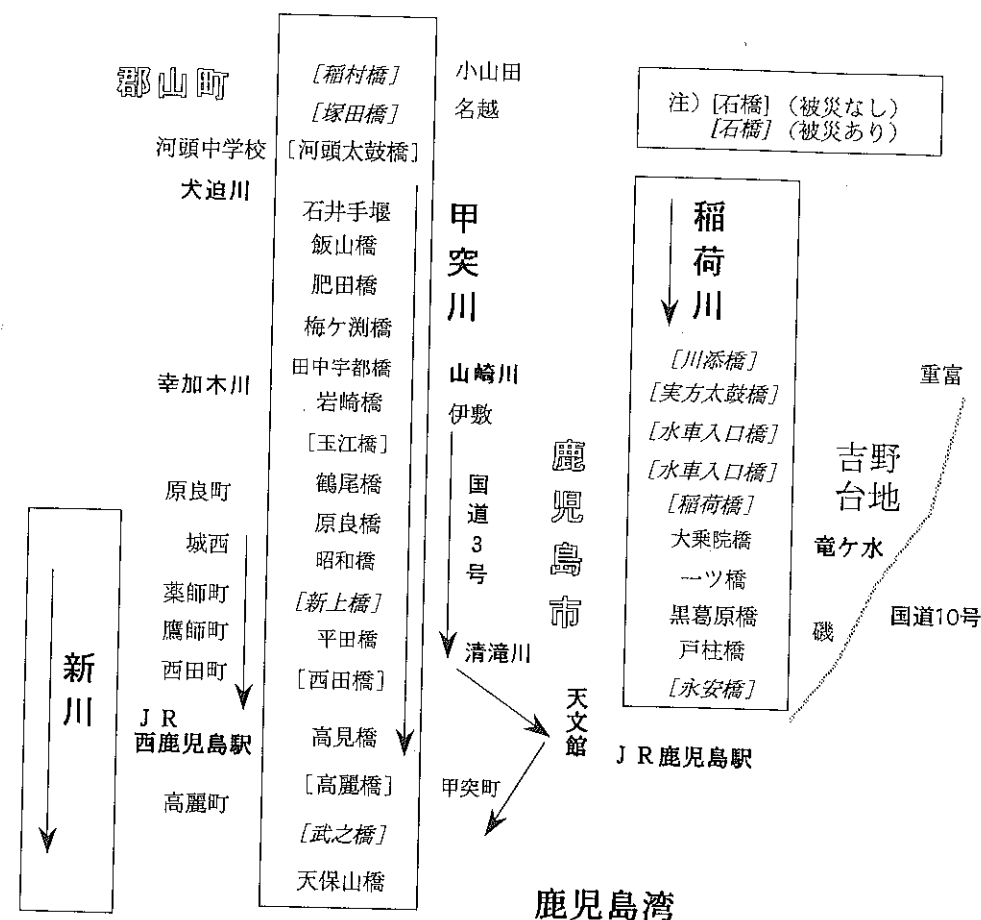


図8 鹿児島市内を流れる河川の模式図

旧甲突川である清滝川沿いを流下した。最下流域の甲突町一帯では満潮と重なったため、深夜まで浸水が続いた地域がある。国道3号の水流の一部は、途中の原良橋（左部流失）～昭和橋（右部流失）間で、左岸側から本川に再び合流している。対岸の右岸側では本川を溢れた水は、城西・薬師・鷹師・西田地区を通過、西鹿児島駅前から左折南下、下流の高麗町に向かう。新上橋上流付近の流れの勢いの中心は新上橋（石橋、中央部流失）に激突した。高麗橋（石橋）付近は両岸が高く、堤防からの越水はみられない。

高麗町の浸水は、西鹿児島駅付近から南下した流水、内水、及び武之橋（石橋）の堰上げと本川水位の上昇に伴う逆流防止のための水門閉鎖、これら3原因が重なり被害を大きくしている。

著者らの浸水調査結果及び鹿児島県の洪水河道流下推定図⁵⁾を見ると、石橋地点で大きな水位差が生じている。石橋崩壊の原因として、最初に武之橋（20:35）次に新上橋（21:00）が急激な水位上昇による水圧で崩壊したと推測される。新上橋では、崩壊直前まで上流からの浮流物（ドラム缶等）が繰り返し衝撃を与えていたとの証言もある。150年の石材劣化も無視でき

ない。鹿児島新港における潮位は、満潮 (21:30) でTP+1.19m、次の干潮 (3:45) でTP-0.77mであった。満潮の浸水に対する影響は、甲突町では大きかったが、高麗町では水門を閉鎖したため、ほとんどなかったようである。

10. 甲突川の河床変動と流下能力

甲突川の現況流下可能流量を、小牧⁶⁾は1972年に新上橋で186m³/s、玉江橋で174m³/s、増留⁷⁾は鹿児島県の水理模型実験の結果、1984年に西田橋下流で306m³/s程度であると指摘している。

図9は8・6水害前後 (1985年、1993年10月) の最深河床と堤防高の縦断形状の比較である。8・6水害後に土砂堆積の著しい石井手堰 (9.0km地点) 付近を除けば河床は安定状態にある。河床勾配は0~2kmで1/1300、2~9kmで1/900程度。甲突川の橋を全て除去し、等流とみなした場合の流下可能流量を計算する。粗度係数をn=0.03、法面勾配を1:0.5、両岸で低い側の堤防高と最深河床高の差を各断面の水深とおく。計算では横断形状を単断面を仮定しているが、実際には砂州が生じ、複断面であり、新上橋 (3.3km地点) より下流では感潮区間で不等流域となる。このため実際の流下可能流量はさらに小さくなる。1985年に較べると、1993年の流下能力の計算値は、梅ヶ淵橋 (7.3km地点) より河口に至る全区間であまり変化していない。新上橋上流 (3.3~4km地点) の両岸の堤防高は低く、最も越水し易く、流下能力は300m³/s程度である。梅ヶ淵橋より上流では、災害後に河床が上昇、流下能力が低下している。

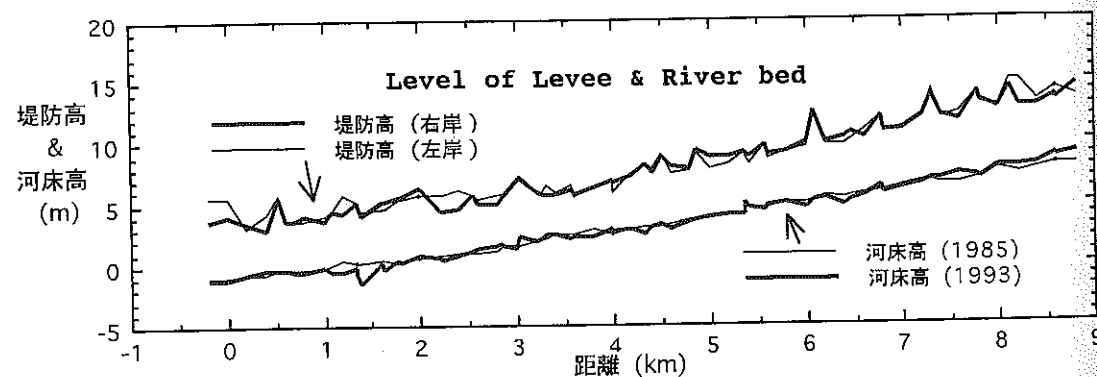


図9 甲突川の堤防高と河床高

11. 甲突川の氾濫の歴史と岩永三五郎の河川工法

8・6水害の調査結果に基づき、県立図書館蔵の新聞のマイクロフィルム・文献⁷⁾を調べると、興味ある事実が浮かぶ。

明治40年 (1907年) 7月6日の豪雨の最高水位⁸⁾は、下流に向かって、①河頭太鼓橋と玉江橋の中間の石井手堰付近で「伊敷村内にて浸水の最も甚だしかりしは上伊敷字飯山 (石井手の下) ならんか、床上3~4尺に及びしも人畜は勿論家屋等の損害なかりし」、②玉江橋左岸上流で「玉江橋の上流にて伊敷兵舎前の市街地の少し上手に当る堤防十数間破壊せるあり、此処より溢せし急流は伊敷市街地に疾走し (中略) 多くは床上2~3尺の浸水の痕跡あり」、③新上橋以北

では、「左岸上流の国道の河に面せし部分いずれも床上1~2尺に及ぶ」とある。玉江橋下流の当時の写真を見ると一面海の惨状を呈する。明治の頃の家屋の床高を1~3尺=0.3~0.9mとみなすと、各々地上から①1.2~2.1m、②0.9~1.8m、③0.6~1.5mとなる。8・6水害で実測した地上からの水深は、①2.35m程度、②玉江橋と③新上橋左岸上流で最大2.0m程度、明治40年の浸水位に酷似する。鹿児島市の世帯数 (人口) は、1910年11,730世帯 (68,374人)、1992年10月205,634世帯 (537,775人) である。浸水位が若干高くなったのは、雨量と測定精度の違いもあるが、非透過性家屋が密集するようになった影響も少なくない。

大正6年 (1917年) 6月16日の氾濫直後、玉江橋下流の鶴尾橋上流で「普通一日でひく水が、三日たつても護岸すれすれを流れる。おかしいと思って竹ざおを入れたら約20cmの深さしかない。鶴尾橋から玉江橋、梅ヶ淵橋あたりまで土砂がたまっていた」。当時の古老 (郷土歴史家) の話⁹⁾である。上流から大量に土砂が流下、甲突川の河床が大幅に上昇していた事実を知ることができる。昭和11年 (1936年) 7月23日の氾濫では、市内の約1万戸が浸水¹⁰⁾、1993年夏と同じような浸水被害が発生している。大型団地のなかった時代に、甲突川に大規模な氾濫があった事実は熟知されていない。過去の甲突川の氾濫の歴史を学び、水害に対する社会的啓蒙が望まれる。

江戸時代末期 (1840~1849)、肥後の岩永三五郎は島津藩の要請で来鹿し、甲突川や稲荷川に独自の河川工法を適用、新しい甲突川を掘削、多くの石橋を架けている。上述のように明治・大正・昭和初期には大規模な出水があり、甲突川下流左岸の市中心部の清滝川 (旧甲突川) は氾濫している。岩永三五郎の多くの石橋が保存されたのは、石橋の直ぐ上流で堤防の高さを両岸遠え、狭作部などの地形特性を考慮して石橋を湾曲部の直ぐ下流に設け、平面的に見た石橋の角度を流れに直角ではなく少し傾斜させ、甲突川では意識的に田圃に氾濫させるように架橋したためと考えられる。氾濫させることにより、肥沃な山地土壌を田圃に供給、高価な4~5連の大きな石橋が流失しないような河川工法を採用したと考えられる。中流では遊水池機能を取り入れた河頭太鼓橋を架け、8・6水害では河頭に最大水深3mを越える遊水池が出現、治水の役割を果たした。下流の玉江橋では左岸の国道3号側に、新上橋では右岸の原良町・鷹師町側へ、西田橋では右岸の西田町側へ、武之橋では右岸の高麗町側へ溢水させている。新上橋より左岸下流沿いの堤防には排水孔がなく、右岸の堤防高を一様に低くした。当時、主要交通路上にあった高麗橋では流れに直角に、橋桁を高く、六つの石橋の中で、流下可能流量を最大にとっている。島津藩の戦術的な意向をくんだ江戸時代の甲突川改修工事、及び岩永三五郎が石橋と治水に注いだ洞察力と知恵に魅了される。

12. 甲突川のピーク流量と流出係数

図10は甲突川の玉江橋地点における上流側の横断形状で、8・6水害時の最大水位の痕跡も記入している。堤防高は右岸より左岸側が約50cm低く、国道3号ではさらに約50cm低い。ピーク時の甲突川の流れは、流水断面積の狭い石橋上流で左右の堤防を越え、多くは左岸側へ流れる様子がわかる。石橋下部ではオリフィスの流出を考える。流水断面積126m²、石橋の上下流の水位差0.8~1.6mを用い、流量係数を0.6とおくと、ピーク時に橋桁下を流れた流量は約300~420m³/sとなる。現状の最深河床の縦断形状より河床勾配を求めると、1/900程度となる。河

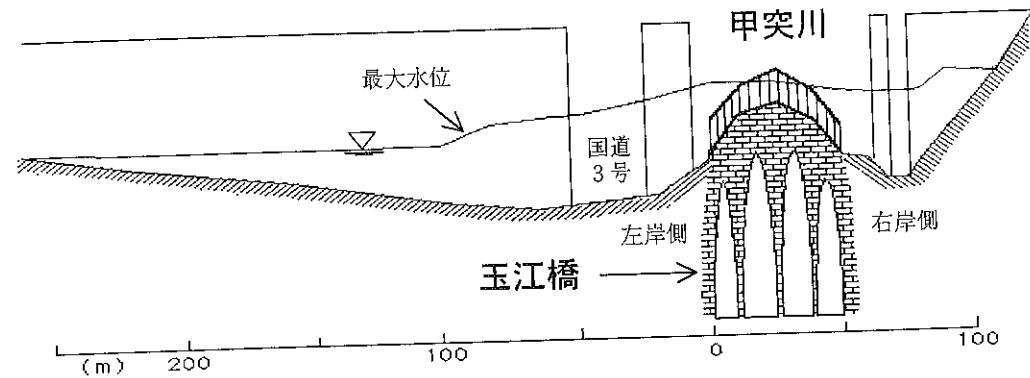


図10 玉江橋地点の横断形状

道内及び道路等のManningの粗度係数を、 $n=0.03$ 、 0.02 、家屋の間を通過する面積割合を $1/5$ とみなすことにする。等流を仮定すると、国道3号を流れた流量は $110\text{m}^3/\text{s}$ 、左岸側で $190\text{m}^3/\text{s}$ 、右岸側で $75\text{m}^3/\text{s}$ 、橋桁上で $15\text{m}^3/\text{s}$ 、玉江橋地点のピーク流量は合計 $580\sim 700\text{m}^3/\text{s}$ となった。

合理式のピーク流出係数¹⁾は、山地河川で $0.75\sim 0.85$ 、シラス地帯の畑地では $0.2\sim 0.35$ である。シラス台地の浸透能はかなり大きく、表面流出は起りにくいことがわかる。1993年は梅雨期間が8月まで延長する長期降雨となったために、甲突川中流域のシラス台地の浸透能が大幅に低下し、9月3日の台風13号では流出係数が 1.0 に近くなった、と推察される。現状の計画で用いられている値は安全率を見込んだ 0.725 である。

13. まとめ

岩井法による1993年の7月雨量の年超過確率は200年程度、先行雨量は記録最大である。鹿児島県の調査では1993年の水害で県下の計27の石橋が破損している。稲荷川の8・6水害の浸水図を作成してみると、頑丈なコンクリート製の新大乘院橋では明瞭に氾濫域が拡大している。石造の武之橋と新上橋が崩壊した事実を直視し、石橋が流失していなかったら未曾有の雨量のために五石橋区間における浸水位はもっと上昇する。岩永三五郎は河頭太鼓橋・玉江橋・新上橋及び武之橋地点で必ず氾濫するように設計していたと考えられる。8・6水害の甲突川氾濫の直接的な原因は未曾有の豪雨であるが、石橋も関係している。大自然からの警告と受け取ることもできる。

シラス台地からの土砂流出は、明治・大正時代に著しい。甲突川下流域が大規模に宅地化されるようになると土砂流出は減少するはずである。昔に較べると、大型施工機械の導入で河床浚渫が容易になったために、未曾有の先行雨量の割には浸水位が低くて済んだと考えることもできる。

計画流量を流すためには流域を一元管理し、時には、河川と直角に交わる橋の世代交代が必要となる。氾濫の被害軽減策として、排水孔からの逆流防止装置・内水排除施設・河道の浚渫と拡幅・分水路及び災害情報の整備等を考慮する必要がある。歴史的文化財としての五石橋があったため、過去150年間、堤防の嵩上げと河道の浚渫と拡幅を十分実現しえなかった経緯がある。1982年7月23日の長崎豪雨直後の中島川氾濫直後の眼鏡橋の復元運動と長崎防災都市構

想策定委員会設置を考えると、鹿児島市のあるべき姿に複雑な想いがする。市街化区域の増大に伴い住民利害が対立し続けると、治水は困難である。

災害は忘れた頃にやってくる。科学的根拠に基づく冷静な判断と迅速な対応及び抜本的な対策が望まれる。木曾三川の治水工事でなされた島津藩士の偉績を省み、本研究が今後の災害対策に少しでも役立つことを願って止まない。

謝辞

本研究を進めるに際し、文部省科学研究費(総合(A)、代表 岩松 暉鹿児島大学教授)の援助を受けた。鹿児島県河川課・鹿児島県消防防災課・鹿児島市河川港湾課・同都市計画課・郡山町・国分市・隼人町・鹿児島地方気象台及び鹿児島県立図書館から学術資料の提供を、鹿児島県警察本部と鹿児島航測(株)から8・6災害の写真の提供を、鹿児島県河川課・柿木成也病院長及び横田修一郎鹿児島大学助教授から浸水状況に関する貴重なご指摘を頂いた。水害に遭われたにも拘らず、多くの被災者からご丁寧な協力を頂いたことは忘れ難く、ここに心から厚く謝意を表します。

参考文献

- 1) 農林水産省構造改善局(1979): 土地改良事業計画設計基準(計画・排水). 農業土木学会, 173pp.
- 2) 板垣治・野辺一雄(1993): 93年鹿児島豪雨土砂災害. 九州技報14, 建設工法研究所, 19-26.
- 3) 春山元寿・下川悦郎(1978): 鹿児島市吉野町電ヶ水地区の山地崩壊・土石流災害について. 新砂防30-4, 砂防学会, 33-38.
- 4) 小林哲夫・岩松暉・露木利貞(1997): 始良カルデラ壁の火山地質と山くずれ災害. 鹿児島大学理学部紀要, 10, 53-73.
- 5) 鹿児島県河川課(1993): 安全な甲突川をめざして. 鹿児島県, 16pp.
- 6) 小牧才三(1972): 甲突川の洪水防止対策と五橋保存問題. 白費, 43pp.
- 7) 増留貴明(1987): 五大石橋を考える. 南日本新聞開発センター, 359pp.
- 8) 鹿児島新聞(1907): 明治40年7月7日~7月10日.
- 9) 南日本新聞(1984): 昭和59年7月26日(残せないか甲突川石橋9).
- 10) 鹿児島新聞(1936): 昭和11年7月24日.

付録

1993年鹿児島豪雨災害浸水図

1993年8月鹿児島水害における河道災害

京都大学防災研究所 藤田 裕一郎
鹿児島大学工学部 浅野 敏之

1. はしがき

1993年夏主として鹿児島県を襲った集中豪雨災害は、周知のように、8月1日及び6日の前線性降雨によるものと、8月9、10日の台風7号及び9月3日に同県を縦断した台風13号によるものとに分けられる。これらの降雨は規模とともにその中心が少しずつ変わっており、それに伴って被害の激しい個所も異なり、県下の広い範囲が被災することとなった。

したがって、河道災害に関する調査も広い地域を覆う必要に迫られ、9月中旬と10月下旬の2回現地に赴き調査を行った。9月の調査地域は、甲突川の鹿児島市街中心域と小山田地区、稲荷川下流部、台風13号被害の金峰町、川辺町、ついで、加治木土木事務所管内の天降川と同支川霧島川であり、10月の場合は、河道災害に絞って甲突川上流部、思川・本名川、稲荷川上流部を対象とし、現地調査とともに管轄土木事務所等で担当の方々からの聞き込みも行った。

これらの河川では、鹿児島市中心部を始め外水の氾濫・浸水被害も著しいものであったが、ここでは河川構造物の被災を中心とした河道災害の概況について調査結果を述べていきたい。

2. 甲突川の河道災害

8月6日の降雨は豪雨の中心域が二級河川甲突川流域にはほぼ一致していた。この豪雨によって流域面積106km²の甲突川は、鹿児島市の市街地では主に溢水氾濫を、中流の峡谷部や上流の田園部では護岸や取水堰などの河川構造物の倒壊を、さらに最上流の山間部では河道の位置が変化をもたらしてしまうなど、市街地、農耕地の両者に大きな被害を発生させた。その中には、同市小山田町名越地区の河道侵食による道路決壊のように、この地域に特徴的な災害も含まれている。一方、支川の川田川では、郡山町白石地先の左岸堤が決壊して農地が冠水したようであって、土砂の仮締切堤が造られていたが、それ以外の区間では河道が峡谷状となっていて調査ルートから外れていたこともあって、河道災害はそれほど目に付かなかった。

2.1 上流区間の河道災害

はじめに、写真1は最上流部の日置郡郡山町上常盤地区の河道状況を示したものである。この地点までの流域面積はわずか約4km²であるが、谷底の田面一杯に広がってきた洪水流は、平地を狭めていたコンクリートブロック練積みの取り付け護岸を押し崩し、橋梁を跡形もなく流し去り、その下流では山際に沿っていた旧流路を放棄して田面上に新たなショートカット流路を形成している。このような洪水流の直進的傾向に伴う河道位置の変化は、比較的谷勾配の急な谷底平地を洪水が河岸を溢水して流下する場合にしばしば認められるもの¹⁾であって、護岸が施されていても溢流水深が大きく、河岸上部において掃流力が代表的な土砂の移動限界を越える時間がある程度持続したときに生起する。

同様の河道の変動は、写真2に示した同町清和地区のように甲突川上流部では他の区間でも生じていた。この区間の中央部には取水用の固定堰（写真左）があって、堰上流区間の河床は

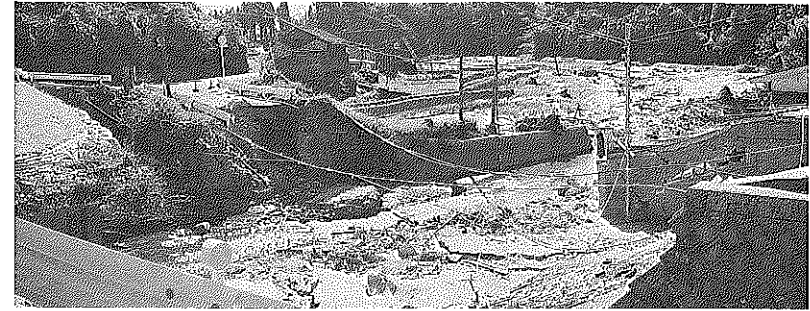


写真1 郡山町常盤地区における甲突川の河道災害の状況



写真2 郡山町清和地区における甲突川の河道災害の状況

上流からの流送土砂で堰の天端近くまで上昇しており、河岸高と河積の減少が著しくて容易に溢流が起こり、かつ、堰の落差のために溢水した洪水流の水面勾配が局所的に増大し、付近の土砂の流送能力が上昇して田面の侵食が進み、河道が付け替わったものと見られる。

近年のコンクリートブロックの練積み・練張りによる護岸は、大体図1に示したような構造となっており、持たれ擁壁形式の無筋構造物である。したがって、何らかの原因によって裏込め材料が除去された場合、護岸は、弯曲内岸部ではアーチング作用で残存していることが多いが、直線部や弯曲外岸部では比較的簡単に倒壊して背後にある土地を護るという本来の機能を失ってしまう。しかしながら、護岸背後の裏込め材料が大量に除去されるような外力が働く場合には、従来型の工法ではどのような護岸構造物であっても根こそぎ流失させられる可能性が高く、溢水しない洪水流に対する一様な安全性、施工後の耐久性、施工の容易さと経済性など、様々な利点があるために、特殊な場合や最近の多自然型河川工法を適用する場合を除いて、若干の改良がなされながらもこの形式の護岸が今後とも適用されていくと思われる。

以上の区間から鹿児島市小山田町までは、下流に行くに連れてだんだんと開けていく谷底平地の沖積区間を河道は流下している。この区間での河道災害は、8

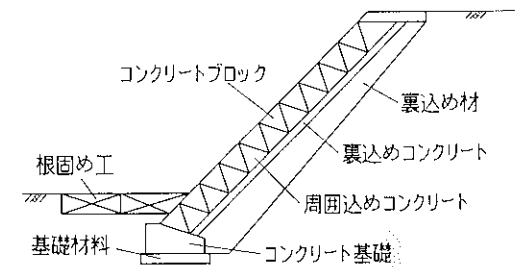


図1 標準的な護岸の構造

月1日の降雨によって大被害を受けた後述する思川・本名川などと同様に、弯曲部の護岸や取水堰などの河川構造物取付護岸の倒壊被害と周辺農地の侵食・流送被害が主であった。

2.2. 中流区間の河道災害

図2は小山田町名越地区の大規模な道路決壊があった地点の平面図である。この平面図には示されていないが、1/25,000地形図には甲突川と国道3号線が隣接している区間には2つの小滝が描かれている。このうち上流側の小滝は図2に描かれている小山田発電所の取水堰であり、自然の滝は下流側の切り立った崖を持つ弯曲部の直上流に存在していた。写真3はこの元の滝の上流付近の様子を示しているが、写真3からも判るように、滝の入り口の流路はかなり狭く、右岸頂部に数本の流木が残存していて、洪水時にはこの周辺で溢水が生じていたと判断される。周辺を観察した結果では、この滝と国道3号線の間は田圃として利用されており、一方、その下流の弯曲部は元来落水水によって右側にも大きく広がっていた。したがって、溢水した洪水流は滝側方の田圃からそこに向かって流れ落ち、熔結凝灰岩上に堆積していた田圃下部のシラス層（軽石層）を侵食していったようである。写真3に示されているように、偶然この地点では、滝を支えていた熔結凝灰岩の層が国道3号線の下部で食い違っていて、間が深く

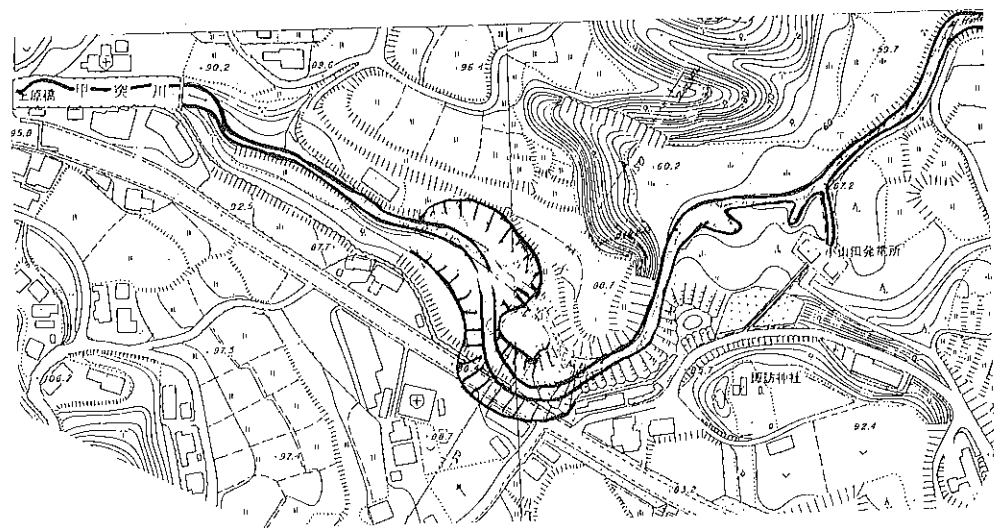


図2 甲突川小山田地先の河岸決壊個所の概要図

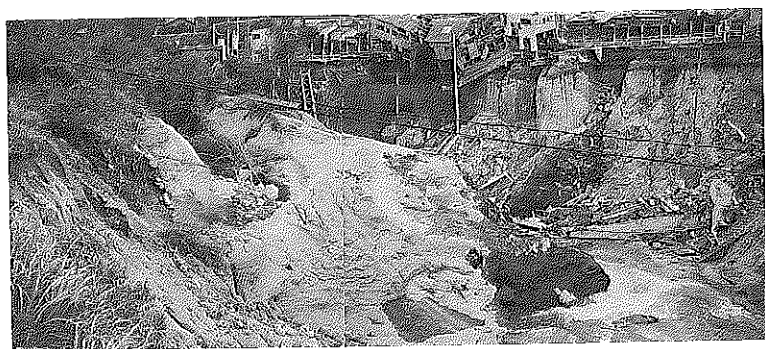


写真3 鹿児島市小山田地区における甲突川の河岸決壊の状況

切れ込んでいたために、水流は間に堆積していた非粘着性のシラスを容易に侵食・流送して、弯曲部は右側に大きく振れながら数十m以上上流に進行した格好となった。この結果、その上流の熔結凝灰岩層が出現した地点に新たな滝が形成され、同時に国道3号線や周辺民家の建物は陥没したり、落下して流送されていった。

なお、現地での聞き込みでは、集中豪雨当時、国道上はまるで雨水が川のように流れていたそうであり、中にはこの雨水が河道に流れ込んだために、こうした決壊が引き起こされたのではないかという疑問も出された。しかしながら、河道の流量と流入量との規模の相違を考えると、この雨水流が決壊を引き起こした可能性はほとんどないといえる。

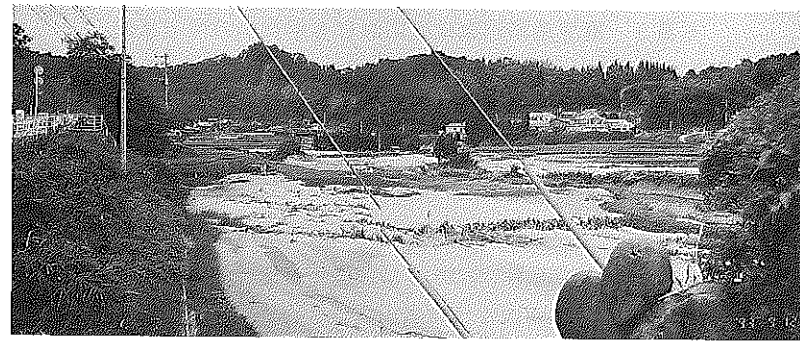


写真4 小山田地区下流の甲突川の氾濫による土砂堆積

甲突川のように、火山性地質の流域を流れる河川では、侵食抵抗強度の空間的変動が著しく、河道の位置や平面形態はそれに大きく支配され、こうした地層の複雑さによる河道の変動は、大出水時になって初めて露呈するために、事前の対策は事実上不可能であろう。この地点では、河道の法線形状を改良し、ショートカットによって国道から離して復旧させ、今後の類似現象に備えると聞いているが、新流路区間では河床の落差が大きく、かつ河岸斜面も非常に高くなるので、河床・河岸の安定について過去の類似例を調査するなど十分な配慮が要求される。

小山田町の小山田発電所から川田川合流点までの区間に開けた谷底平地には、写真4のように、シラスと思われる砂質土が低位部の田圃上のかかなり広い範囲に厚く堆積していた。このような河道周辺における大量の土砂堆積は、今回調査した限り甲突川の他の区間では認められなかったものである。ここは谷幅が急激に広がって河道勾配が減少し、洪水流の土砂流送能力が急減する区間であるので、名越地区における上述の河岸・河床の侵食によって生じた大量の土砂が、上流区間からの供給土砂とともに、堆積したものと思われる。

川田川の合流点の下流から河頭地区を経て伊敷町に至る区間は、甲突川がシラス台地を穿入して流れる峡谷状の区間であって、国道3号線が並行しているが、谷底平地はほとんどない。この区間での河道災害は、写真5左部分（左岸側）のような、河道を溢水して流下した洪水流による河岸・路肩決壊や河道周辺の家屋の流失・損壊被害であり、洪水直後の航空写真によれば、左岸側に施されていた比較的新しい護岸はずたずたにされていた。この区間での特殊な被害として、河頭浄水場処理施設（写真5右側）の冠水によって上水道サービスが停止し、災害の復旧に多大の支障を来したことが指摘されている²⁾。沈澱地等浄水場最下段の施設は左岸側の道路面などよりもやや高い位置に設置されているが、甲突川の出水に対して配慮がなされ

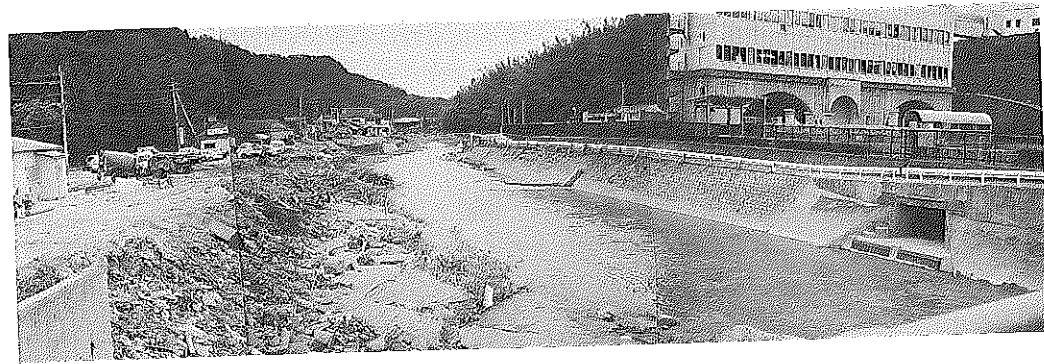


写真5 鹿児島市河頭地区における甲突川の河道状況

ていたとは思われない。確かに、今回の降雨が未曾有のものであり、被災の基本的原因がこのような出水に対する河道容量の決定的不足にあることは明確ではある。しかし、それだけに、こうしたライフラインに直結する公共施設の建設にあたっては、河道の整備状況に対して十分な注意を払い、ある再現期間の出水に対して現況の河道で洪水水位がどの程度に達し、その時施設はどのようになるかということを計画時にしっかりと検討しておくことが重要であろう。

2.3 下流区間の河道災害

ここでは、伊敷町の九州自動車道との交点から下流の錦江湾に向かって平地が広がっていく区間を甲突川の下流区間と見なしており、甲突川が都市河川としての様相を有している区間である。この区間では河道からの溢水が著しく、それだけ河道の負担が減ったためか護岸の決壊・損傷は損壊した石造橋の周辺部以外では顕著ではなかった。とくに、西鹿児島駅付近から下流の護岸は、3分程度の急な法勾配にもかかわらず、熔結凝灰岩と思われる大きな石材を城壁のように堅固に積み上げた構造を有しているため、極く一部を除いて損傷を受けてはいなかった。この区間での特徴的な河道災害は、やはり石造アーチ橋の倒壊・損傷であろう。

周知のように、この区間には、江戸時代後期に上流から玉江橋、新上橋、西田橋、高麗橋、及び武之橋の5つの石造アーチ橋が架けられている（鶴尾橋も石造橋であるが、架設年度が昭和39年なので問題とはされていない）。玉江橋から武之橋までの間は約4km、とくに、新上橋から武之橋までの距離は僅か2kmしかなく、江戸時代後期にこのような短い区間にもかかわらず5橋もの高価な石造橋が何故必要であったのか、その理由には大変興味をそそられる。

さて、本出水によってこれらの石造橋のうち、新上橋と武之橋の2橋が落橋し、玉江橋は通行不能となった。鹿児島県土木部河川課³⁾によって作成されたこの区間の河道水位と堤内氾濫水位の推定図では、これら落橋・損傷した3橋では前後における水位差が1.1m~1.2mとなっている。損傷されなかった西田橋では水位差は0.4m以下ではあるが、同じ高麗橋でも1.1mの水位差となっているので、作用点及び作用面積について詳細に検討しなければならないが、落橋や損傷を受けた石造橋の橋脚と橋桁は洪水時に大きな横荷重を受けたものと考えられる。

これらの石造橋が築造以来今回の出水まで洪水流によって損壊されずに存続してきた理由には、既往出水に今回と同規模以上のものがなかった可能性とともに、周辺の河岸・堤防と石造橋との間の相対強度の変化があると思われる。すなわち、明治以前には、甲突川の右岸側には田畑が広がっていて市街地は発達していなかったため、そこに遊水機能を持たせるために右岸

堤は左岸堤よりも低くされていたといわれており⁴⁾、洪水水位が上がると、石造橋が危険に曝される前に右岸は決壊していったと考えられる。このような洪水対策が今日で許される訳がなく、河岸は、石造橋周辺に限らず両岸とも護岸や天端舗装によって強化され、できる限り水害を減らすために洪水を河道内で処理するように努力が払われてきた。それに従って、石造橋に作用する流体力は徐々に増加していき、今回のような大規模の洪水ではその強度を上回るような流体力を受ける結果となったと判断される。したがって、現況の状態では石造橋を存続させるためには、極端に言えば、周辺の河岸・堤防を昔日の強度に戻すことも必要となる。

本出水以前における甲突川の100年確率基本高水は1000m³/secとされており^{4,5)}、10年確率の暫定改修でも700m³/secの流下能力を持つ河道が要求されている。しかし、現在甲突川の流下能力は通常河道区間で約500m³/sec、石造橋部分でその4~6割程度しかない指摘されて久しい⁶⁾。このため、石造橋の存廃は従来から改修計画上の大きな課題として、種々の観点から検討されてきている⁷⁾が、上記のように、この区間は都市河川であるために、引き堤等の河道拡幅が非常に制限され、河床掘削による洪水流下能力の増加を図らざるをえない。河幅が現況と余り変わらなければ石造橋が改修後も現在の位置に存続させていても良いように思われるかもしれない。しかし、石造アーチ橋は構造物としての安定を保つために、河幅全体に亘る固定堰のような石積み下部工を有しており、河床掘削による河積増大の効果は著しく損ねられる。それを補うために、石造橋用バイパス分水路を設ける案も水理実験によって検討されているが、例え用地の問題が解決しても、水のみが流れてくるのではない洪水時に分水路が所期の機能を発揮できない可能性も無視できない。とくに、石造橋用バイパス分水路のような流れの状況を急変させる構造物は土砂の円滑な流下を妨げやすく、シラス地帯を流下してくるため洪水時の流送土砂量が多い甲突川では、分水路周辺に多量の土砂が堆積して機能障害を起し、越流・破堤氾濫を招く危険性が指摘される。

既に述べたように、甲突川では今回の降雨によって上流域でも河道や周辺の農地・宅地は侵食・越流・氾濫によって大きな被害を受けている。それを軽減するために上流区間の河道改修が進んだ場合、この下流区間にはさらに大きな流量が課せられることになる。そのような条件下で下流河道の治水安全度を上げるためには、石造橋は既に土木構造物としての使命を果たしたと見なして、河川での動態保存をあきらめることは避けられないであろう。

3. 稲荷川の河道災害

8月6日の豪雨域は集水面積32km²の稲荷川流域も覆っていた。日雨量等雨量線図によって単純に比較すると、8月1日の稲荷川流域全体の平均降雨量は明らかに8月6日のものを上回っていたと判断されるが、短時間の雨量集中があったのは始良郡溝辺町や鹿児島郡吉田町であって、稲荷川流域では上流域にのみかなり集中した降雨があったものと思われる。一方、8月6日の豪雨域は鹿児島市竜ヶ水地区や御船地区から郡山町にかけての带状であって、稲荷川流域では下流域が降雨集中域であり、かつ、鹿児島市では日雨量259.5mmに対し2時間雨量109mm、郡山町で同184mmと、この带状の地域には短時間に強い雨が集中していた。

写真6には稲荷川における河道災害の例として、鹿児島市下田町地先の堰付近の護岸被災状況を示しているが、他の区間でも護岸背後の洗掘のような類似の被災例が多く、甲突川上流や

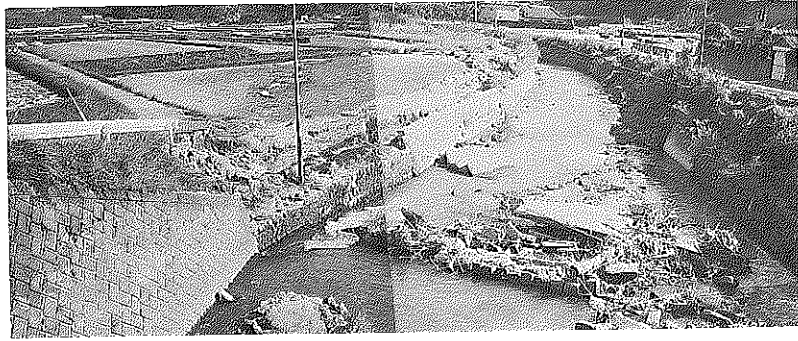


写真6 鹿児島市下田町地先の稲荷川における河道災害の状況

思川で見られたような大規模な河道変化は生じておらず、上流域の被災が比較的軽微であることが判る。この上流の状況からは、報道写真⁸⁾に見られる鹿児島市稲荷町の悲惨な被災状況は想像できず、このような相違が生じた原因は現地調査当初よく掴めなかったが、やはり流域の地形的・社会的条件と上述の降雨分布にあると考えられる。すなわち、稲荷川下流域には帯迫地区や雀ヶ宮地区等の住宅開発の進んでいる丘陵地があり、鹿児島県鹿児島土木事務所管内図によれば、その地域の中心を大石様川が通っている。この丘陵地の排水河川は発電所取水ダムの上流で稲荷川に合流しているが、豪雨時には雨水は、同川や稲荷川から丘陵地の上っていく2、3の道路に集中していき、峡谷となっている稲荷川に一気に流れ込んだと見られ、例えば、実方太鼓橋の流失の様態を捉えた映像⁹⁾には、背後に奔流のようにになっている道路が記録されている。こうして峡谷に集中した洪水流は、急激に低平地である稲荷町地区に流れ下って、河道周辺の民家を破壊し、道路を流し去るとともに、軒先に達するような浸水被害をもたらしたと思われる。したがって、詳細な流出解析を行って、豪雨時には丘陵地の雨水を稲荷川ではなく、隣接した谷間を利用して直接錦江湾へ導くような対策も検討する必要がある。

4. 思川・本名川の河道災害

二級河川思川と支川の本名川は、8月1日から8月2日未明にかけての時間雨量100mm、最大24時間雨量501mmに達する豪雨によって、河道の位置が替わるような破壊や河岸・道路の決壊を伴うと同時に、随所で崩壊した流域のシラス斜面からの土砂を周辺農地に大量に堆積していくという甚大な河道災害を引き起こした。

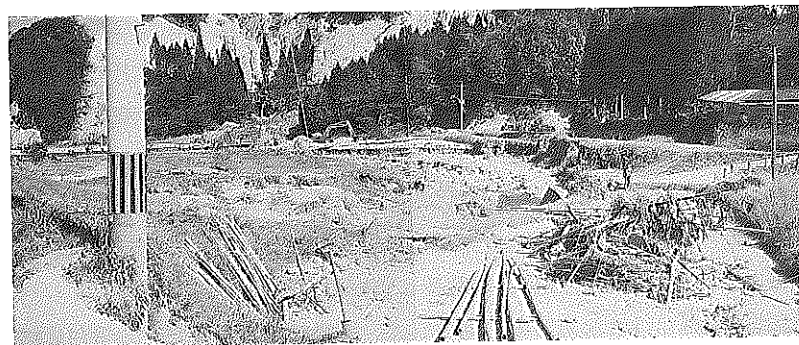


写真7 吉田町宇都谷地区の思川の上流支川の河道状況



写真8 吉田町鶴木宇地区の思川支川塩柚川の河道と土砂堆積の状況



写真9 吉田町提水流地区における思川の氾濫後の状況

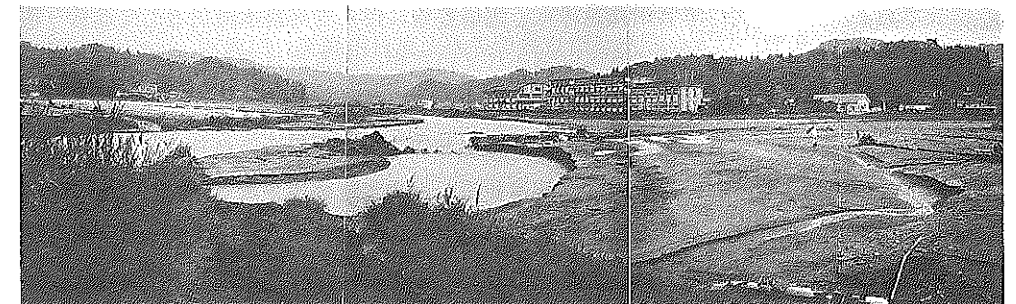


写真10 吉田町麓地先における思川の破堤氾濫後の状況

写真7は思川の上流域の支川宇都谷川の被災状況である。河道変動の痕跡と崩壊斜面から供給されたとと思われる残存流木が溢流氾濫した洪水流の状況をとどめているが、この区間は河床勾配がかなり急であるので、全体的に河道侵食の傾向にあって、河岸沿いの田地の土砂堆積は僅かである。つぎに、写真8は、支川塩柚川が思川に合流する直前の様相である。本来の河道は農地を大きく迂回して写真の左側に出ていたが、洪水流は大量の流送土砂で河床を上昇させ、越流直進して田圃の上に新流路を形成している。この区間は比較的開けた谷底平地になっており、河床勾配も減少していると見え、田面上には砂がかなり厚く堆積している。

写真9は災害直後に鹿児島土木事務所によって撮影された思川上流部提水流地先の弯曲部の状況である。洪水流が元の河道に拘束されず、広く氾濫しながら道路を乗り越えて下流に流れ下っていったことがよく判る。洪水流の中心が通過したと思われる部分は田地の表層土が全て無くなって河道のようになっており、流れが広がったり洪水ピークが過ぎて水深が小さくなっ

た個所には、流木が先端を流れの方向に向けて残存している。この弯曲部の下流では護岸を突き破って弯曲頂部が下流に移動した形となっており、さらに下流ではそこで転向した洪水流が対岸側の護岸を乗り越えて背後の田地を侵食していた。写真10は同じく麓地区北吉田中学校付近から下流の思川築堤区間における破堤氾濫後の状況である。堤防が高くなく、かつ、盛土だけで造られていたこともあって、洪水流はかつて谷底平地を形成したときと同様に、周辺に土砂を堆積しながらこの区間の田地上を自由に通過したと思われる。

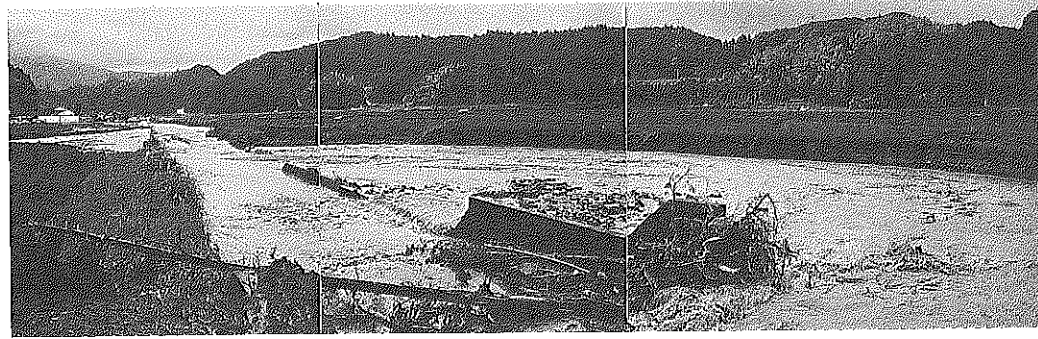


写真11 吉田町後中地区における思川支川本名川の河道災害の状況

写真11は、後中地先における支川本名川の小さな取水堰下流付近から下流区間における洪水後の状況である。この区間の本名川はおそらく圃場整備に伴って用排水河川として改修・直線化されたものと思われる。改修時に護岸は施されていたが、洪水流はまるで自由蛇行の実験のように、元河道の左右交互に弯曲部を形成して流下している。本名川では、二本松地区のような圃場整備に伴って直線化された他の区間でも、左右岸交互に護岸決壊が発生する傾向にあった。大出水時に現れる流れの蛇行傾向は、護岸を残したまま背後の土地を侵食していくので、例えば護岸をかなり強固にしても、それを制御して直線河道を維持することは困難と思われる。

こうした河道を復旧する場合、既往流量に合わせてむやみに河積を広げるのではなく、崩壊等によって河道に負荷される土砂量も考慮した上で、できるだけ農地を保持できるように、予め超過洪水を念頭にいった総合治水的対応を取っていくことも重要であると思われる。

5. 天降川の河道災害

8月1日から8月2日未明にかけての豪雨の中心は、むしろ横川町、牧園町、国分市といった天降川流域（面積401km²）であって、天降川本川及び霧島川、郡田川、嘉例川、中津川などの支川、また隣接した検校川で河岸・護岸決壊、落橋等の河道災害が頻発した。ただし、天降川の河口から6km区間や支川の一部は1959年に認可された改良工事計画⁹⁾に基づいて、河道容量（河口で1970m³/sec）が確保されていたので、大きな被害は発生していない。なお、この改修計画が洪水時におけるシラス流送容量を考慮している点は特筆される。

河道流下能力が確保されている場合の河道災害はやはり橋梁災害であって、写真12のように、天降川でも明らかに周辺が洗掘されて橋脚が沈下し倒壊した日当山橋の災害があり、他河川の事例もあるので、基礎の根入れ深さについて十分検討されてこなかったのではないかと疑問を抱かされた。一方、支川では流体力に対して弱いパイラントまたは簡易ラーメン構造の



写真12 天降川日当山橋の被災状況

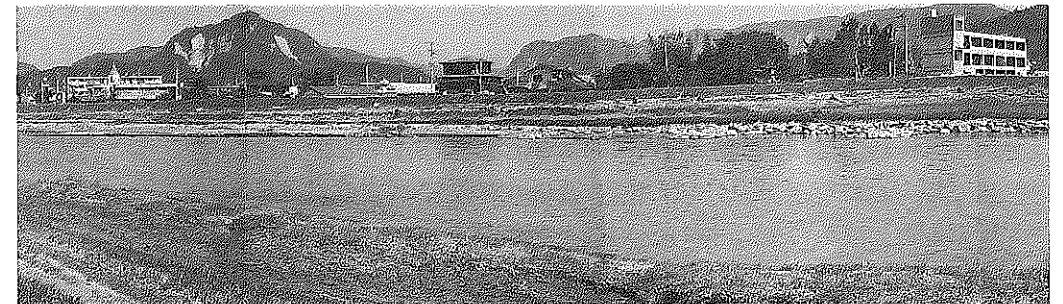


写真13 天降川日当地先の多自然型根固め水制の埋没状況

橋脚を有した橋梁や老朽化した橋梁の被災事例が多いように感じられた。

もう一つの特徴的な事例は、単純に河道災害とはいえないが、写真13に示した最近の多自然型河川工法として施工された自然石の乱積み根固め水制の埋塞である。洪水流に対する強度が明らかになっていない多自然型河川工法は、施工直後に被災しないよう水衝部を避けて適用されるため、洪水時にある程度の土砂流送があると全部または一部が土砂に覆われて、水辺に多様性をもたらそうとした折角の意図が埋没してしまう。日当山地区のこの個所では、施工区間下流部は維持されているが、上流部は緩弯曲内岸であって砂に埋もれてしまっている。

6. あとがき

ここでは、1993年夏鹿児島を襲った水害の諸相うち、調査を行った地域の河道災害のみに絞ってその特徴をまとめた。万之瀬川や他の河川でも氾濫災害や河道災害は発生しており、この他にも、溜池の決壊災害に類似した様相を呈した、下部排水口の埋塞に伴う一時貯溜水による盛土決壊と思われるような災害事例も河道災害の一つと見なすこともできる。しかしながら、調査が不十分で取り上げることができなかった。また、ここでの記述も、現地での測量や数値資料の収集・解析を行うだけの時間的余裕が取れなかったため、定性的なものに留まらざるを得なかった。本来、河川改修計画には長時日がかかるので、今後ここで述べたような事項に関して、定量的検討を深めていくことができればと感じている。

なお、本調査を進めるにあたって、鹿児島県奥田朗土木部長をはじめ、多くの方々から様々

なご協力を頂いた。とくに、鹿児島県土木部河川課知識博美治水係長、鹿児島土木事務所上国料修河川砂防第二係長、加治木土木事務所生野芳昭河川港湾課長、尾上博信、下鶴幸二両技術主査には現地の実際資料をご提供頂き、建設省河川局防災課小池 剛課長補佐には資料全般にわたって色々ご配慮賜った。また、現地調査には、鹿児島大学工学部北村良介教授、同学部学生堤 宏徳君の手を大変煩わした。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 村本嘉雄・藤田裕一郎・大久保賢治(1984)：洪水氾濫による堤内地の侵食と堆積 一三隅川の1983年水害の場合一、京大防災研年報，第32号B-2，133-160.
- 2) 板垣 治(1994)：93年鹿児島豪雨災害について、平成5年度防災セミナー、(社)全国防災協会、(財)海外建設防災協会、77-98.
- 3) 鹿児島県土木部河川課(1993)：甲突川平成5年8月6日洪水河道流下推定図.
- 4) 鹿児島県土木部河川課：甲突川改修計画の検討資料、刊行年不詳、90pp.
- 5) 鹿児島県土木部河川課(1981)：甲突川総合治水対策調査報告書(ダイゼスト版)、22pp.
- 6) 鹿児島県土木部河川課(1976)：甲突川改修の問題点、7pp.
- 7) 鹿児島県土木部(1984)：甲突川水理調査業務委託報告書(概要版)、14pp.
- 8) 南日本新聞社(1993)：'93夏鹿児島風水害、175pp.
- 9) 鹿児島県加治木土木事務所(1983)：中小河川天降川改修工事全体計画認可設計書、35pp.

1993年鹿児島豪雨災害による 交通機能災害の調査研究

南九州大学造園学部 藤本 廣
鹿児島大学工学部 北村良介
大山 英一

1. まえがき

我々の研究分担課題はライフライン災害である。ライフライン(life line)は文字どおり生命線であり、道路、鉄道、電気、ガス、水道、通信等、人間生活を快適なものとするためにはなくてはならないものである。1993年鹿児島豪雨災害ではこれらのライフラインも多大な被害を被った。

8月1日の豪雨(以下、8.1災害と称する)では、始良郡、国分市方面に強雨域があり、1日22時45分頃、国道10号の亀割峠上り車線が幅約9m、長さ30mにわたって陥没し、地下1.2mに埋設してあるNTTの地下ケーブル7本が切断された。このため、鹿児島市と鹿屋、都城、宮崎との通話(21万7,000件加入)が無線しか使えず、ほとんど不通となった。その後、4日午後に全面復旧するまで県内各地で電話のかかりにくい状態が続いた。

8月6日の豪雨(以下、9日に来襲した台風7号による災害と合わせて8.6災害と称する)では、鹿児島市、郡山町に強雨域があり、甲突川の氾濫等による災害が発生した。夕方から夜にかけて鹿児島県内への電話による問い合わせが殺到し、県全域にわたって電話がかかりにくくなった。また、6日20時現在、鹿児島市、加治木町、郡山町を中心に1万8,900戸が停電となった。鹿児島市水道局では市内の3つ(河頭、滝之神、平川)の浄水場のうち、河頭浄水場が甲突川の氾濫による冠水のため、また、滝之神浄水場では稲荷川からの取水用導水管破損のため全給水戸数の約40%(7万6,000戸)が断水をした。全域の断水が解消したのは8月14日2時であった。

災害によって発生した「災害ごみ」は、お盆前後の6日間に処分先である鹿児島市の北部清掃工場に11万2,500トン(前年度1年分の約1.4倍)が運び込まれ、8.6災害と9月3日の台風13号による災害(以下、9.3災害と称する)で搬入された総量は9月11日現在、例年の2年分にあたる16万3,000トンに達した。

このように、道路、鉄道以外のライフラインについても興味ある研究調査対象となる事項が数多くあるが、54万人を有する鹿児島県の県都である鹿児島市が8.6災害で一時的ではあるが、陸の孤島のような状態になったこと、その後も鹿児島市と県内外各地との交通網に混乱が続いたことをふまえ、本報告では8.1災害、8.6災害、9.3災害(以下、これらの災害をまとめて1993年鹿児島豪雨災害と総称する)による鹿児島市、鹿児島空港周辺の道路、鉄道等の交通機能災害に関する事項を正確に把握し、鹿児島県において災害に強い交通網ならびに交通障害発生時における迂回路選択システムの確立を目指している。

2. 交通機能災害の概要

鹿児島市は島津氏第6代藩主氏久が東福寺城（現鹿児島市清水町、多賀山公園）を居城とした時（14世紀後半）に始まるとされている¹⁾、²⁾。14世紀後半は室町時代に対応し、日本全国で戦乱が絶えなかった時期である。鹿児島でも島津氏が台頭し、覇権を目指して県内各地で戦いが繰り返されている³⁾。このように現在の鹿児島市は戦国都市を起源としている。すなわち、敵からの攻撃に対して守りやすい場所であったことを意味している。このことを現代の車社会の立場からみると交通機能を果たすには困難なことの多い場所となる。今回の鹿児島豪雨災害による交通機能マヒについては鹿児島市の歴史的な背景が期せずして600年余りに現われたものであるという見方もできる。

1993年鹿児島豪雨災害では県内各地で道路の通行止め、鉄道の運行中止が発生し、上述のように8.6災害では鹿児島市を起点とするJR鹿児島本線、日豊本線、国道3号、10号、九州自動車道等の幹線交通網が同時に不通となる事態が発生し、鹿児島市は一時的ではあるが、陸の孤島に近い状態に陥った。

本章では交通機能災害の概要を把握するため、南日本新聞から交通機能災害に関する主な記事を抽出し、記載している。文中の道路名、鉄道名、地名は図1を参照していただきたい。

8.1災害

- 国道、県道：8月1日の12時35分頃、国道10号の亀割峠の上り車線が陥没（NTTの市外電話ケーブル7本をすべて切断）、国道220号（福山町福山）、国道223号（隼人町妙見）、国道504号（薩摩町求名、高尾野町砂原など）、国道267号（薩摩町求名）、国道268号（吉松町中津川）、国道328号（郡山町油須木、入来峠）、県道鹿児島蒲生線（吉田町五反田）、県道蒲生伊集院線（吉田町桑の丸）などで通行止め。2日0時30分現在、国道10号（7ヶ所）、国道、県道合わせて約120ヶ所で全面通行止め。
- 九州自動車道：8月1日7時40分頃、溝辺—横川インター間が通行止めとなり、しだいに不通区間が拡大、22時45分から鹿児島—宮崎間の全線が通行止め（県内では3日深夜に復旧）。
- JR：8月1日早朝から指宿枕崎線、日南線、肥薩線、吉都線、日豊本線の国分—佐土原間で運休、また、19時から日豊本線鹿児島—南宮崎間が運休（通勤・通学の約1万8500人に影響）。
- その他：8月1日の夜、鹿児島空港出発・到着客700人余りが空港ビル内で夜を明かした。2日、県道路維持課では鹿児島市、北薩、大隅半島から鹿児島空港へのルートを発表。鹿児島市と大隅半島を結ぶ桜島フェリー、垂水フェリーが大混雑（桜島フェリー3日7時30分で4時間待ち）。

8.6災害

鹿児島県では8月6日の豪雨に引き続き、8月9日に台風7号に見舞われた。ここでいう8.6災害とは台風7号による災害も含まれている。

- 国道、県道：8月6日夕から国道3号（鹿児島市伊敷—小山田、伊集院町中川）、国道10号（鹿児島市磯—始良町重富、加治木町日木山—隼人町野久美田橋、国分市川内）、国道220号（垂水市牛根麓）、国道223号（牧園町安楽、同宿窪田）、国道267号（大口市木之氏）、国道328号

鹿児島市周辺道路網ネットワーク地図

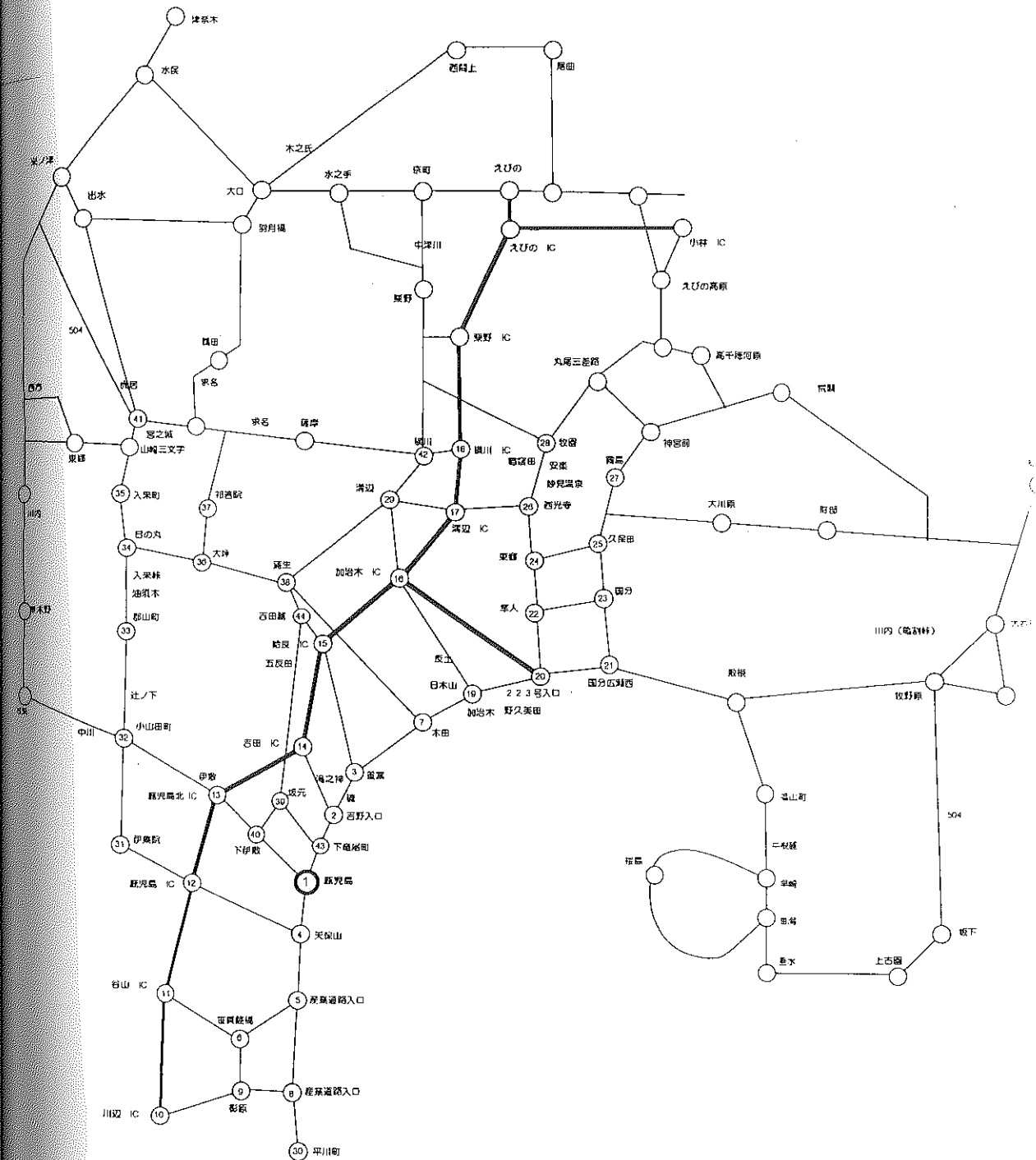


図1 鹿児島県本土の道路網

(郡山町辻ノ下)、国道504号(宮之城町虎居)、県道吉野公園線(鹿児島市滝之神)、鹿児島蒲生線(吉田町五反田)、栗野加治木線(加治木町反土)、東郷西方港線(川内市西方)などで通行止め。9日19時現在、国道7路線12ヶ所、県道37路線52ヶ所で不通。

- 九州自動車道：6日9時20分に鹿児島ー加治木間が不通になったのに続き、全面通行止め。
- JR：6日夕から鹿児島本線(阿久根ー鹿児島)、日豊本線(国分ー鹿児島)、指宿枕崎線(西鹿児島ー南鹿児島)、日南線(油津ー志布志)、肥薩線(吉松ー隼人)、吉都線(高崎新田ー都城)が不通(西鹿児島駅では乗客が待合室、列車で一夜を明かす)。
- 鹿児島市内：7日、市電、民間の路線バスはすべて運休、市営バスのみが運行(運行率50%)。
- その他：国道10号の磯ー重富間の22ヶ所で斜面崩壊、土石流が発生し、6日16時頃から7日未明にかけてJRの列車と約800台の車、そしてそれらの乗客、運転手、付近の住民2000人以上の人々が磯ー重富間の道路で孤立し、海上から海上保安庁、鹿児島市消防局、桜島フェリー、漁船、民間のポートなどによって救助された。また、6日の夜、鹿児島空港出発、到着の客約1000人が空港ビル内で夜を明かした。

3. 鹿児島市、鹿児島空港周辺の交通機能災害の時空間的状況

3.1 8.1災害、8.6災害での道路の時空間的状況

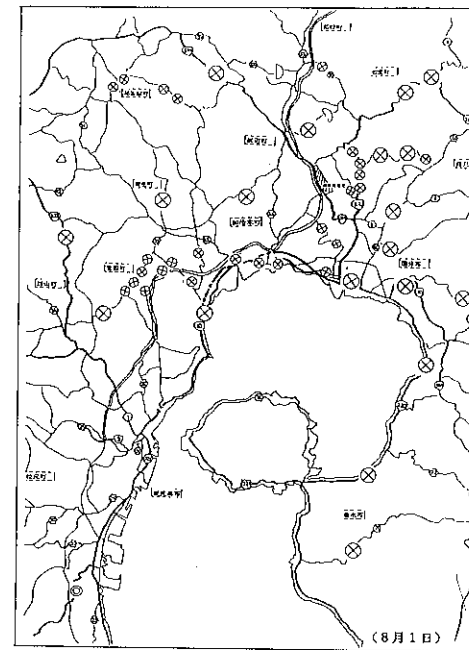
図2(a)、図2(b)は鹿児島市、鹿児島空港周辺の道路網の8月1日24時、および、5日24時現在の道路の不通箇所を示している(鹿児島県道路維持課資料、鹿児島土木事務所、伊集院土木事務所、加治木土木事務所、栗野土木事務所管内と宮之城土木事務所、鹿屋土木事務所管内の一部)。図において⊗印は全面規制箇所、D印は片側規制箇所、○印は規制解除箇所を示している。図2(a)より8月1日現在、全面規制箇所が47、片側規制箇所が2であること、主な不通箇所は九州自動車道、国道10号(北九州市ー鹿児島市)、220号(宮崎市ー国分市)、223号(小林市ー隼人町)、328号(鹿児島市ー出水市)、504号(鹿屋市ー野田町)、県道25号(鹿児島蒲生線)、40号(伊集院蒲生溝辺線)、391号(下手山田帖佐線)、396号(薩摩祁答院線)、470号(犬飼霧島神宮停車場線)、473号(崎森隼人線)であることがわかる。空港周辺の道路に不通箇所が多く、空港へのアクセスが困難であったことがわかる。このため、2章で述べたように鹿児島空港では1ー2日にかけて700人がロビーに泊まり込んだ。

また、北薩、鹿児島市方面から鹿屋方面への車両が桜島フェリー、垂水フェリーに殺到するという結果を招いた。図2(b)より8月5日現在の全面規制箇所は16、片側規制箇所が8であり、5日間の間にかなりの不通箇所が復旧しており、県内各地から空港へのアクセスもほぼ平常通りになっている。

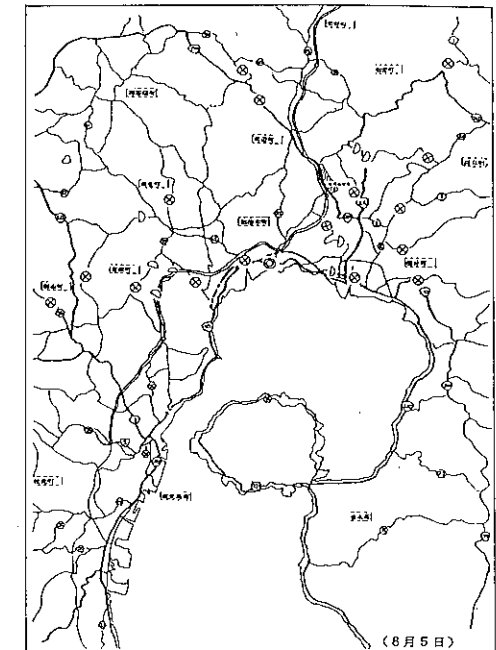
図2(c)は8月6日現在の不通箇所を示している。図より全面規制箇所が34、片側規制箇所が5となっている。主な不通箇所は九州自動車道、国道3号(北九州市ー鹿児島市)、10号(北九州市ー鹿児島市)、504号(鹿屋市ー野田町)、県道24号(鹿児島東市来線)、25号(鹿児島蒲生線)、35号(永吉入佐鹿児島線)、36号(川内郡山線)、42号(伊集院蒲生溝辺線)、208号(坂元伊敷線)、211号(小山田川田蒲生線)である。図2(a)と図2(c)を比較すると1日は空港周辺、6日は鹿児島市北部方面で不通箇所が多いことがわかる。

図2(d)は8月31日24時現在の道路不通箇所である(5箇所)。国道3号は鹿児島市小山田町名越、

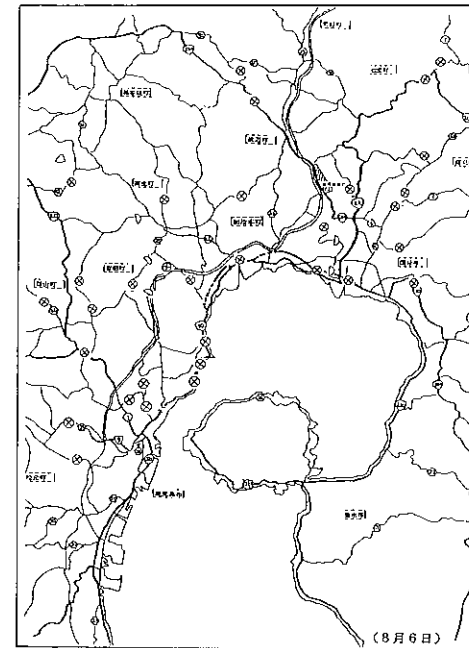
(a) 8月1日24時現在



(b) 8月5日24時現在



(c) 8月6日24時現在



(d) 8月31日24時現在

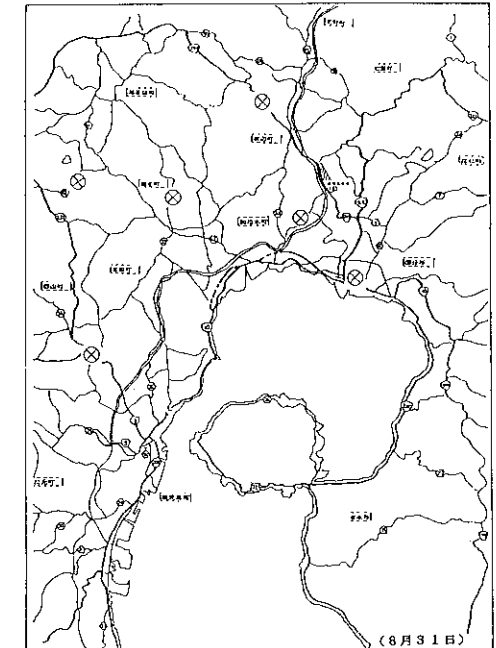


図2 鹿児島市、空港周辺道路の不通箇所(県道路維持課資料)

10号は隼人町新川橋、504号は横川町横伏敷、県道463号は蒲生町米丸で不通となっている。

国道3号、10号、九州自動車道は県内外各地と鹿児島市を結ぶ幹線道路である。国道220号は始良地区から鹿屋市、垂水市方面への幹線道路である。国道223号は霧島方面から、また、504号は出水市方面から空港への幹線道路の一つである。図3(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)はこれらの道路の不通区間と不通期間を示している。

3.2 8.1災害、8.6災害でのJRの時空間的状況

鹿児島県内にはJRの6線区がある。それらは鹿児島本線（門司港－鹿児島）、日豊本線（小倉－鹿児島）、指宿枕崎線（鹿児島－枕崎）、肥薩線（八代－隼人）、吉都線（吉松－都城）、日南線（宮崎－志布志）である。吉都線、日南線は鹿児島市、空港とは直接関係しないが、ここではそれらも含め6線区の不通状況を取り上げた。図4(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)はこれらの線区の不通状況を示している。

3.3 復旧と対策

図5は鹿児島県道路維持課が示した鹿児島市内から空港への8月2日12時現在の迂回路のルートを示している。この他に北薩からは国道268号（水俣市－高岡町）を栗野まで、県道55号（栗野加治木線）で横川町経由、空港へ至るルートを示した。大隅半島からは国道269号（指宿市－宮崎市）で都城まで行き、県道2号（都城隼人線）で国分市まで来て、隼人町見次交差点、日当山交差点を經由、空港へ至るルートを示した。図6は8月9日1時現在の空港への迂回路を示している。また、7日、鹿児島県災害対策本部では空港へのルートを確認するため、鹿児島－加治木港間に十島村村営「としま」、鹿児島商船「第二屋久島丸」、南海郵船「きんこう」を投入し、20時まで約4900人を運んだ（無料）。枕崎空港からは鹿児島空港へのチャーター利用が殺到し、8月3日から14日までに59便555人（ピークは7日の11便137人）を運んだ。しかし、道路網が復旧すると利用者は元に戻った（激減）。九州自動車道は8月10日午後、薩摩吉田－えびの間が開通し、11日早朝から薩摩吉田インターを出ようとする車（下り）が12キロ、薩摩吉田インターに入ろうとする車が県道吉野公園線で11キロ渋滞した。さらに、8月23日14時5分加治木－始良間の対面交通が解除され、隼人道路の隼人西インターも19時より車両の出入りが可能となった。

8.6災害では国道3号は鹿児島市伊敷団地入口から伊集院町中川まで、10号は磯－重富などで不通となった。国道3号の迂回路は大型車両の場合、鹿児島市－県道22号（谷山伊作線）－国道270号（枕崎市－市来町）、また、普通車の場合は他に県道24号（鹿児島東市来線）が迂回路として利用された。国道3号は鹿児島市伊敷団地入口－同市小山田町国道328号交差点が31日6時に通行可能となり（但し、大型車両を除く）、鹿児島市小山田町名越の陥没現場では郡山町を通る迂回路が開通した。台風13号接近のため9月2日13時30分から鹿児島市伊敷団地入口－同市小山田町国道328号交差点までの区間が4日夕まで通行止めとなったが、11月25日より小山田町名越の陥没箇所仮設道路が開通し、大型車両の通行も可能となった。

国道10号亀割峠は8月18日20時に通行が可能になった。磯－重富間は8月27日まで全面通行止め、27日から昼間（6時30分－19時）のみ通行可能、9月3日13時から7日9時までは台風13号の

国道3号

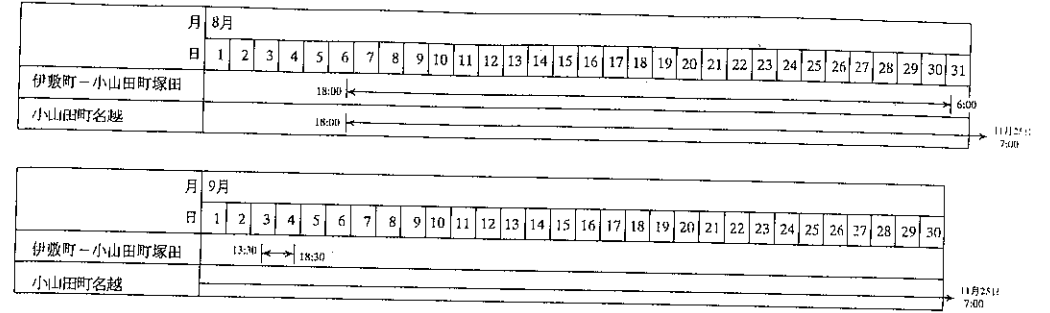


図3(a) 不通区間と不通期間（国道3号）

国道10号

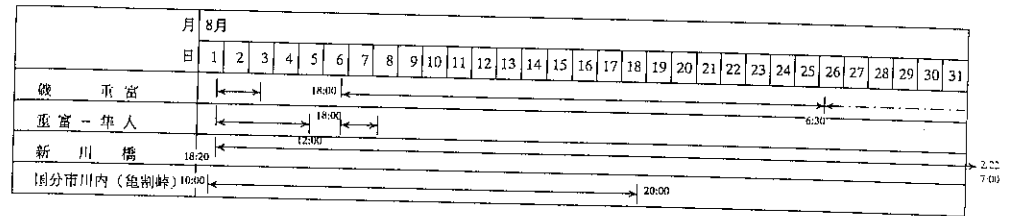
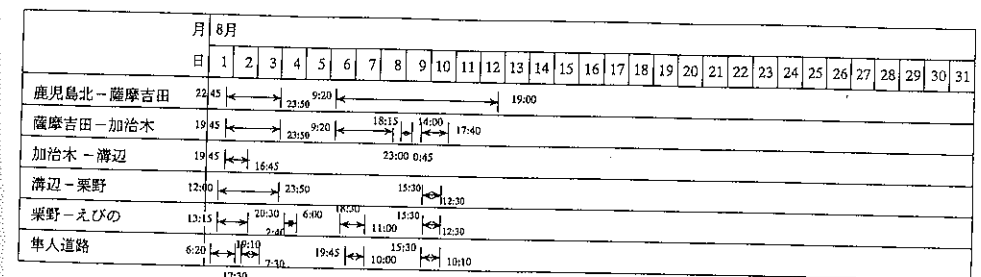


図3(b) 不通区間と不通期間（国道10号）

九州自動車道



九州自動車道

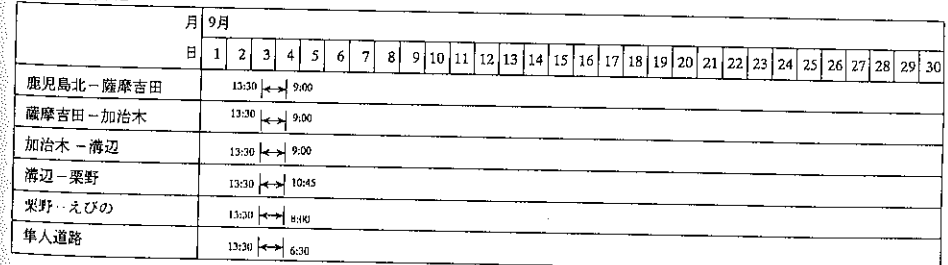


図3(c) 不通区間と不通期間（九州自動車道）

国道220号

7月	8月																																				
日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						
垂水市牛根境～牛根渡	13:00		13:30		11:00		7:20		20:00		2:30																										
垂水市牛根渡～海鷗	13:00		10:30		26:00		8:40		20:00		6:00																										

国道220号

月		9月																															
日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
垂水市牛根境～牛根渡	13:30		7:00																														
垂水市牛根渡～海鷗	13:30		18:00																														

図3(d) 不通区間と不通期間 (国道220号)

—— : 全面規制
 - - - - : 片側規制

国道223号

月		8月																																	
日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
牧園町丸尾～単人町妙見	安楽		安楽		山之浦																														
単人町妙見～単人町日当山	妙見																																		

国道223号

月		9月																															
日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
牧園町丸尾～単人町妙見	安楽		山之浦																														
単人町妙見～単人町日当山	妙見																																

図3(e) 不通区間と不通期間 (国道223号)

国道504号

月		8月																																	
日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
高尾野町	砂原																																		
宮之城町	津原		一ツ木																																
薩摩町	原名		桑野		広橋																														
横川町	野坂		横伏敷																																
薄辺町	野坂																																		
単人町	西光寺																																		
福山町			宮間																																
輝北町			宮間																																
鹿屋市	下殿川																																		

図3(f) 不通区間と不通期間 (国道504号)

国道504号

月		9月																															
日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
高尾野町	中風敷		18日から片側																														
宮之城町	薩摩町																																
薩摩町																																	
横川町	横伏敷		10月29日解除																														
薄辺町	野坂																																
単人町																																	
福山町																																	
輝北町	市域		鹿屋市～宮間																														
鹿屋市																																	

図3(f) 不通区間と不通期間 (国道504号)

鹿児島本線

月		8月																														
日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
伊集院～薩摩松元	1																															
米ノ津～出水	1																															
袋～川内	6																															
川内～市来	6																															
市来～西鹿児島	6																															

図4(a) JR鹿児島本線の不通区間と不通期間

日豊本線

月		8月																														
日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
国分～鹿児島	1																															
西都城～大隅大川原	1																															
大隅大川原～国分	1																															

日豊本線

月		9月																														
日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
国分～鹿児島	1																															
西都城～大隅大川原	1																															
大隅大川原～国分	1																															

日豊本線

月		10月																														
日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
大隅大川原～国分	1																															

図4(b) JR日豊本線の不通区間と不通期間

指宿枕崎線	
月	8月
日	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
西願姓～枕崎	←→

指宿枕崎線	
月	9月
日	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
西鹿児島～瀬々串	←→
瀬々串～喜入	←→
喜入～西願姓	←→
西願姓～枕崎	←→

図4(c) JR指宿枕崎線の不通区間と不通期間

肥薩線	
月	8月
日	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
吉松～霧島西口	←→
霧島西口～串人	←→

肥薩線	
月	9月
日	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
吉松～霧島西口	←→
霧島西口～串人	←→
人吉～吉松	←→

肥薩線	
月	10月
日	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
霧島西口～串人	←→

図4(d) JR肥薩線の不通区間と不通期間

吉都線	
月	8月
日	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
都城～吉松	←→

吉都線	
月	9月
日	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
都城～吉松	←→

図4(e) JR吉都線の不通区間と不通期間

日南線	
月	8月
日	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
油津～大堂津	←→ (7/7より)
南郷～志布志	←→

日南線	
月	9月
日	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
南郷～志布志	←→

図4(f) JR日南線の不通区間と不通期間

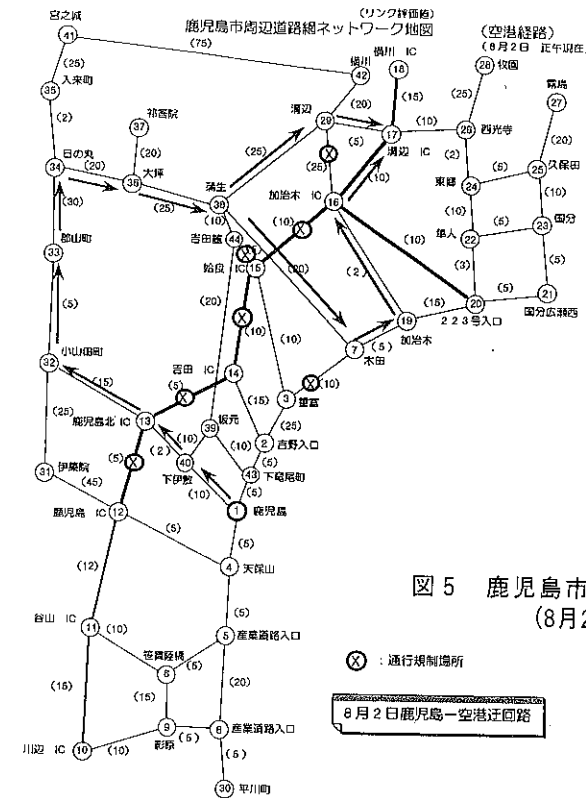


図5 鹿児島市～空港間の迂回路 (8月2日現在)

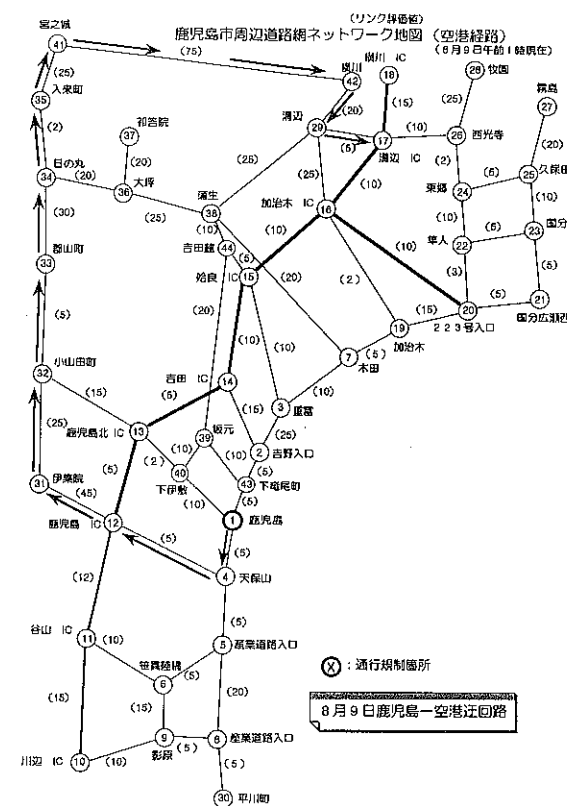


図6 鹿児島市～空港間の迂回路 (8月9日現在)

ため不通、9月17日から終日通行が可能になった。磯一重富間の迂回路としては、県道16号（鹿児島吉田線）－九州自動車道が7日18時に通れるようになった。また、日本道路公団では8月7日より10日までは部分的に、11日から26日までは24時間、27日から9月17日までは19時から翌日の7時までの夜間、九州自動車道薩摩吉田、始良、加治木インターを出入りする車両に対して無料措置を行なった。表1、図7に実施状況を示している。磯一重富間の全面通行止めに伴い、鹿児島市ボサド栈橋－加治木港間に高速船「きんこう」が8月13日から有料運行を開始し（1日8往復）、9月18日まで3万人近くを運んだ（19日よりJR日豊本線西鹿児島－国分間開通）。隼人町の新川橋は1994年2月22日7時に仮設橋が開通し、ようやく10号の不通箇所がなくなった。

表1 九州自動車道での無料措置期間、利用台数

九州道（加治木－薩摩吉田）災害無料措置実施状況

年月日（曜日）	曜日	措置対象時間	対象交通量
平成05年8月7日	土	18:15～23:00	2830
平成05年8月8日	日		
平成05年8月9日	月	0:45～14:00	10931
平成05年8月10日	火	17:40～24:00	4736
平成05年8月11日	水	00:00～24:00	30369
平成05年8月12日	木	00:00～24:00	31985
平成05年8月13日	金	00:00～24:00	29445
平成05年8月14日	土	00:00～24:00	27822
平成05年8月15日	日	00:00～24:00	21849
平成05年8月16日	月	00:00～24:00	27023
平成05年8月17日	火	00:00～24:00	30953
平成05年8月18日	水	00:00～24:00	30841
平成05年8月19日	木	00:00～24:00	33411
平成05年8月20日	金	00:00～24:00	34284
平成05年8月21日	土	00:00～24:00	34427
平成05年8月22日	日	00:00～24:00	32172
平成05年8月23日	月	00:00～24:00	36061
平成05年8月24日	火	00:00～24:00	36586
平成05年8月25日	水	00:00～24:00	36589
平成05年8月26日	木	00:00～24:00	36758
平成05年8月27日	金	00:00～6:30/19:00～24:00	2862
平成05年8月28日	土	00:00～7:00/19:00～24:00	4800
平成05年8月29日	日	00:00～7:00/19:00～24:00	4383
平成05年8月30日	月	00:00～7:00/19:00～24:00	5667
平成05年8月31日	火	00:00～7:00/19:00～24:00	6007
平成05年9月1日	水	00:00～7:00/19:00～24:00	6055
平成05年9月2日	木	00:00～7:00/14:00～24:00	9510
平成05年9月3日	金	00:00～13:30	4667
平成05年9月4日	土	9:00～24:00	11878
平成05年9月5日	日	00:00～24:00	17580
平成05年9月6日	月	00:00～24:00	21372
平成05年9月7日	火	00:00～9:30/19:00～24:00	10061
平成05年9月8日	水	00:00～7:00/19:00～24:00	6578
平成05年9月9日	木	00:00～7:00/19:00～24:00	6692
平成05年9月10日	金	00:00～7:00/19:00～24:00	7462
平成05年9月11日	土	00:00～7:00/19:00～24:00	6215
平成05年9月12日	日	00:00～7:00/19:00～24:00	5554
平成05年9月13日	月	00:00～7:00/19:00～24:00	6886
平成05年9月14日	火	00:00～10:30/19:00～24:00	12075
平成05年9月15日	水	00:00～7:00/19:00～24:00	5344
平成05年9月16日	木	00:00～7:00/19:00～24:00	6560
平成05年9月17日	金	00:00～7:00	2647
合計			699927

対象交通量

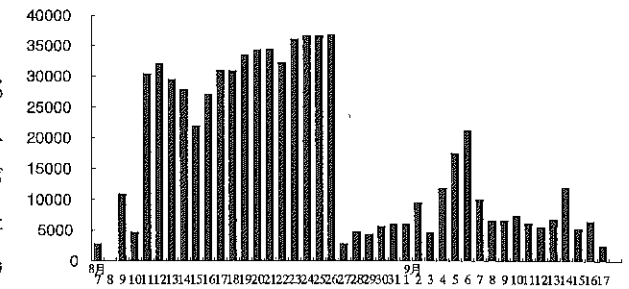


図7 無料措置実施期間における利用台数

JR九州鹿児島支社では不通となっている日豊本線（鹿児島－西都城間）、肥薩線（隼人－吉松）に二学期が始まる9月1日から貸し切りバスによる代行輸送を行なった。日豊本線は国分－重富間の各駅と鹿児島方面に上下135便、国分－都城間に上下32便、吉松－隼人間に上下24便を予定した。日豊本線では国分－薩摩大川原間以外が開通する19日の前日（18日）まで（国分－薩摩大川原間は代行バスを継続）、肥薩線は11月28日まで続いた。これらの実施状況が図8(a)から8(f)に示されている。

バス代行鹿児島本線

鹿児島本線		記 事	
月	日	延べ台数	延べ輸送人員
8月	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	355	15,903
市来～川内			

図8(a) JR鹿児島本線での代行バス運行状況

バス代行運送

日豊本線		記 事	
月	日	延べ台数	延べ輸送人員
8月	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31		
国分～西鹿児島			
都城～国分			
大隅大川原～国分			

日豊本線

日豊本線		記 事	
月	日	延べ台数	延べ輸送人員
9月	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30	1,516	78,338
国分～西鹿児島			
都城～国分		328	4,241
大隅大川原～国分			

日豊本線

日豊本線		記 事	
月	日	延べ台数	延べ輸送人員
10月	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	569	13,129
大隅大川原～国分			

図8(b) JR日豊本線での代行バス運行状況

バス代行指宿枕崎線

指宿枕崎線		記 事	
月	日	延べ台数	延べ輸送人員
8月	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	48	1,270
西頭越～枕崎			

指宿枕崎線

指宿枕崎線		記 事	
月	日	延べ台数	延べ輸送人員
9月	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30	42	1,668
西頭越～枕崎			

図8(c) JR指宿枕崎線での代行バス運行状況

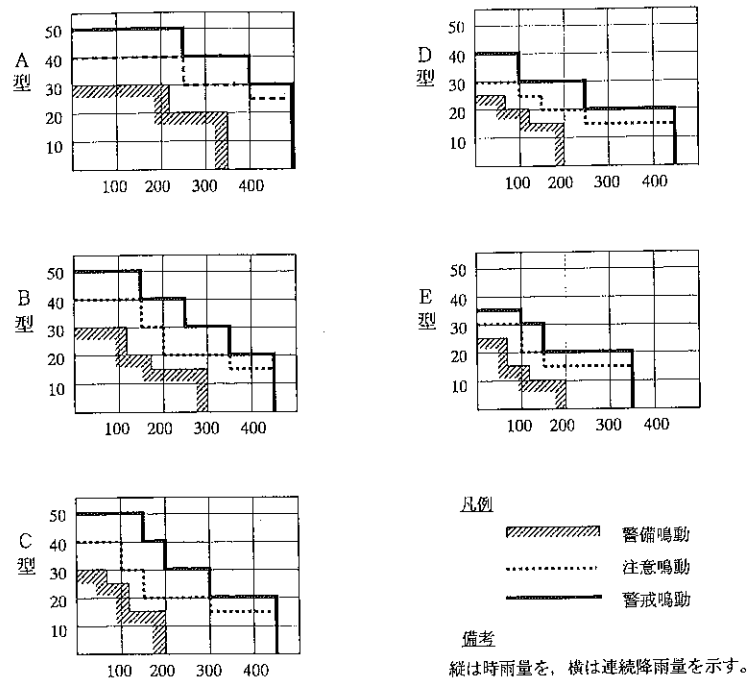


図9 災害警備発令標準 (九州旅客鉄道(株)資料)

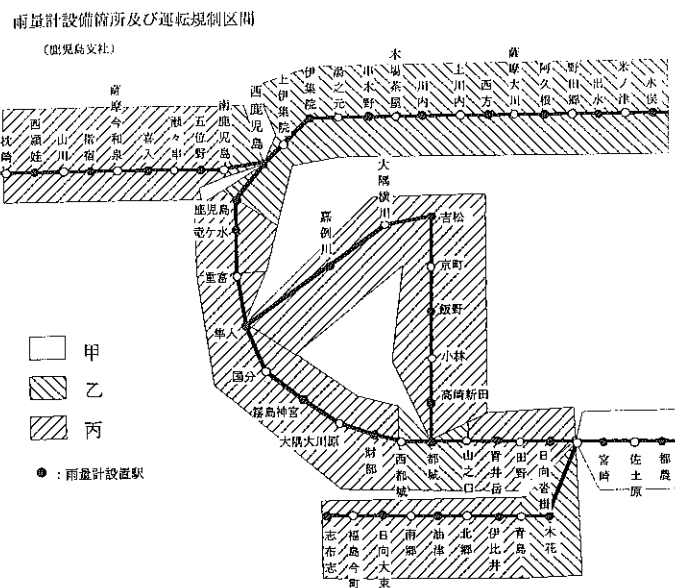


図10 雨量計設備箇所及び運転規制区間 (九州旅客鉄道(株)資料)

表4 運転規制を行なう場合の運転速度 (九州旅客鉄道(株)資料)

降雨により運転規制を行う場合の区分による運転速度 (雨量警報器の鳴動による)

区分	運転速度	
	注意鳴動	警戒鳴動
甲	45Km/h以下	35Km/h以下
乙	35Km/h以下	25Km/h以下
丙	25Km/h以下	列車の運転中止

※ 累積降雨量により鳴動した場合の運転規制の速度は 25km/h以下とする。

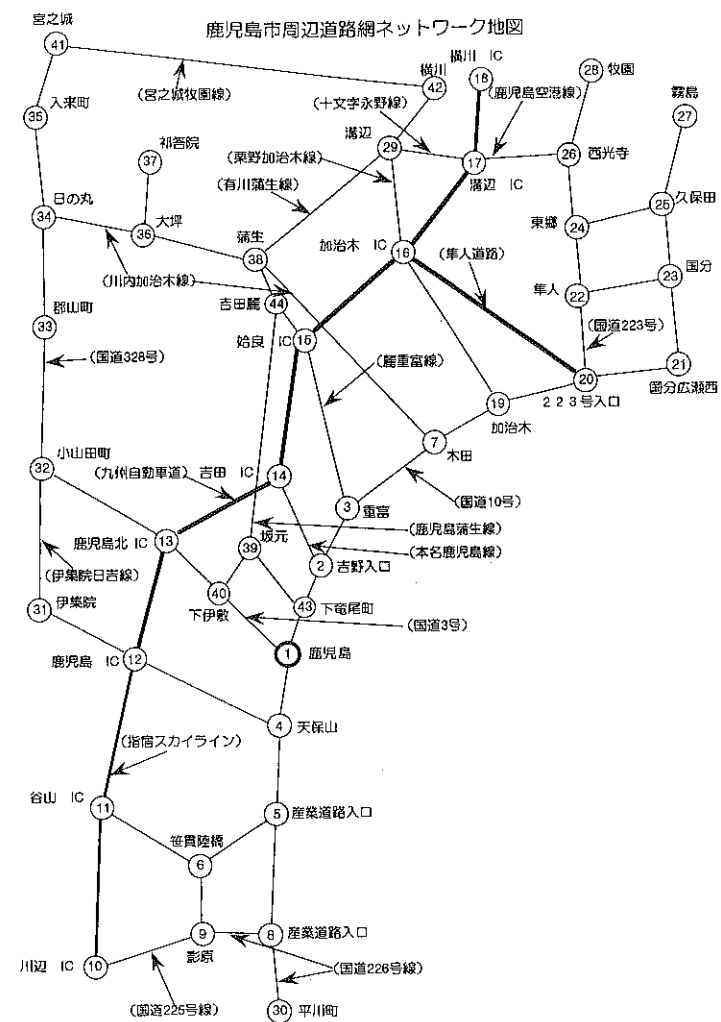


図11 道路ネットワーク

(1) リンク評価値の定義

例えば、図11に示すような道路網において、1、2、3、・・・、i、・・・、n、・・・、をノード番号 (Node Number)、 L_{1-2} 、 L_{1-3} 、 L_{2-3} 、 L_{3-4} 、 L_{i-j} 、・・・、をリンク番号 (Link Number) とすれば、リンク L_{i-j} の「リンク評価値」は次式で示される。

$$E_{i-j} = l_{i-j} / V_{i-j} \quad (3.1)$$

ここに、 E_{i-j} (時間) : リンク L_{i-j} の時間表示によるリンク評価値、

l_{i-j} (km) : リンク L_{i-j} の距離、

V_{i-j} (km/h) : リンク L_{i-j} における平均速度。

これは E_{i-j} の値が小さいリンクほど経路選択に当たって選択される可能性が高くなっていることを示している。すなわち、一般の道路ユーザーは経路選択に当たっては「交通条件（渋滞現象の有無等）と道路条件（道路規格に基づく幅員・線形等や路面状態等）を考慮して最短時間（距離）で目的地に到達できると考えられる経路を選択する」という前提に立っているもので、この交通条件や道路条件は結果的にリンクの平均速度 (V_{i-j}) に集約表現されている、という仮定に立脚しているものである。この仮定によって本報告では、上式の l_{i-j} と V_{i-j} については、実用面を考慮して市販の道路地図⁵⁾を利用することにした。特に、 V_{i-j} については、リンク内の道路条件によって制限速度が変化することが多分に有り得るので、その平均速度を一々算定する煩雑さを避けて、道路地図に記載されているリンク距離 l_{i-j} をそのリンクの所要時間 (t_{i-j}) で除した値 ($V_{i-j} = l_{i-j} / t_{i-j}$) を採用することにした。

(2) リンク評価値 (E_{i-j}) を用いた迂回路 (最短経路) 選択システム

道路網中のあるリンク (L_{i-j}) に何らかの原因によって交通障害 (全面通行止め、片側通行止め) が発生した場合、全面通行止めではそのリンクの平均速度はゼロ ($V_{i-j} = 0$) とし、片側通行止めでは平均速度の1/2、つまり、 $V_{i-j} / 2$ を採用することにした。このようにすれば、全面通行止めのリンクではその評価値は無量大 ($E_{i-j} = \infty$) となり、片側通行止めのリンクでは $V_{i-j} / 2$ に応じた E_{i-j} の値となる。

かくして、ある時点で、あるリンクに $V_{i-j} = 0$ あるいは $V_{i-j} / 2$ という事態が発生した場合、最寄りのノードから目的地への選択経路は、通行可能な複数の経路のそれぞれのリンク評価値の単純集計値 (ΣE_{i-j}) を計算し、その集計値の最小の経路を迂回路としてドライバーは選択するものとする。集計値の最小経路のみならず、複数の迂回路とそれらの集計値の順位を示せば、最短経路に道路ユーザーが集中するということは避けられる。

なお、規制解除になったリンクについては、全面規制解除では E_{i-j} の値をから元の値に、片側規制解除のリンクでは E_{i-j} から $V_{i-j} / 2$ の速度に応じた E_{i-j} の値に戻せばよい。

(3) 8.1災害、8.6災害への適用

図11は鹿児島市、空港周辺の道路網をリンク評価値を求めるためにネットワーク化したもの

である。市販の道路地図から各リンクの距離と所要時間を求め、8月における各リンクのリンク評価値が表5にまとめられている。例えば、通常、鹿児島市と空港とのリンク評価値は吉野経由の場合 (リムジンバスのルート) は55、鹿児島北インターを経由する場合は47となる。ところが、図5、6に示された8月2日、9日の迂回路を利用すると溝辺経由の場合が137、加治木経由の場合が144、宮之城経由の場合が247となっている。

ここに示した手法のシステム化 (コンピュータプログラムの作成) が必要であり、このことは今後の課題である。

4. 交通網よりみた災害に強い都市づくり

国道3号は鹿児島市伊敷団地入口-鹿児島市小山田町名越の甲突川沿いの区間で斜面崩壊、路面の侵食等によって長期間にわたって通行止めが発生した (図3(a)参照)。現在、県道24号 (鹿児島東市来線) 沿いに南九州西回り自動車道が建設中である。このルートが開通すれば、今回の豪雨災害で不通となった伊敷団地入口から小山田町名越は鹿児島市と東市来町以北を起終点とする車両は通行する必要がなくなる。

国道10号も磯-重富間が長期間にわたって不通となった (図3(b)参照)。10号のこの区間には鹿児島市の観光名所の一つである磯庭園が隣接しており、海側に道路を付替えることが考えられる。

九州自動車道は建設時の基本的コンセプト (法面の雨水はできるだけ早く除去する、法面への雨水の侵入をできるかぎり避ける) を踏襲し、保守・点検の強化、路線沿いの開発に伴う側溝や中小河川のハイドログラフの変化を把握し、それらに対応する処置を施せば、災害に強い道路を維持できるものとする。

220号については現在、垂水市海潟側で海側を通る高架橋の建設 (早崎防災事業) が進んでいるが、牛根側では抜本対策として、トンネル案、架橋案を検討中であり、早期の事業化が望まれる。また、完成までには時間がかかるため、国道504号、県道71号 (垂水南之郷線)、県道72号 (垂水大崎線) 等の整備も必要である。

いずれにしても、1993年の豪雨災害のような数百年に一度といわれるような豪雨⁶⁾に見舞われたときには道路は斜面崩壊、陥没、冠水等によって通行止めになるということは不可避であり、そのような事態が発生した時に、どのような対策 (迂回路の設定、道路規制等) が有効であるかという視点に立った災害に強い道路網づくりを行なうべきであろう。現在の土木技術のレベルは今回の豪雨にも耐えられる道路を建設することは可能であるが、費用便益の立場からは交通機能災害が発生した場合に被害を最小にするためのソフトの充実を目指すべきであろう。

5. あとがき

1993年鹿児島豪雨災害の中の交通機能災害について正確な事実の把握と災害に強い街づくりを目指した若干の考察を加えた。1993年7、8、9月の降雨量は数百年に一度といわれている。このような豪雨による災害を軽減し、予防するための総合的な対策を確立するためには10年以上の歳月を要するものとなろう。また、利害、価値観が異なる中で有効な対策を実行していくためには土木工学の分野で発展してきた種々の最適化の手法を適用し、代替案の定量的な評価が必要であると考え。今回の豪雨災害をふまえ、21世紀以降の鹿児島のあるべき姿を考えた時、1993年はその問題を考えるよい機会を与えてくれた年ではないかと思われる。すなわち、災害が発生することによって鹿児島県、鹿児島市が今後解決していかなければならない問題を鮮明に浮き彫りにしてくれたのではないかと思われる。これらの問題を解決するためには数十年、百年のオーダーでの県土づくりを目指していかなければならないと考えている。

謝 辞

建設省鹿児島国道工事事務所、大隅工事事務所、日本道路公団加治木管理事務所、鹿児島県道路維持課、鹿児島市、鹿児島県警交通規制課、九州旅客鉄道(株)施設部工事課等から貴重な資料の提供をいただきました。また、南日本新聞掲載記事を多くの記述の中で引用させていただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 鹿児島市企画部(1993): 市政概要(平成5年度), 1p.
- 2) 鹿児島市教育委員会(1984): 鹿児島市内の史跡めぐり, 9pp.
- 3) 原口虎雄(1973): 鹿児島県の歴史, 山川出版社, 269pp.
- 4) 竹内伝史・本多義朗・青島縮次郎(1986): 土木教程選書「交通工学」, 鹿島出版会, 284pp.
- 5) 人文社編集部(1992): 鹿児島県広域道路地図, 人文社, 71pp.
- 6) 長勝史(1994): 甲突川の流出特性, 「1993年鹿児島豪雨災害の総合的調査研究」報告書, 27-31.

平成5年8月豪雨による鹿児島災害における 情報伝達および避難に関する調査

長崎大学工学部 高橋 和雄
阿比留 勝吾

1. まえがき

平成5年8月6日夕方、鹿児島市は、時間雨量56mm、3時間雨量147mm、総雨量259.5mmという局地的な集中豪雨に、鹿児島市内の中心街を流れる甲突川、稲荷川、新川流域が相次いで氾濫し、約11,000戸が浸水被害を受けた。竜ヶ水地区、小山田地区などで山崩れ、崖崩れ、土石流が多数発生した。これらによって、生き埋めや洪水に流されて、48人が死亡、64人が負傷、1人が行方不明となっている。今回の災害は鹿児島県の災害のパターンである「長雨後の局地的な集中豪雨」による土砂災害に加えて、甲突川を始めとする市街地の河川氾濫に伴う都市災害と2面性をもつ。11年前の長崎豪雨による災害とよく似た多量の自動車の被害、建物地下室の浸水被害が目立った。河川氾濫による出水が急激だったため、住民への情報伝達および避難誘導には、防災機関はほとんど組織的対応が取れなかった。災害に強い防災都市づくりに、斜面の防災工事や河川改修などのハード面の対策に加えて、情報伝達、避難誘導、自主防災組織の育成などのソフト面の対策が必要である。

本報告では、8月6日の豪雨災害時の災害の状況、防災機関の対応を調査して、ソフト面の対策の課題を明らかにするものである。

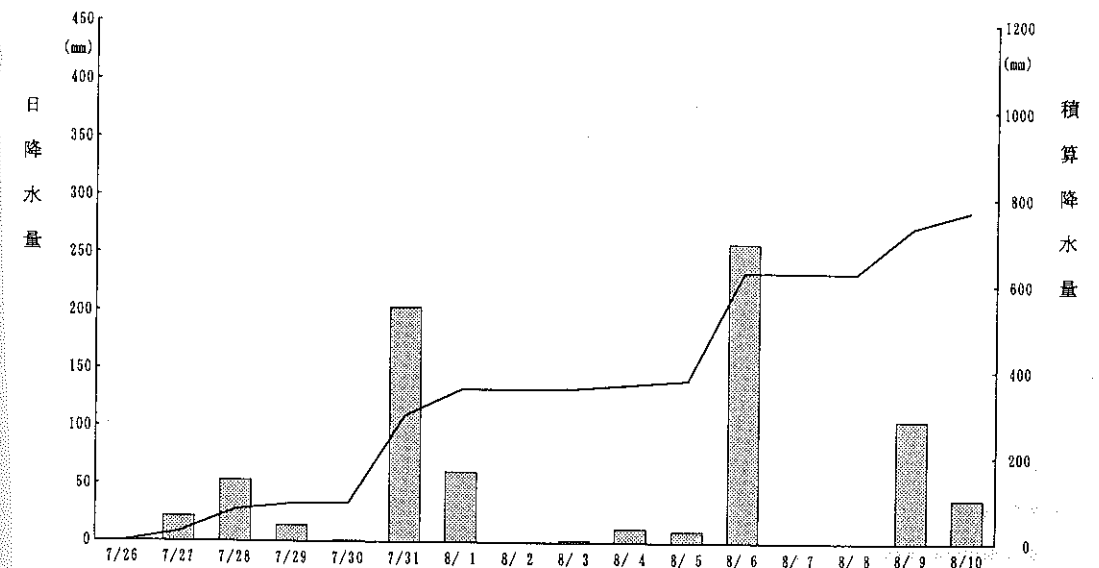


図1 鹿児島气象台日別降水量・積算雨量

2. 降雨状況¹⁾²⁾

8月5日中国大陸東岸低気圧から九州南岸に伸びていた前線が、低気圧の東進とともに8月6日から7日にかけて次第に北上し、活動が活発になった。前線が6日九州南部に停滞していたところに、日本の南海上を北上中の台風第7号から、九州地方へ南から暖かく湿った空気が吹き込んだ。この影響で8月6日は鹿児島に大雨が降った。この大雨のほかにも7月26日～8月6日にかけて、26～28日の台風5号、29～30日の台風6号、31日～8月2日の前線と継続

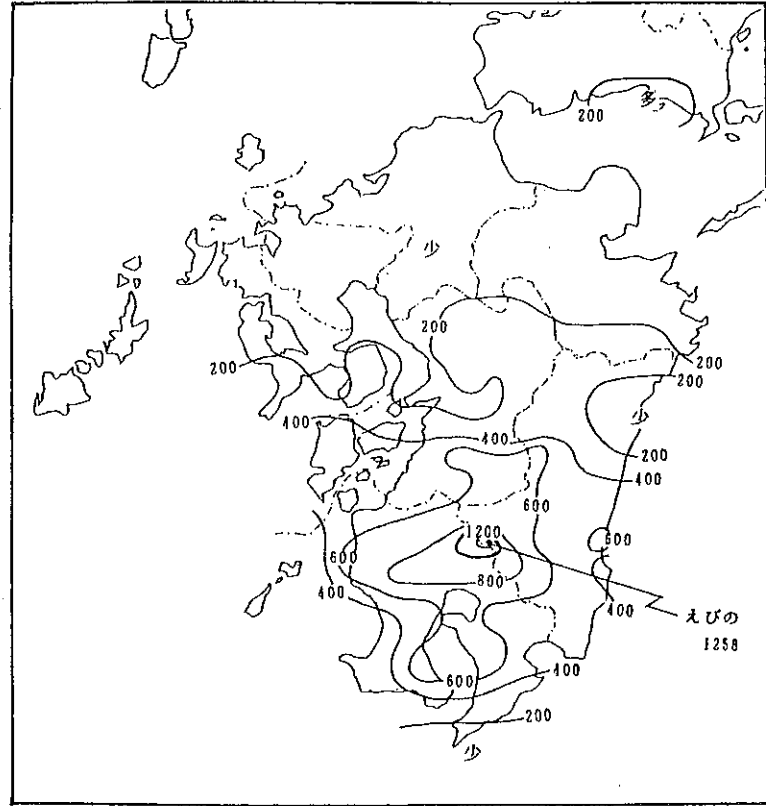


図2 「平成5年(1993年)8月豪雨」の総降水量分布図
(平成5年7月31日～8月7日 単位mm)

的に大雨に見舞われていた。図1は甲突川の下流の市中中部にある鹿児島地方気象台の日別降水量と積算雨量である。8月6日以前の先行雨量によって地盤が緩み、保水機能がなくなっていたところに、8月6日に集中豪雨が降ったため、土砂災害や河川氾濫が発生したと考えられている。図2は平成5年8月豪雨(7月31日～8月7日)の総降水量分布図である。局地的に強い雨が降っており、えびので1,258mmとなっている。降水量は地域によって著しく異なり、被害が集中した鹿児島市の中央部(気象台の位置)はそれほど多くない。8月6日の鹿児島地方気象台の降水状況は図3に示すとおりである。16時から17時に30mmの豪雨が記録されているだけで、17時過ぎから河川氾濫、土砂崩れが発生し始めている。気象台の雨量からだけでは、大災害が発生しているとは想像しにくい。ところが、甲突川上流にあたる日置郡郡山町の雨量を見ると、1時間前の15時から16時に30mm程度の雨が降っており、気象台のある市内よりもはるかに多い雨が降っている(図4)。つまり、甲突川上流にあたる郡山町の雨量が17時頃の河川氾濫の大きな原因となっている。市内においても伊敷や小山田町にある消防の分遣隊にある消防署の雨量計の雨量は鹿児島市役所近くにある鹿児島市消防局の雨量よりも多い。このように今回の豪雨は局地的に集中したので、気象台の雨量だけでは災害の発生を予想できなかった。

また、市中央部にある防災関係機関も初動期の対応が遅れた。鹿児島市消防局は、市内各所に雨量計をもち、郡山町の雨の状況の情報を受け取っていたので、早めの対応が可能であった。

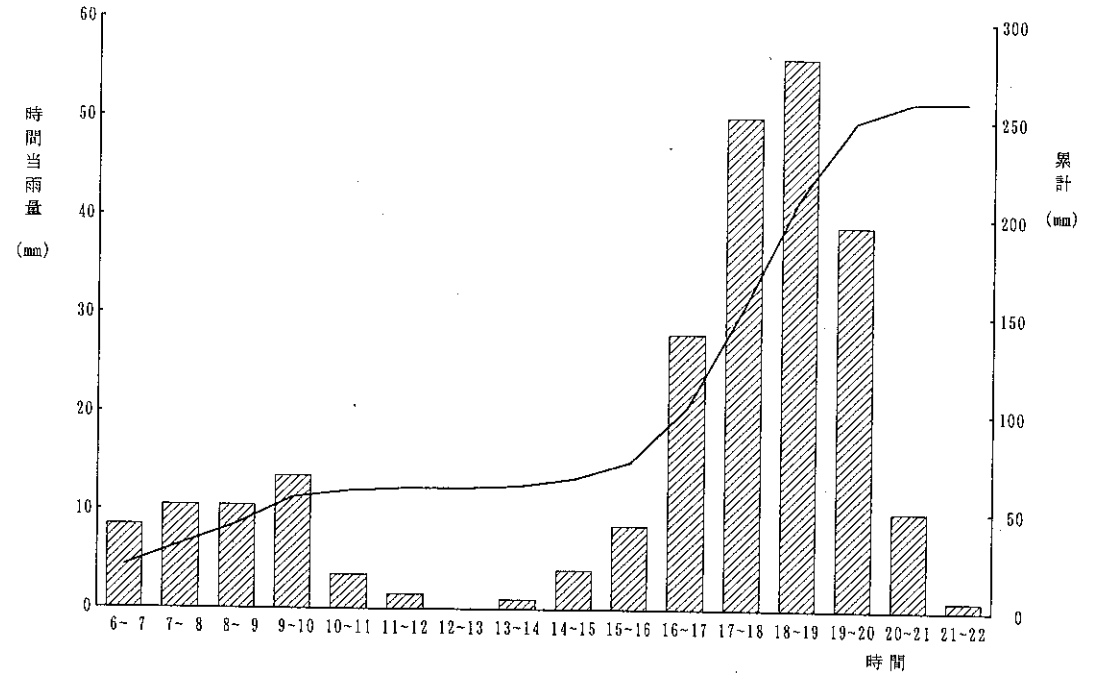


図3 8月6日の降雨状況(鹿児島地方気象台)

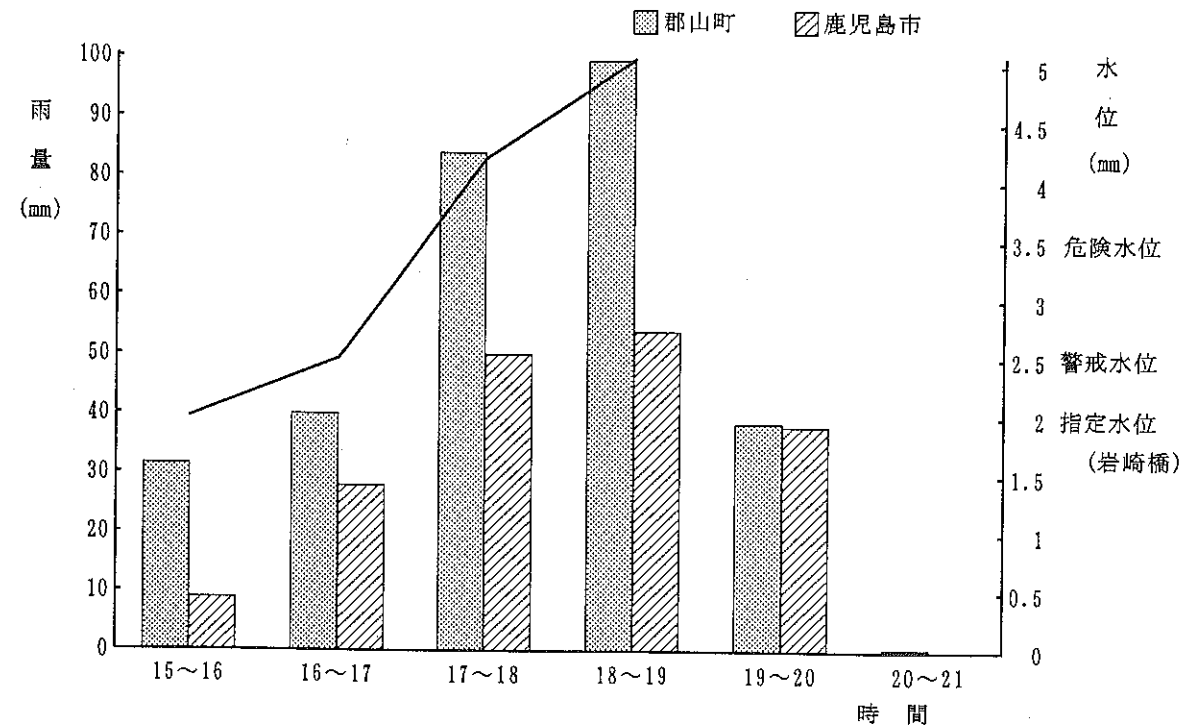


図4 郡山町と鹿児島市の雨量、甲突川の水位(南日本放送の放送資料より)

16時30分に河川氾濫や崖崩れの危険地に避難を呼び掛けている。広域的に情報を収集することが重要であることを示す事例であるが、残念ながら、河川氾濫のために広報活動を行うことができなかった。また、市民も気がついたときは路面冠水で動けなくなった。流域一体となった河川管理の必要性が改めて確認される。降雨は17時から19時にかけて強く、市内全域に河川氾濫、土砂崩れが拡大した。20時過ぎには雨は小康状態となったが、満潮に近づいたために、浸水は深夜まで続いた。

3. 被害状況

3.1 災害の経緯

鹿児島市内では6日16時頃から雨が激しく降り始めたが、17時頃にはバスや路面電車が通行不能となり、竜ヶ水地区では早くも崖崩れが起こり、国道10号線上の車とJR日豊線竜ヶ水駅で立ち往生した2本の列車の乗客が孤立し、その数は2,000人にも及んだ。JRの運転手・車掌の地域の災害特性を把握した的確な判断が人的被害を未然に防いだ。また、たまたま、国道10号上にいたパトカー、鹿児島県知事の公用車からの連絡が情報伝達や避難誘導上有効であった。JRの乗務員や鹿児島中央署の巡査は土石流が発生する中必死の避難誘導にあたった。1,600人は巡視艇や桜島フェリー、漁船などが出動して鹿児島市内に移送され、陸路からも約450人が救出された。鹿児島市の地域防災計画書に記載されている桜島の噴火による避難計画にある海上輸送のシステムが活用できた。

17時30分頃には、甲突川は上流部の雨を受け、玉江橋、新上橋付近で氾濫している。その後、18時10分頃にも西田橋から岩崎橋の間のあちこちで氾濫が起こり、また稲荷川の氾濫により実方太鼓橋も17時48分頃に流失して流した。この他、新川流域も氾濫した。

その後も市内に溢れ出した水の水位は高まっていき、満潮と重なった21時頃にピークとなった。また、土砂崩れ、崖崩れも相次ぎ、23時頃、花倉病院の裏山で土石流が発生し、多数の死者を出している。

3.2 電気

停電は、甲突川上流の花野団地、小山田町、河頭方面で17時25分に始まり、次いで、稲荷川上流の吉野町、下田町、川上町方面で17時47分に始まっている(表1)。その後、停電が市街地に及び19時頃まで広がった。鹿児島営業所で、最大停電時(8月7日6時)に19,151戸に達した(鹿児島支店停電率2.2%)。停電は、避難勧告地域を除いて、8月8日16時26分に全面復旧した。市中央部の建物では、地下室が浸水して地下室の受電盤が冠水したため切り離して復旧した。

九州電力の電柱は、道路決壊、崖崩れで流失、倒壊し、電線が切断された。天文館変電所が21時25分に冠水したが、他ルートに切り替えて対応した。また、天文館電車通りなどの電線地中化箇所では路上に置かれた開閉器ボックスが浸水、IC部品が不良となったものが264基のうち、41基に被害が出た。

3.3 電話

電話交換機はある程度の容量を越えると輻輳状態になってかかりにくくなる。8月6日は17時頃から甲突川で氾濫が始まり、路面冠水、家屋への浸水が始まった。通勤や買物帰りの市民

表1 水害による停電戸数の状況
(平成5年8月6日～)

平成5年8月13日
九州電力株式会社
鹿児島支店
(広報課)

地域名	停電戸数		停電発生日時	送電完了日時
	8月7日：6時現在			
花野団地・小山田町・河頭方面	3,706		8/6 17:25	8/8 16:26
吉野町・下田町・川上町方面	3,037		8/6 17:47	8/8 13:15
清水町・祇園之洲町・春日町・上竜尾町方面	860		8/6 18:11	8/8 13:30
加治屋町・中央町・西千石町・樋之口町・山之口町・玉里団地方面	1,476		8/6 18:56	8/7 11:35
下伊敷町・東坂元町・西坂元町・伊敷団地方面	2,738		8/6 19:05	8/8 13:10
西田1～2丁目方面	278		8/6 18:50	8/7 8:16
合計	12,095		-	-

(注)当資料は、鹿児島市全域での最大停電時(8月7日：6時現在)の断面である。

は近くのビルに避難して公衆電話に殺到した。しかし、なかなかつながらない輻輳状態になった。鹿児島市では、電話回線が稲荷町、小山田町など20箇所まで冠水もしくは切断し、4730回線が不通となった。また、冠水した電話機は受話機が上がった通話待ちの状態になる。交換機は、通常容量の20%～30%であるが、容量が限界(70%～80%)に近づくと自動的に通話を制限し始める。システムダウン防止のプログラムが組み込まれているためである。8月6日19時4分から交換機の輻輳が始まった。輻輳状態は夕方から深夜にかけて続いた。しかし、どの程度の輻輳が続いたかのデータは記録されていない。自動制御が働いても警察、消防、市役所、県庁などの防災機関で手続きされた重要加入電話や公衆電話は優先的確保される。一般家庭や企業で使用される一般回線が制御されることになる。しかし、どの電話が重要加入電話回線かを担当者が知らなかったようである。以前はステッカーが貼ってあったといわれているが、現在は見受けられない。NTTの説明も不十分のようである。一方、市外からの着信については手動で制御され、鹿児島市の市外からの0992コールは20時30分から7日0時25分まで75%制限が実施された。

8月6日18時過ぎに河頭方面の中継ケーブルが切断した。ケーブル内にガス圧をかけてあるのが減るとブザーが鳴るシステムになっている。この結果、38局の2200加入電話がかかりにくくなった。この結果、この方面からの住民からの119番通報や消防局と消防署との連絡が取りにくくなった。NTT鹿児島支店では、18時45分にも「市内外の電話が混み合っている、輻輳が多い、電話がパンクしている、緊急時以外は控えて下さい」と放送依頼した。

8月7日の早朝、鹿児島市と川内市、日置郡伊集院町、日置郡郡山町を結ぶ3回線の中継ケーブルが小山田町で国道3号線が陥没したため切断されたことを確認した。無線回線を使ってカバーしたが、鹿児島市～川内市、日置郡方面で電話がかかりにくい状況が続いた。NTTでは

急がないときは使わないように広報した。復旧作業は、台風接近により一時中断したが、道路陥没現場を迂回する方法で、同軸ケーブル、光ケーブルの敷設、接続作業が行われた。

自動車電話、携帯電話、ポケットベルは無線を使っているが、アンテナからはケーブルになっており、伊敷町、伊集院町、薩摩郡東郷町、宮の城町および串木野市方面がかかりにくくなった。

4. 各機関の対応

災害時の各機関の対応についてまとめた結果を表2に示す。

表2 鹿児島災害時の各機関の対応

日時	気象台	鹿児島県・市	消防署	放送局	N	T	T	九州電力	交通
8月5日 22	大雨洪水警報発表 (22:10)								大雨洪水警報発表 (22:10)
8月6日 08			17分道隊巡回警備 (8:30)						九州自動車道 鹿児島ー加治木 通行止め (9:20)
10 14									バス、路面電車 運行不能 (17:00) JR日豊線 電ヶ水 駅 普通列車2本 立ち往生 (17:00) 列車の車外へ乗客 避難 (17:03) 土砂迫る列車放棄 (17:30)
16	大雨洪水警報切替 (15:50)	災害対策本部設置 (17:30)	消防車による避難 勧告 (16:30) 消防団第1配備 (17:00) 119番受理始まる					花野団地、小山西 町方面停電 (17:25) 吉野町、下田町、 川上町方面停電 (17:47)	
18		市防災対策本部 避難勧告 (18:30) 第10管区海上保安 本部に出動要請 (18:30)	消防団第2配備 (17:30) 報道機関への広報 依頼 (18:35)	安否情報放送 (MBC7ch, 19:29) 災害放送開始 (MBC7ch, 19:35)	伝送路の切断警報 (18:35)	電話交換機の輻輳 始まる (19:04)	西田1、2丁目停電 (18:50) 下伊敷町、坂元町 方面停電 (19:05)	九州自動車道 えびのー鹿児島 全面通行止 (18:30)	
20						緊急時以外は控え てほしいと広報 (19:45)			
22	大雨洪水警報切替 (23:00)	災害救助法適用 (23:00) 自衛隊派遣要請 (23:45)	電ヶ水、国道10号 上の車両への広報 (23:00)	番組かけ災害情報 (MBC TV, 21:32)		市外着信75%規制 開始 (20:15)	天文館変電所冠水 (21:25)		
8月7日 24						市外着信規制解除 (0:25)			
02 06								最大停電戸数 19,200戸 (6:00)	
08								故障状況の広報 (7:15)	
10	大雨洪水警報 解除 (9:20)								
12								特別放送体制終了 (MBC7ch, 14:50)	停電復旧 (8日 16:30) 災害対策本部解散 (8日 17:30)

4.1 鹿児島地方気象台

鹿児島地方気象台は、8月5日22時10分に、鹿児島県全域に、大雨洪水警報を発表した。鹿児島県における大雨警報の発表基準は、1時間雨量50mm、3時間雨量100mm、24時間雨量200mmであるが、この発表では、24時間雨量を多いところでは150mmから200mmを予想し、これまでの大雨で地盤が著しく緩んでいるので、崖崩れ、山崩れ、河川氾濫、低地の浸水、土石流などの重大な災害が起こる恐れがあると警戒を呼び掛けている。その後8月6日15時50分と23時0分に切り替えられている。7月1日からの大雨警報の発令経過は表3のように16回に及んでいる。雨量見込と実際の降水量を対比すると、鹿児島県下では見込通りの雨が降っている。

しかし、降雨が多い地域が狭いため、地点によっては雨がほとんど降っていない。警報慣れの原因にもなりかねない。集中豪雨の予測の精度が向上すれば、地域の細分化が望まれる。なお、8月5日16時55分から8月7日9時30分まで計36回の大雨に関する情報が発表された。今回の時間雨量は100mm以下であったので、記録的短時間大雨情報は発表されなかった。

4.2 鹿児島市

鹿児島市は17時30分に災害対策本部を設置し、災害応急対策にあたった。住民への避難は消防局を通じて住民に伝達された。22時30分に鹿児島市は鹿児島県知事に対し、災害救助法の適用を23時00分に適用申請、23時00分に適用の通知が電話によりなされた。鹿児島市の地域防災

表3 大雨洪水警報の発令経過

鹿児島地方気象台			
発表(切替回数)	解除	雨量見込(mm)	降水量(mm)*
7月1日 20:30	7月2日 21:00	250	95
7月4日 6:10	7月5日 14:00	250	322
7月6日 19:30	7月7日 21:00	200	119
7月17日 2:20	7月17日 7:20	150	170
7月17日 16:40 (1)	7月18日 14:00	150	143
7月28日 15:00	7月28日 21:45	150	151
7月31日 4:55 (4)	8月3日 8:25	200	465
8月4日 5:40	8月4日 9:50	150	69
8月5日 22:10 (2)	8月7日 9:20	250	391
8月9日 10:10 (1)	8月10日 6:00	300~400	333

発表基準 1時間雨量 50mm
3 " 100mm
24 " 200mm

*鹿児島県内の 最大降水量

計画書³⁾によれば、鹿児島市には桜島を除いて、防災行政無線の同報無線及び戸別受信機は導入されていない。つまり、市役所から直接住民に情報伝達する手段はない。このため、鹿児島市や鹿児島市消防局から住民への伝達方法は次に示す5とおりが挙げられている。

1. 口頭、または拡声器による伝達
2. サイレン、鐘による伝達
3. 広報車等の呼びかけによる伝達
4. 報道機関を通じて行うテレビ、ラジオなどによる伝達
5. 消防の車両による拡声広報、広報班による広報車の出動 (消防局)

そのうち、1、2、3、5の手段については直接現地に行かないとできないが、すでに河川が氾濫していたために不可能であった。このため8月6日の災害時にはテレビ・ラジオを通じた伝達が行なわれた。停電も各所で生じており、テレビも役に立たなかったことも考えられる。

4.3 鹿児島市消防局

鹿児島市消防局は独自の雨量計を市内の分遣隊に設けており、また、郡山町で強い雨が降っているという情報を得て、16時30分から市内の崖崩れのおそれがある地域や浸水地域などに、消防車により広報、避難勧告を行い始めた。しかし、すでに路面冠水している箇所もあり、思うようにはできなかった。消防は広報をほとんどすることができず、市内の崖崩れ箇所や氾濫河川などの災害現場で人命救助、避難誘導などの救急活動を開始した。そんな中、119番通報の受理が始まり、ピークの18時から19時には時間当たり200件を超え、合計でも約2,000件の通報があった。消防局では補助台を入れて14台の受信台を使って市民からの通報を受けた。人員は職員18人と応援隊15人であった。

18時35分に甲突川の氾濫により、市街地への浸水を始めたので、一帯住民などに緊急に避難するように報道期間へ広報の依頼を行った。

その内容は、「郡山町で午後5時から6時に84mmの大雨が降っており、大量の雨水が、甲突川へ流れ込み、市街地に流出する恐れや、崖崩れの恐れがあるため、崖や河川の周辺の住民は避難するように」といった内容であった。また、23時に国道10号の花倉、竜ヶ水、三船地区の道路寸断による立ち往生の人々に、崖崩れによる二次災害防止のために、車外に出て避難するように呼び掛けた。

4.4 鹿児島県警察本部

8月6日17時頃から、110番通報が急に増加し、回線が輻輳し始めた。通常110番受理の当番は5人体制であるが、8月6日夜から翌日までの間は2人増強して7人体制にした。この他、8月7日2時時点で自宅待機中の通信指令室勤務員9人を非常招集して応援を求めた。庁内で待機中の職員9人も、災害発生事案などに対する指揮、110番受理、指令等の補助に従事した。8月6日の110番受理件数は1,520件（うち災害関係586件）で通常時の約3倍、8月7日は1,087件（うち災害関係644件）で、通常時の約2倍に達した。

鹿児島県警察本部は、8月5日21時に警備部長以下475人体制を取り、8月6日18時に本部長以下1,653人体制に強化した。国道10号約4kmの区間で孤立したドライバーおよびJRの乗客の救出にあたっては、船で部隊を上陸させた。警察官287人は陸上自衛隊、海上保安庁、消防団、地元漁業協同組合、桜島町と協力して、夜を徹して、船舶などにより孤立者を全員救出した。

また、市内の甲突川、稲荷川、新川流域においては、河川氾濫で通行人等が濁流に流されたり、家屋が浸水し屋根上で救助を求める市民が多く出たため、市内の3警察署の200人の警察官が避難誘導、救助活動にあたった。しかし、予想していなかった甲突川や稲荷川の氾濫で国道などの幹線道路が、濁流で川のようになったほか、両河川流域を中心に市街地全体が水没した。このことから、パトカーなどによる出勤が不能となったばかりでなく、徒歩での救助活動もきわめて困難をきたし、孤立した市民からの救助要請には十分には応えることはできなかった。

4.5 報道機関

8月6日は首相指名選挙の日にあたり、夕方からのテレビ、ラジオのニュースは国会の様子を流していたときに鹿児島の水害の情報が全国に放送された。18時35分の鹿児島市消防局からの放送依頼に鹿児島県内のテレビ局であるNHK鹿児島放送局、南日本放送（MBC）、鹿児島テレビ（KTS）および鹿児島放送（KKB）は、18時40分過ぎに鹿児島市全域に向けて放送した。

ラジオでは、NHK、MBC、FMかごしまが、国道10号線上で車に取り残されている人々に向けて放送した。「救出のための船の手配を行っている」といった内容になっており、孤立した人々にとっては、大きな安心材料となった。孤立して不安な一夜を過ごしている災害現場ではカーラジオからの情報が一番の頼りであった。

MBCラジオにおいては、18時49分、「安否情報を流す」との告知をし、ナイター内で19時29分に住民から寄せられた安否情報の第1回目を放送した。そして、同35分にはナイター放送を完全に中止し、災害特別番組に切り替え、その中でも安否情報などを流した。翌7日の6時まで計105回放送した。寄せられた安否情報は2,000件にも上った。家族などの安否が心配であったが、電話も繋がらず連絡が取れないまま不安であった人々にとって安心の材料となった。

昭和57年7月の長崎水害のときも帰宅途中の市民が多数市中央部の商店街やオフィス街に取り残された。このときもラジオは安否情報を積極的に流し高い評価を受けた。⁴⁾

NHK鹿児島放送局にも19時頃から視聴者から交通情報の問い合わせが殺到し、次いで家族等の安否に関する問い合わせが増加した。NHK鹿児島放送局は放送にのせることにした。NHK鹿児島放送局では視聴者対応グループが代表電話5回線を活用、受話器10台により対応した。また、放送センターでも受け付けた。個人、団体などから340件にのぼる安否情報依頼を受け付けた。急激な出水のため帰宅出来なくなった通行人は市内の繁華街の建物内に避難していた。自宅への電話がかかりにくいために放送局に放送依頼が寄せられた。建物に避難した市民が自宅へ連絡出来ないことが判明すると、FAXで市民の名簿を放送局に送るよう要請し、ただちに名前と住所を放送し、ラジオを聞く家族に安心をと呼び掛けた。このようにラジオは孤立した市民の無事を流したが、一方では家族や知人の安否を気遣う問い合わせも多数寄せられた。NHKではテレビの画面に「停電などでテレビが映らなくなったら、ラジオをお聞きください。ラジオでも災害情報を流しています。」というテロップをたびたび流した。

NHK鹿児島放送局にはこの他、各種の情報、問い合わせなどが寄せられた(表4)。道路が、国道3号、10号をはじめ、随所で崖崩れ等によって通行止めとなったため迂回路などの問い合わせが多く、また、JR、バス、船舶救助船運航などの交通情報も多い。これらの要望を受けて、安否情報のほかに気象情報はもちろん、ドライバー向けに道路交通情報セン

表4 NHKに寄せられた災害情報
(8月6、7日) NHK鹿児島放送局

内 容	件 数
増水・冠水情報	36
被災通報情報	26
安否情報依頼	340
道路情報	189
交通情報	165
状況の問い合わせ	69
被災孤立者の安否	79
苦情・要望・提言	172
その他	18
計	1102

ターからの道路情報も流された。NHK鹿児島放送局では北海道奥尻島を襲った地震の時の安否情報を含むラジオ放送の実施状況を入手していたので、今回、即座に対応できたという。

テレビ局だけの鹿児島テレビ(KTS)および鹿児島放送(KKB)においても災害情報を積極的に流した。

5. まとめ

本報告では、平成5年8月6日に鹿児島市に発生した豪雨災害における防災機関の対応と情報伝達および避難誘導を巡る課題を調査した結果をまとめた。これから、自らも防災組織や市民を対象にアンケート調査を行って、さらに詳しい分析と防災対策を提言する予定である。本研究の範囲で得られた教訓をまとめると次のとおりである。

- (1) 住民に避難勧告・指示を発令する市役所に雨量をリアルタイムで把握するために気象情報システム(MICOS)や河川情報センターの端末の導入が望まれる。
- (2) 災害時の電話の輻輳の実態と輻輳対策を市民に周知するとともに、重要電話を把握しておくことが必要である。
- (3) 住民に情報伝達を正確、迅速に行えるように防災行政無線の同報無線・戸別受信機あるいはオフトークなどの設置が必要である。
- (4) 同時・多発的に生ずる災害に対応できるために、自主防災組織の結成を促進し、実質的に活動できるように育成する。
- (5) 市街地の市民に的確な情報伝達や避難ができるような広報体制の確立。
- (6) 行政単位を越えた災害情報の交換体制を整える。
- (7) 災害時の情報伝達の混乱、電話の輻輳などは、昭和57年の長崎豪雨災害、平成3年の雲仙普賢岳の火山災害、1993年釧路沖地震など大災害では必ず生じている。災害の危険がある地域では、他都市の事例を十分に把握して事前の対応策を立案しておくことが望まれる。

本調査を行うにあたって、水害直後の多忙な折、鹿児島県総務部消防防災課、鹿児島県警察本部警備部警備課、鹿児島市防災火山対策課、鹿児島市消防局、日本気象協会南日本センター、九州電力(株)鹿児島支店配電課、N T T鹿児島支店、NHK鹿児島放送局、長崎放送局南日本放送および南日本新聞社社会部の協力を得たことを付記する。なお、本研究には平成5年度科学研究費補助金(総合研究A)「平成5年8月豪雨による鹿児島災害の調査研究」(研究代表者：鹿児島大学理学部教授 岩松 暉)の援助を受けたことを付記する。

参考文献

- 1) 日本気象協会南日本センター(1993)：鹿児島県気象月報，平成5年8月。
- 2) 福岡管区气象台(1993)：災害時気象速報，平成5年7月26日から8月10日にかけての前線と台風5号、6号、7号による九州・山口県の大雨と暴風，56pp。
- 3) 鹿児島市防災会議(1992)：鹿児島市地域防災計画(平成5年7月14日修正)，267pp。
- 4) 長崎大学学術調査団(1982)：人的被害，災害情報の伝達，昭和57年7月長崎豪雨による災害の調査報告書，125-137。

平成5年8月豪雨による鹿児島災害時の 自主防災組織の対応

長崎大学工学部 高橋 和雄
阿比留 勝吾

1. まえがき

平成5年8月6日の豪雨による鹿児島災害では、出水が急激で、路面の冠水、土砂崩れのため防災機関は住民に避難勧告を伝えることができなかった。また、消防団、警察官も同時多発的に起こる災害に対して住民の救助の要請に十分答えることができなかった。また、市民からの救助の要請、情報収集に対しても消防署、警察本部に電話が殺到したためになかなか電話がつながらない状態となった。当日は、テレビ、ラジオの情報をもとに住民は情報を集めざるを得なかった。このような場合、地区ごとの自主防災組織が重要となってくる。鹿児島市には自主防災組織がこの災害以前から118組織結成されている。本報告では、8月6日の災害の自主防災組織の対応を中心にアンケート調査を行った結果を報告する。これによって、自主防災組織の活動、課題、活性化方法などを明らかにする。

2. 鹿児島市の自主防災組織

表1 自主防災組織結成率

鹿児島市			
年 度	団 体 数	世 帯 数	人 口
昭和59年度	5	2,520	10,090
60	5	1,206	3,602
61	8	3,546	10,197
62	30	12,336	36,680
63	21	6,305	16,985
平成元年度	17	6,384	19,027
2	15	6,532	19,314
3	11	6,584	19,925
4	6	1,582	5,016
合 計	118	46,995 (23.00%)	140,836 (26.37%)

鹿児島市には、台風や梅雨の豪雨に対してシラス土壌の山崩れ、崖崩れ、桜島の土石流、河川の氾濫などの危険地区が多い。同時多発的に生ずる災害に的確に対応するために、鹿児島市防災火山対策課は、自主防災組織の結成を積極的に呼び掛けている。平成5年にも5月24日から28日にかけて、地区別防災研修会を開催している。この研修会では鹿児島地方气象台、鹿児島市消防局、市社会福祉課による説明会、映画の上映、自主防災組織の内容などが説明されている。鹿児島市は自主防災組織の結成に当

表2 アンケートの調査項目

調 査 項 目	問 数
地区の状況について	10
災害時の避難について	12
災害に対する常々の備えについて	11
鹿児島市防災地図について	4
8月6日の豪雨のときの状況について	23
8月6日の被害とその後の対応について	13
自主防災組織会長個人について	4

たつて、防災資・機材購入のための費用を1組織1回限り10万円を限度額として補助している。また、避難訓練などの防災訓練に際し、その訓練経費の一部として2万円を補助している。このような行政の努力によって、鹿児島市の自主防災組織は表1に示すように順次結成され、平成5年8月現在、世帯数でみると結成率は23%となっている。長崎水害2年後の昭和59年から結成されている。鹿児島県下の平均17%より高いが、全国平均43.1%に比べるとかなり低い。ちなみに、昭和57年7月長崎豪雨災害の被災地長崎市の結成率は35%である。

3. アンケート

鹿児島市の自主防災組織の現状、地区の状況、災害時の避難対策、地区の防災力、鹿児島市の防災地図、8月6日の状況、災害当日およびその後の対応などを詳しく知るために自主防災組織の会長を対象にアンケート調査を実施した(表2)。鹿児島市防災火山対策課の協力を得て、自主防災組織の会長にアンケート調査票を郵送し、回収も郵送によった。全自主防災組織118のうち、会長が決まっている117の組織に配布した。回収状況は、表3のとおりで、回収数109、回収率は93.2%である。なお、調査期間は平成5年11月から平成6年1月である。以下、アンケートの主な分析をまとめる。

表3 アンケートの配布回収状況

配布数	回収数	回収率
117	109	93.2%

4. 地域の災害環境

自主防災組織の会長の年齢をみると60歳以上が78%を占め、職業は、無職44%、農業12%、自営商業11%が目立つ。自主防災組織は一般に自治会内に置かれ、町内会長が自主防災組織の会長を兼ねている。したがって、自主防災組織の会長は退職した会社員、公務員が多い。当然ながら、現在地における居住年数は長く、20年以上居住が全体の82%を占める。つまり、自主防災組織の会長は地区の状況を良く知っている。地区における8月6日の豪雨災害以前の被災歴を聞いたところ、「ある」46%となっており、具体的内容をみると「家屋の被害」、「農地の被害」が目立

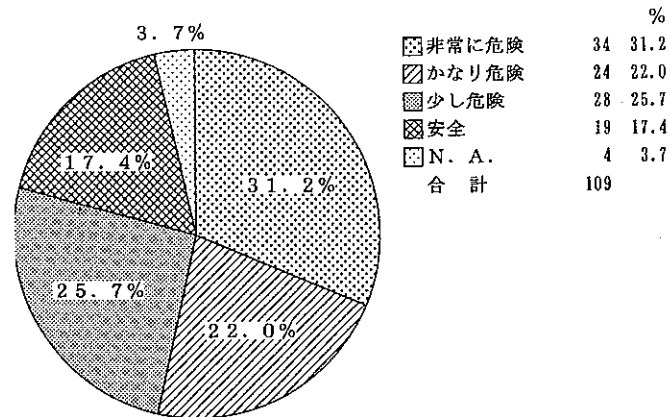


図1 シラスの斜面が崩壊した場合、あなたの地区の安全性

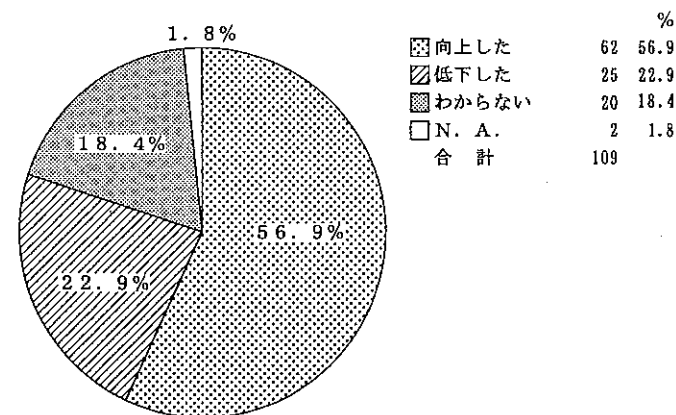


図2 10年前と比べての地区の安全性

表4 向上したとする判断理由

項目	N=62人 (複数回答)	
	人数(人)	(%)
(1) 斜面、土砂崩れの防災工事の進捗	36	58.1
(2) 河川改修	26	41.9
(3) 都市下水路の整備などによる排水機能の強化	17	27.4
(4) 予警報システム(サイレンなど)の整備	8	12.9
(5) 自主防災組織の整備	20	32.3
(6) その他	0	0
(7) N. A.	0	0

表5 低下したとする判断理由

項目	N=25人 (複数回答)	
	人数(人)	(%)
(1) 宅地の建設が斜面の境界までに及んだ	8	32.0
(2) 上流域で大型団地が開発されて、保水機能が低下した	20	80.0
(3) 市街化のために、住民の入れ替わりが激しくコミュニケーションが低下したから	1	4.0
(4) 高齢化、過疎化によって、避難誘導できる壮年層の男性が少なくなった	3	12.0
(5) その他	5	20.0
(6) N. A.	0	0

つ。「シラスの斜面が崩れやすく、豪雨によって崩壊しやすい」ことを知っているかどうか調べたところ、「良く知っている」79%、「大体知っている」19%とほぼ全員が知っている。また、シラスの斜面が崩壊した場合の地区の安全性の認識については、図1のように危険だとする判断が多い。浸水の恐れについては、約半数の地区で「ある」としている。「地区の安全度は10年前と比べて向上した」かどうかについては図2に示すように「向上した」とする評価が目立つ。「向上した」と判断した理由は、表4のように斜面・土砂崩れの防災工事の進捗、河川改修、ソフト面の自主防災組織の整備が挙げられている。一方、図2のように「かえって低下した」と23%が回答しているが、その内訳は、表5のとおりである。

「上流域で、大型団地が開発されて保水機能が低下した」が最も大きい理由となっている。

5. 自主防災組織内の避難体制

自主防災組織内の避難体制を調査する。地区の避難のために指定された避難場所を知っているかどうかを聞いたところ、「どこか良く知っているだろう」73%となっており、市指定の避難場所については、「避難場所が遠い」とする問題点が49%の地区で挙げられている。避難路については、28%の地区で「指定されている」とする回答にとどまり、「指定していない」とする回答(61%)が多い。決められた避難路については、「現状では問題がない」とする回答が多い。しかし、「避難場所が危険」や「避難路が危険」とする回答が数箇所含まれている。「自主防災組織の会長が自宅にいる場合、避難勧告・指示をどこから知るとお思いますか」に対して、表6の結果を得た。「広報車・消防車による音声、サイレン」によるルートが最も多い。次いで、「テレビ・ラジオ」、「市職員、消防団員、警察官の呼び掛け」となっている。現状では、自主

表6 あなたが自宅にいる場合、避難勧告・指示の入手経路

N=109人 (複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
(1) 広報車、消防車による音声、サイレン	88	80.7
(2) 市職員、消防団員、警察官の呼び掛け	45	41.3
(3) 市役所からの電話	20	18.3
(4) テレビ、ラジオ	51	46.8
(5) その他	6	5.5
(6) N. A.	0	0

表7 地区の住民の避難についての問題

N=109人 (複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
(1) 適切な避難場所がないこと	10	9.2
(2) 避難場所が遠いこと	58	53.2
(3) 避難場所が狭いこと	8	7.3
(4) 安全な避難路が少ないこと	13	11.9
(5) 高齢者や病人が多いこと	34	31.2
(6) 壮年層の男性が少ないなどで、避難誘導体制が不十分であること	32	29.4
(7) 避難場所の居心地がよくないこと	6	5.5
(8) その他	6	5.5
(9) N. A.	19	17.4

表8 自主防災組織結成の動機

N=109人		
項目	人数(人)	(%)
(1) 市役所のすすめがあったので	82	75.2
(2) 自治会で自主的に	18	16.5
(3) その他	4	3.7
(4) N. A.	5	4.6

防災組織への直接の伝言ルートがないため、役所からの連絡は行政の担当者が現地に行かないと出来ないシステムとなっている。また、自主防災組織から地域住民への伝達は、「拡声器、サイレンによる地域への広報」、「電話連絡網」が一般的である。地区における住民の避難の予想は「全員すぐ避難する」10%、「大部分の人は避難する」35%、「半数程度の人は避難する」29%、「大部分の人は避難しない」25%となっており、判断が分かれている。地区の避難体制を調べたところ、「集団で避難する」18%、「家族個別に避難する」53%、「決まっていない」28%となっている。高齢者や病人のいる家族への避難対策は22%の自主防災組織で立てている。具体的には、高齢者や病人の名簿を作って、避難誘導班・救護班が車などで避難所に運ぶなどの方法を取っている。民生委員、町内会長、近隣との連絡網が出来ており、力がある健康な人、青年部、消防団員などが避難誘導にあっている。一般の健康な住民に対して避難の際に車の使用を認めているかどうか聞いたところ、「認めていない」20%となっている。豪雨は、周囲の状況がはっきり確認できない夜間に発生することが多く、運転手は土砂崩れ、橋の流失、川

表9 自主防災組織の活動内容

N=109人 (複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
(1) 役員および役割分担の決定	80	73.4
(2) 組織内の連絡体制	61	56.0
(3) 組織に必要な防災資材の備蓄	63	57.8
(4) 防災訓練	38	34.9
(5) 組織内の危険地の点検	41	37.6
(6) 緊急避難場所の指定	36	33.0
(7) 映画会、スライド会	11	10.1
(8) 役所、消防などの防災関係者による講演会	42	38.5
(9) 組織内の防災マップの作成	9	8.3
(10) その他	3	2.8
(11) N. A.	11	10.1

と道路の境界などの判断を誤る恐れがある。避難に車の使用はかえって危険であるために、車の使用を認めないような広報が望まれる。最後に、地区の住民の避難についての問題を再確認したところ、表7のような結果が得られている。

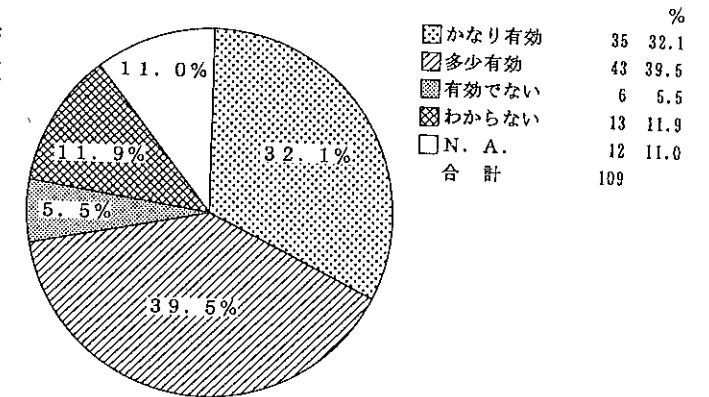


図3 災害時での現在の自主防災組織の有効性

6. 地区の災害に対する備え
自主防災組織の結成の動機

を調べたところ、表8の結果を得た。昭和59年に鹿児島市が結成を呼び掛けてから結成が始まり、現在でも結成が進んでいる。「自治会で自主的に結成した」は17%程度であり、その内容

表10 自主防災組織の活動を活発にするための必要事項

N=109人 (複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
(1) リーダーの育成	65	59.6
(2) 地域住民の参加	74	67.9
(3) 行政の指導	48	44.0
(4) 行政による財政的援助	39	35.8
(5) 自主防災組織間の連携	30	27.5
(6) 防災機材の整備	39	35.8
(7) 市役所からの情報伝達装置としての防災行政無線、戸別受信機の設置	34	31.2
(8) 地区内の危険地に災害の予警報装置を設置	28	25.7
(9) 自主防災組織での活動に伴う傷害の保険・補償	42	38.5
(10) 住民が参加できる防災訓練(雨、煙の体験)	30	27.5
(11) 災害時の避難マニュアルの作成	30	27.5
(12) その他	0	0
(13) N. A.	9	8.3

は「町内に積極的な人がいて」、「自治会役員が主張して」となっている。また、自主防災組織の活動は総ての災害を対象にしている組織が多い。形態は、自治会内の組織として位置付けられている。自主防災組織の活動の内容は表9に示すとおりである。自主防災組織としての体制は半数以上のところで完成しているが、具体的な活動実績は30%台の数値となっているが、「組織内の危険地の点検」、「緊急避難場所の指定」など積極的に行われていることは評価される。著者等の調査による長崎市の自主防災組織の活動内容よりも活発であると言える。備えられている防災資材はハンドマイク、ヘルメット、サーチライト、避難用誘導ロープが多い。現在の自主防災組織が災害時に有効であるかどうかについては図3の結果を得る。「かなり有効である」とする積極的肯定の回答は3分の1程度であるが、全体の72%が有効性を認めている。「自主防災組織の活動を活発にするためにどのようなことが必要とされるか」に対する回答は表10のとおりである。「地域住民の参加」、「リーダーの育成」を半数以上が選択している。その他の項目も4分の1以上の地区で必要とされている。自主防災組織の活動を活発にするためには、「地域住民の参加」、「リーダーの育成」が長崎市の自主防災組織に対する調査でも指摘されている。地区におけるコミュニティの存在が、自主防災組織の活動の基礎となるため、市街地や新興住宅地での結成は困難になっているようである。

7. 鹿児島市防災地図

鹿児島市は、防災地図を平成4年1月に5,000部作成した。市内を8分割した縮尺25,000分の1の地図に急傾斜地崩壊危険区域指定箇所のほか、避難所の位置が記入されている。地図の

1頁目には災害時の防災機関への連絡先、避難所のリストが記入されている。「自主防災組織に鹿児島市防災地図を参考に最寄りの避難所、危険箇所、避難路の確認を行っている」かどうか聞いたところ、表11に示す結果を得た。64%の地区で活用されている。では、「この地図は見やすく作られていますか」に対する回答は「はい」40%と半数以下となっている。今後、手直しすべき事柄を調べると「地区別にもっと細かに分割する」、「もっと縮尺を大きく、道路、家屋などを入れる」という意見が多い。また、追加すべき別の情報として「救急告示病

表11 鹿児島市防災地図を参考にした避難所、危険箇所および避難路の確認

N=109人		
項目	人数(人)	(%)
(1) いる	70	64.2
(2) いない	19	17.5
(3) わからない	13	11.9
(4) N. A.	7	6.4

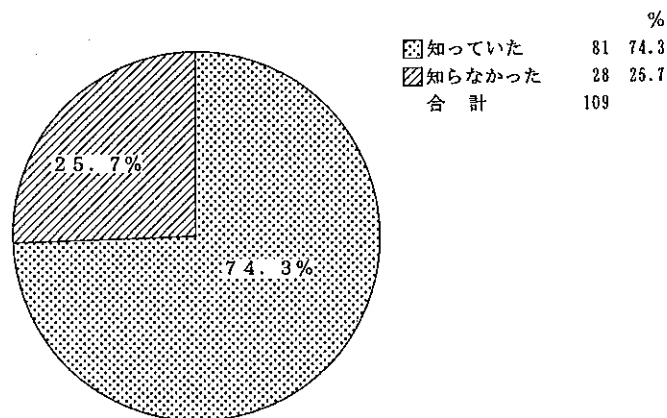


図4 避難の呼び掛けの周知

表12 大雨洪水警報に対する反応

N=81人		
項目	人数(人)	(%)
(1) 警報どおり大雨や洪水が起こるかも知れないと思った	27	33.3
(2) 雨はかなり降ると思ったが、災害が起こると思わなかった	51	63.0
(3) 度々、警報が発表されているので、またかと思って、重要視しなかった	3	3.7
(4) 大したことはないかと気にとめなかった	0	0
(5) N. A.	0	0

表13 雨が強くなった16時頃の対応

N=109人 (複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
(1) テレビ・ラジオなどの情報を注意して聞いた	77	70.6
(2) 市役所や消防署などに電話をかけた	11	10.1
(3) 周囲の状況(河川、側溝)を確認した	47	43.1
(4) 自主防災組織の役員と連絡を取った	36	33.0
(5) とくに何もしなかった	12	11.0
(6) その他	7	6.4
(7) N. A.	5	4.6

院以外の医療機関」、「災害時における通報先に被災ゴミの処理などを追加」、「通信機関」の要望がベスト3を占めている。

8. 8月6日の豪雨時の状況

災害前日の8月5日22時10分に、大雨洪水警報が発令されているが、これを「知っていた」かどうか聞いたところ、図4のように74%が「知っていた」と答えている。この数値はこれまでのアンケートの結果に比べて極めて高い値である。昭和57年7月の長崎水害時や昭和61年の台風10号による豪雨時の栃木県茂木町における調査の3倍となっている。8月6日当日の鹿児島市民に対する調査結果50%よりも高い。自主防災組織の会長ならではの使命感の表われといえよう。大雨洪水警報の発令を、「テレビ」、「ラジオ」のマスコミを通じて知っており、「防災機関の広報車」で知ったとする回答は12%程度である。「この大雨洪水警報を聞いたとき、どう思いましたか」と聞いたところ、表12の結果を得た。警報慣れや軽視の結果は得られていないが、大災害が発生するまでは考えていなかったようである。雨が強くなった16時頃の対応を調べると表13に示すように、情報収集や周囲の状況の把握、自主防災組織の活動に着手しようとしたことがわかる。大雨になったときの気持は「非常に不安」51%、「多少不安」36%と80%以上が不安感を持った。鹿児島市消防局は、16時30分に土砂崩れや浸水が予想されるところに避難の呼び掛けを行い、18時30分に全域にマスコミを通じて避難勧告を呼び掛けている。これを当日知っていたかどうかは「知っていた」43%と半数以下となっている(図5)。何で知ったかを聞いた結果は表14のとおりで、「テレビ」が最も多い。「市の広報車」、「消防車」よりも多い。表6では防災機関からの連絡が第1位であったが、実際には防災機関からの収集は期待し

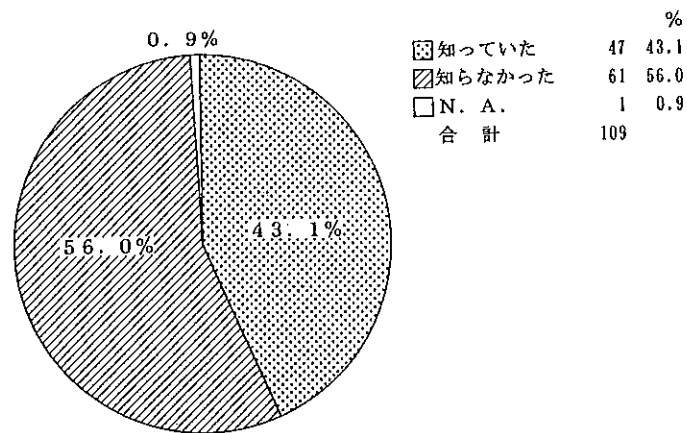


図5 8月5日22時10分の大雨洪水警報発令の周知

表14 避難勧告の入手経路

N=47人 (複数回答)

項目	人数(人)	(%)
(1) 市の広報車、消防車	20	42.6
(2) ラジオ	16	34.0
(3) テレビ	26	55.3
(4) 家族	1	2.1
(5) 同僚・知人	5	10.6
(6) 市役所からの電話	3	6.4
(7) その他	1	2.1
(8) N. A.	1	2.1

表15 避難の決め手となった事項

N=60人 (複数回答)

項目	人数(人)	(%)
(1) 市役所、消防からの避難勧告	16	26.7
(2) テレビ、ラジオのニュース	17	28.3
(3) 自主防災組織の呼び掛け	21	35.0
(4) 地区内の住民の話し合い	15	25.0
(5) 過去の災害体験	14	23.3
(6) 実際に浸水の水かさが増えてきた	17	28.3
(7) 土砂崩れが地区内で発生した	36	60.0
(8) わからない	0	0
(9) その他	0	0
(10) N. A.	0	0

た半分程度となっている。なお、避難の呼び掛けははっきり聞き取れたとする回答が多い。災害当日、市役所、消防署、警察署に電話をかけたかどうか聞いたところ、「はい」が29%となっている。電話の状況をみると、「すぐに通じた」および「数回で通じた」59%、「通じなかった」38%となっている。市役所や消防署に連絡しようとした内容は「災害の発生の報告」、「状況の問い合わせ」、「避難の判断」に関するものが多い。また、役員もしくは構成員に49%が電話をかけている。「通じた」74%、「通じなかった」25%となっている。さらに、災害の安

否や見舞いの電話を47%が受けている。災害時に電話をどのように活用するかも非常に重要な問題である。当日、地区の住民が避難したかどうかに対する回答によれば、55%の地区で避難している。避難の決め手になった理由は表15のようである。「土砂崩れが地区内で発生した」が最も多い。「自主防災組織の呼び掛け」が35%で2位になっている。著者等の一般市民に対するアンケートでは「自主防災組織の呼び掛け」は11%で3分の1以下となっている。また、住民アンケートでは「過去の災害体験」も9%と半分以下となっている。

当日、どのような対応を取ったかの調査結果は表16のとおりである。「被害状況の把握」、「情報収集・地域住民への伝達」、「自主防災組織の動員および指揮」といった情報収集・伝達活動を行っている。避難誘導活動・炊き出し活動など具体的な活動はあまり行われていない。大雨が降っているときの情報ニーズを聞いたところ「そのときの降雨量や雨の見通しなどの気象状況」、「自分の住む地域が大丈夫かどうかという災害予測情報」、「道路、通信、ライフラインは大丈夫かといった情報」、「自分の住む地域にどんな災害が起きているかについての情報」の順になっている。役立った情報源をまとめると「テレビ」71%、「ラジオ」48%とマスコミが上位を占めている。次いで、「消防団員からの伝達」22%、「近所の人、知人の話」16%となっており、当日はテレビ・ラジオによる災害情報、安否情報、道路情報、交通情報などが大きな頼りとなった(表17)。広報車や消防車が現地へ行けなかったために住民に情報を伝達できなかつ

表16 自主防災組織の対応

N=109人 (複数回答)

項目	人数(人)	(%)
(1) 自主防災組織の動員および指揮	20	18.3
(2) ラジオ、テレビ、行政からの情報収集、地域住民への伝達	29	26.6
(3) 被害状況の把握	42	38.5
(4) 水防作業	4	3.7
(5) 児童、生徒などの住民の避難補助	4	3.7
(6) 避難所での給水、給食	12	11.0
(7) 特に何もしなかった	31	28.4
(8) その他	5	4.6
(9) N. A.	12	11.0

表17 役に立った情報源

N=109人 (複数回答)

項目	人数(人)	(%)
(1) テレビ	77	70.6
(2) ラジオ	52	47.7
(3) 電話	7	6.4
(4) 市の広報車	13	11.9
(5) 消防団員からの伝達	24	22.0
(6) 自主防災組織の役員からの連絡	7	6.4
(7) 近所の人、知人からの話	17	15.6
(8) 家族の話	2	1.8
(9) その他	2	1.8
(10) N. A.	3	2.8

たので、この結果となっている。停電の状況を見ると、地区内で停電のあった地域は36%に達している。停電で困ったことを調べると「テレビが見られないために情報が得られないこと」を87%が挙げている。

9. 8月6日の災害の時の被害とその後の対応

8月6日の災害によって10組織(9%)で人的被害が生じ、6組織(6%)だけが人が出ている。また、地区内の家屋の被害状況の内訳を見ると「異常出水・土砂崩れの両方」22組織(37%)、「土砂崩れ」21組織(36%)、「異常出水」12組織(20%)となっている。災害後1週間以内と1週間以後の自主防災組織の活動内容は表18、19に示すとおりである。災害直後は、「断水・停電の復旧の問い合わせ」、「被災ゴミの後片付け」、「給水車の手配の要請」といった地区における災害応急対策にあたっている。1週間以後になると「地区内の災害箇所の確認」、「市役所への陳情」「市役所への連絡」などの災害復旧に向けての活動が中心となる。市役所への陳情・要望の内容は、表20のとおりである。今回、鹿児島県の災害では被災した家屋のうち、崖崩れや河川氾濫で敷地内にたまった土砂の除去作業の一部が、都市災害復旧事業国庫補助で行われた。これまでは、敷地内の土砂撤去は自力で行われたが、今回初めて個人の家屋を対象に国庫補助が認められたことになる。対象となった家屋は個人の力では土砂撤去は困難で土砂を放置した場合に新たな流出災害が予想されるため、市長が公益上重要な支障であると認めた場合に限ら

表18 災害後、1週間以内の自主防災組織の活動

N=109人 (複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
(1) 断水・停電の復旧問合せ	46	42.2
(2) 給水車の手配の要請	27	24.8
(3) 被災ゴミの後片づけ	33	30.3
(4) 救援物資の配布	18	16.5
(5) 避難所の世話	12	11.0
(6) たき出し	5	4.6
(7) 放置自動車の撤去の要請	3	2.8
(8) 特にしなかった	32	29.4
(9) その他	7	6.4
(10) N. A.	9	8.3

表19 災害後、1週間後から現在までの主な自主防災組織の活動

N=109人 (複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
(1) 地区内の災害箇所の確認	66	60.6
(2) 市役所への陳情	61	56.0
(3) 赤道・青溝の修復	9	8.3
(4) 救援物資の配布	19	17.4
(5) 市役所への連絡	43	39.4
(6) その他	8	7.3
(7) N. A.	18	16.5

表20 市役所への陳情・要望の内容

N=61人 (複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
(1) 被災ゴミの処理	24	39.3
(2) 水道・電力・ガスの復旧	17	27.9
(3) 災害復旧工事の要請	49	80.3
(4) 災害危険箇所の見直し	18	29.5
(5) 防災行政無線の設置	10	16.4
(6) 避難場所の見直し	16	26.2
(7) 私有地の土砂撤去に行政の援助要請	28	45.9
(8) 応急仮設住宅の建設	1	1.6
(9) 避難所内の居住性の改善	1	1.6
(10) 義援金や見舞金の配布	12	19.7
(11) 水道料金の減免	4	6.6
(12) その他	1	1.6
(13) N. A.	1	1.6

表21 今後の防災都市づくりで重点的に整備すべき事項

N=109人 (複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
(1) 河川の改修	92	84.4
(2) 雨水排水対策(都市下水路、ポンプ施設)	47	43.1
(3) 流域の保水対策	36	33.0
(4) シラスの崩壊対策	72	66.1
(5) 水道、ガス、電力などのライフラインの防災性の強化	42	38.5
(6) 地下室浸水対策	30	27.5
(7) 開発行為(団地、ゴルフ場など)の指導強化	50	45.9
(8) 災害に強い幹線交通網の整備	56	51.4
(9) 道路の防災性の強化	37	33.9
(10) 避難路の整備	23	21.1
(11) 災害時の通信手段の確保	51	46.8
(12) 行政機関に気象情報システム(MICOS)の端末などの導入	21	19.3
(13) その他	3	2.8
(14) N. A.	7	6.4

表22 災害時の情報伝達や避難などのソフト対策に必要な事項

N=109人 (複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
(1) 自主防災組織の育成	56	51.4
(2) 防災行政無線などの行政からの通信手段の整備	47	43.1
(3) 斜面崩壊の予警報装置	45	41.3
(4) 豪雨や交通状況などの情報を提供する電光掲示板などの情報伝達装置	24	22.0
(5) 豪雨による土砂崩れや浸水地域の指定	48	44.0
(6) 避難路、避難所の見直し	34	31.2
(7) 防災訓練の実施	37	33.9
(8) 高齢者や病人の避難対策	58	53.2
(9) 気象警報の発令基準や地域区分の見直し	15	13.8
(10) 災害時の自動車の使用規制	25	22.9
(11) 避難路や避難所、危険地が入った防災マップの作成	19	17.4
(12) 災害時のラジオ、テレビの活用	58	53.2
(13) アマチュア無線の活用	10	9.2
(14) N. A.	10	9.2

れた(南日本新聞 平成5年8月24日)。最後に、今後の防災都市づくりで重点的に整備すべきことおよび情報伝達や避難などのソフト対策に必要なものをまとめると表21と22の結果が得られている。ハード面の対策には「河川の改修」、「シラスの崩壊対策」、「災害に強い幹線道路網の整備」が多く選ばれている。ソフト面の対策には「災害時のラジオ・テレビの活用」、「高齢者や病人の避難対策」、「自主防災組織の育成」がベストスリーを占める。

今回の災害を体験して自主防災組織の活動のあり方の自由記入を求めている。これによれば、「日頃の訓練が必要である」、「地域住民に対する防災教育を行うこと」、「情報連絡体制(緊急連絡用の無線)の強化」、「地区内におけるコミュニティーの強化」、「近隣自主防災組織や消防団との連携」などが挙げられている。

10. まとめ

本論文は、鹿児島市の自主防災組織の現状、課題および災害時の対応を明らかにしたものである。得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1) 自主防災組織が活動できるためには、情報収集システムが不可欠である。自主防災組織代表者の自宅に市役所から直接情報が届く防災行政無線の戸別受信機の設置もしくは地区ごとに防災行政無線の同報無線の設置が望まれる。
- (2) 高齢者や病人のいる世帯の避難対策は福祉との連携が必要と思われる。
- (3) 避難場所、避難時の車の使用について自主防災組織と行政の話し合いが必要である。
- (4) 鹿児島市の防災地図は、自主防災組織の活動に参考にされている。さらに、活用しやすい形に改善することが望まれる。
- (5) 鹿児島市の自主防災組織は、災害危険地を中心に結成されているために、組織内の体制は整備され、防災訓練、組織内の危険地の点検、緊急避難場所の指定など具体的に活動がかなり行なわれている点は評価できる。また、自主防災組織の会長は使命感をもって活動しており、行政が適切なサポートをすれば、災害時に十分寄与することが期待される。
- (6) 地域住民の参加、リーダーの育成の必要性などが活動を活発にするために必要とされている。長崎市の自主防災組織においても同じことが指摘されている。地域のコミュニティーがあれば、解決できるはずであるが、都市部および新興住宅地が多い所では困難な問題である。地域のコミュニティーなくして自主防災は機能しない。自主防災組織を育成するためには自主防災組織の効用について住民に十分理解が得られるような広報体制、パンフレットなどの資料が必要と思われる。災害危険地では、町内会活動を見直して防災部を作ることが必要である。

本研究を行うにあたり、鹿児島市防災火山対策課および鹿児島市内の自主防災組織の会長にお世話になったことを付記する。また、アンケートの作成に当たっては、災害当日の新聞記事およびテレビの番組を参考にした。アンケート調査表の作成やとりまとめにあたっては、研究室の学生諸君の協力を得たことを付記する。本研究には、平成5年度科学研究費補助金(総合研究A)「平成5年8月豪雨による鹿児島災害の調査研究」(研究代表者:鹿児島大学理学部教授 岩松暉)の援助を得たことを付記する。

参考文献

- 1) 高橋和雄(1994):長崎豪雨災害10年にみる防災力の現状と課題に関する調査報告. 216pp.

平成5年8月豪雨による鹿児島災害時の市民の対応

長崎大学工学部 高橋和雄
阿比留勝吾

1. まえがき

平成5年8月6日の鹿児島災害は市民への情報伝達および避難誘導にいくつかの課題を残した。8月6日夕方、鹿児島市の中央部の降雨状況は大災害になるような豪雨ではなかったが、周辺部の郡山町などでは時間雨量50mmを超える豪雨となっていた。河川上流部での豪雨による流れが市内に流入しだした頃、市内でも豪雨となりただちに河川氾濫が始まり、各地で道路が冠水し、土砂崩れが生じた。このため、鹿児島市の広報車、消防車や警察のパトロールカーが市民への避難の呼び掛けを十分に行うことが出来なかった。市民への情報伝達、避難の呼び掛けといった広報よりも人命救助などの災害応急対策に変わらざるを得なかった。鹿児島市には、防災行政無線の同報系や戸別受信機が整備されていなかった。このため、鹿児島市はテレビ、ラジオを通じて市民に避難を呼び掛けた。災害時には、各地で停電が発生し、テレビが見られない地区が発生した。また、電話が輻輳したため市民に情報が伝わらなかったり、市民からの救助の要請が行政機関に伝わらなかった。ライフラインやテレビ・ラジオも行政からの避難勧告の情報に接してから、情報の収集を始めるところもあって、初動期の対策に課題を残した。ラジオ局は10号線上に孤立したドライバーに救助の情報を流したり、市内の建物などに避難した市民の安否情報を流して情報伝達に役だった。

本論文は、8月6日の鹿児島災害時の市民の対応をアンケート調査することによって、災害時の情報ニーズ、避難行動を明らかにし、今後の防災計画作成にあたっての資料を提供するのである。

2. アンケートの調査の概要

平成5年11月に鹿児島市内に結成されている自主防災組織の会長に8.6鹿児島災害時の自主防災組織の対応について詳しいアンケート調査を実施した。アンケートの結果、組織内で市民の避難や人的・物的被害が発生した町内の市民に自主防災組織の会長を通じて災害時の個人の対応のアンケート調査を依頼した。こ

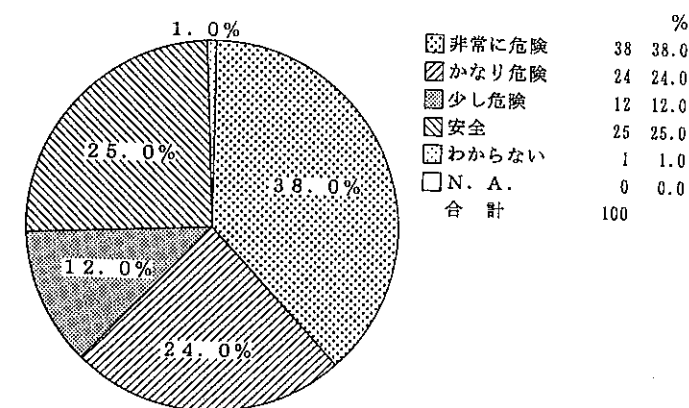


図1 シラス斜面が崩壊した場合、あなたの地区は安全だと思いますか(N=100人)

の他、12月9日に西鹿児島駅周辺の浸水地区の市民に20部配布した。調査期間は平成5年12月より平成6年1月である。150部配布し、100部回収し、回収率は66.7%である。

3. 地区の危険度に対する認識

平成5年8月の災害以前に災害(浸水、土砂崩れ)に遭ったことがあるかどうかに対して59%が「ある」と答えている。また、「シラス斜面が崩れやすく、豪雨によって崩壊しやすいこと」は、ほぼ全員が知っている。「シラス斜面が崩壊した場合、あなたの地区は安全だと思いますか」に対する回答は、図1に示すとおりである。シラスの斜面が崩壊に対して危険地であるとする回答が多い。「非常に危険である」とする回答が38%と最も多い。また、「あなたの地区は豪雨によって浸水する恐れがありますか」に56%が「ある」と答えている。今回のアンケートの回答者はシラスによる災害と浸水の危険がある地区に居住している。

4. 8月6日の豪雨災害時の行動および判断

4.1 大雨洪水警報

8月5日22時10分に大雨洪水警報が発令された。この大雨洪水警報は、テレビおよびラジオを通じて市民に伝えられた。7月31日から大雨警報が毎日のように発令されていた。この大雨警報の発令を知っていたかどうかを聞いたところ、50%が「知っていた」と回答している。この結果は、昭和57年7月の長崎水害時の長崎市民や昭和61年の台風10号の栃木県茂木町の町民の周知率に比較すると倍近い数字である。昭和63年5月の長崎県島原市の水害とほぼ同程度である。大雨が続いて災害が発生してただけに、市民は大雨洪水警報に注意していた結果と判断される。市民は「テレビ」80%、「ラジオ」16%および「広報車」18%を通じてこの発令を知った。「この大雨洪水警報を聞いてどう思いましたか」と尋ねたところ、表1の結果を得た。「警

表1 大雨洪水警報を聞いてどう思いましたか

項目	人数(人)	(%)
(1) 警報どおり大雨や洪水が起こるかも知れないと思った	18	36.0
(2) 雨はかなり降ると思ったが、災害が起こると思わなかった	32	64.0
(3) 度々、警報が発表されているので、またかと思って、重要視しなかった	3	6.0
(4) 大したことはないと気にとめなかった	0	0.0
(5) N. A.	0	0.0

表2 雨が強くなった16時ごろ、あなたはどのような対応を取られましたか

項目	人数(人)	(%)
(1) テレビ・ラジオなどの情報を注意して聞いた	28	28.0
(2) 市役所や消防署などに電話をかけた	6	6.0
(3) 周囲の状況(河川、側溝)を確かめた	41	41.0
(4) 自主防災組織の役員と連絡を取った	10	10.0
(5) とくに何もしなかった	19	19.0
(6) その他	14	14.0
(7) N. A.	6	6.0

報が度々発表されているのでまたか」という軽視は極めて少ないが、災害が起こるとまで重要視した市民は多くない。警報が発令されるとほぼ予想通りの雨量が記録されているが、雨域が狭いため地域によっては雨量が少ないところもある。予報技術が進めば、発表区分の細分化が望ましい。

4.2 豪雨と避難勧告

8月5日22時50分に大雨警報が発令されていたが、その後雨は少なく特に6日の11時から15時にかけてはほとんど降らなかった。16時頃から時間雨量30mmを超える豪雨となり、17時から20時にかけて50mm以上の集中豪雨となった。雨が強くなった16時頃、どのような対応を取ったかを聞いたところ、表2のように

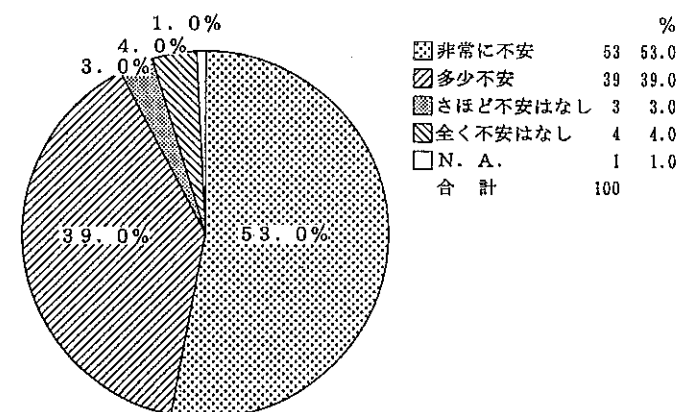


図2 大雨になったときの気持 (N=100人)

「周囲の状況(河川、側溝)を確かめた」、「テレビ、ラジオなどの情報を注意して聞いた」が目立つ。「特に何もしなかった」は少なく、何らかの対応行動を取っている。昼間の豪雨で周囲の状況を把握しやすかったためと判断される。「大雨になったときの気持はどうでしたか」に対して図2のように、90%以上が不安感をもった。鹿児島市消防局では、16時30分に浸水や崖崩れの予想されるところに消防の広報車を使って避難の呼び掛けをした。また、18時30分にはテレビ局に緊急放送の依頼をした。このような行政からの避難の呼び掛けを「知っていましたか」に対して半数が「知っていた」

表3 あなたは何で知りましたか

項目	人数(人)	(%)
(1) 市の広報車、消防車	30	60.0
(2) ラジオ	7	14.0
(3) テレビ	21	42.0
(4) 家族	1	2.0
(5) 同僚・知人	6	12.0
(6) 市役所からの電話	0	0.0
(7) その他	2	4.0
(8) N. A.	1	2.0

表4 災害当日、市役所、消防署、警察署に電話をかけましたか

項目	人数(人)	(%)
(1) はい	19	19.0
(2) いいえ	76	76.0
(3) N. A.	5	5.0

と回答している。聞いた時間を確かめたところ、43%が記憶している。これによれば、17時～18時が最も多い。また、「何で知ったか」を聞いた結果は表3のとおりである。市の広報車、消防車が最も多い。また、避難の呼び掛けに対して「内容ははっきり聞こえたか」に対して「はい」78%、「いいえ」18%となっている。市の広報車や消防車で知った市民の約30%がはっきり聞こえなかったと回答している。

4.3 電話の状況

電話交換機はある程度の容量を超える通話に到達すると、輻輳状況となってかかりにくくなる。8月6日には18時過ぎに河頭方面の中継ケーブルが切断して、38局の加入電話がかかりにくくなった。次いで、市民からの救助の電話、帰宅中の市民の自宅への電話が増え、19時過ぎから輻輳状態となった。災害当日、市役所、消防署、警察署に電話をかけたかどうかに対する結果は表4のとおりで「はい」19%となっている。電話をかけた状況を調べると「すぐに通じた」21%(4人)、「数回で通じた」31%(6人)、「通じなかった」47%となっている。約半数が通じなかったと回答している。一方、「当日、災害による安否や見舞いの電話を受けましたか」に対しては「はい」46%、「いいえ」52%と約半数が電話を受けている。

4.4 避難

8月6日の避難の有無を聞いたところ46%が避難をしている。避難の決め手になった理由を調べると表5の結果を得る。「実際に浸水で水かさが増えてきた」、「土砂崩れが地区内で発生した」といったように実際に災害が発生したことが最も大きい理由となっている。次いで、「市役所、消防からの避難勧告」、「テレビ、ラジオのニュース」、「地区内の話し合い」と周囲からの働きかけが決め手となっている。また、避難先は表6のように市指定の避難所以外のところに避難したケースが目立つ。

表5 避難の決め手になった理由はなんですか

N=100人 (複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
(1) そのときの降雨量や雨の見通しなどの気象状況	57	57.0
(2) 自分の住む地域が大丈夫かどうかという災害予測情報	59	59.0
(3) 自分の住む地域にどんな災害が起きているかについての情報	55	55.0
(4) 家に戻らない家族の安否や居場所	44	44.0
(5) 市や消防の応急措置の内容や指示、連絡	26	26.0
(6) 道路・通信・電気・ガス・水道は大丈夫かといった情報	41	41.0
(7) その他	8	8.0
(8) N. A.	1	1.0

表6 どこに避難しましたか

N=46人 (複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
(1) 市指定の避難所	9	19.6
(2) 近くの安全な建物	16	33.3
(3) その他	15	32.6
(4) N. A.	8	17.4

4.5 災害時の情報ニーズ

大雨が降っているとき、どんな情報のニーズが高かったかをまとめると表7の結果を得る。「災害の予測情報」、「気象情報」、「地域の災害発生情報」を半数以上の市民が必要とした。次いで、「家族の安否情報」、「交通・ライフラインの被害情報」が40%程度を占める。市や消防の応急措置や指示連絡などの行政からの情報ニーズは最も少ないが、それでも26%に達している。

表7 大雨が降っているとき、どんな情報を知りたかったですか

N=46人 (複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
(1) 市役所、消防からの避難勧告	14	30.4
(2) テレビ、ラジオのニュース	11	23.9
(3) 自主防災組織の呼び掛け	5	10.9
(4) 地区内の住民の話し合い	11	23.9
(5) 過去の災害体験	4	8.7
(6) 実際に浸水の水かさが増えてきた	22	47.8
(7) 土砂崩れが地区内で発生した	16	34.8
(8) わからない	0	0.0
(9) その他	3	6.5
(10) N. A.	2	4.3

表8 役に立った情報源は何ですか

N=100人 (複数回答)		
項目	人数(人)	(%)
(1) テレビ	51	51.0
(2) ラジオ	39	39.0
(3) 電話	2	2.0
(4) 市の広報車	15	15.0
(5) 消防団員からの伝達	24	24.0
(6) 自主防災組織の役員からの連絡	7	7.0
(7) 近所の人、知人からの話	13	13.0
(8) 家族の話	4	4.0
(9) その他	10	10.0
(10) N. A.	3	3.0

このように、いずれの項目に対するニーズも高いと言え、情報が不足していたことが伺える。このような情報ニーズに対して役に立った情報源は表8に示すとおりである。テレビ、ラジオのマスコミが多い。消防団員からの伝達、市の広報車などの行政ルート、自主防災組織からの連絡は少ない。身近な消防団、自主防災組織などが十分に情報が得られなかった結果を反映していると考えられる。

現在の情報収集に大きな役割を果たすテレビや最近のFAXや多機能電話は電力に依存しているために、停電が生ずるとたちまち情報収集に困難をきたす。当日は62%の家庭で停電となった。停電は17時頃から発生し始め、20時頃まで市内の各地で発生した。九州電力鹿児島支店によれば、停電は、甲突川上流の花野団地、小山田町、河頭方面で17時25分、次いで、稲荷川上流の吉野町、下田町、川上町で17時41分に発生している。このデータからわかるように、被災

地では17時過ぎから停電が発生し、電話回線の切断もあって情報の収集が困難であったことが伺える。「災害当日に停電で困ったこと」聞いたところ、表9の結果を得た。「テレビが見られないために情報が得られないこと」が最も困っている。水害当日と、翌日以降の1週間について停電、断水、ガスの停止、電話の不通、交通の便、寝具や寝る場所について困惑度を調べると、図3、4の結果を得る。災害当日には、電力、水道といったライフラインおよび交通

表9 災害当日に停電で困ったことは何ですか

N=62人 (複数回答)			
項	目	人数(人)	(%)
(1)	テレビが見られないために情報が得られないこと	55	88.7
(2)	多機能電話やFAXが使えないこと	16	25.8
(3)	照明が使えず、周囲の状況がわからないこと	38	61.3
(4)	その他	7	11.3
(5)	N. A.	4	6.5

の便よりも「電話が使えないこと」が1番困っている。そして水害後1週間もやはり「電話が使えないこと」に最も困っている。情報化社会では「電話が使えないこと」がいかに困るかということを示している。

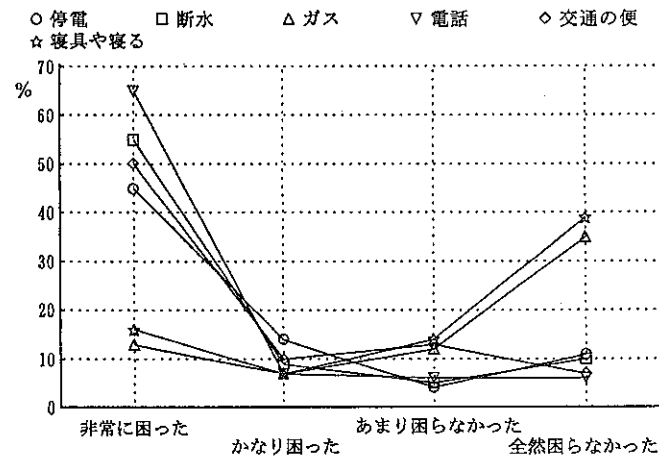


図3 災害当日、どれくらい困りましたか

5. 災害後の対応

5.1 被害の状況

家屋に被害があったかどうか聞いたところ、「あった」が45%となっている。被害の原因は異常出水が最も多く、次いで、異常出水・土砂崩れの両方、土砂崩れの順になっている。

5.2 流言

災害後には、うわさやデマが拡がることもある。最近でも、昭和57年7月の長崎水害時の「ダムが壊れる」とか雲仙普賢岳の火山災害における「眉山に亀裂が入った」、「普賢岳が爆発する」などが挙げられる。情報が少なく、不安感に置かれた状況でもっともらしい話が確認の

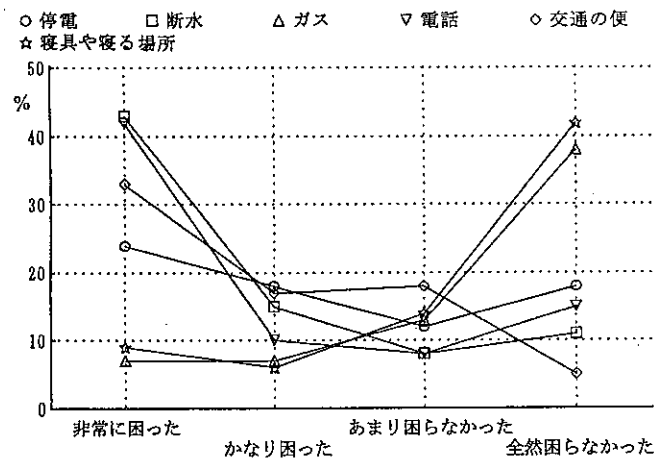


図4 翌日以降の1週間、どれくらい困りましたか

表10 うわさやデマを聞きましたか

項	目	人数
人のうわさや知人の話などで知った。	・ビルでは何人、Bビルでは何人と言ったこと。	8人
	・客が3人行方不明と聞いた。	
	・ハイヤーの運転手から聞いた。(その内容:負債のため返済が不可能だったそうで女性が自殺を計ろうというところであった。)	
	・天文館の地下のスナックで女の人の死体があったと聞いた	
新聞やテレビなどで報道されて知った	・テレビで警官が地下に入っているのを見た。	5人
	・草牟田の「アリーナ」で死者がでたと、新聞で見た。	
地下で2人の死体があった。新聞等でうわさがデマだときいた。しかし、本当はやはり死体があった。その店に客が入らないからデマだと言っているのだそうです。	地下で2人の死体があった。新聞等でうわさがデマだときいた。しかし、本当はやはり死体があった。その店に客が入らないからデマだと言っているのだそうです。	1人
	地下の水を早くくみ出してもらいたいために地下に人がいると言いき早く水をくみ出してもらったことなど。	1人
死体発見場所は、余り聞かなかった		1人

ないままに拡がる。鹿児島災害においても、市中央部の天文館の建物地下室で死体が浮いていたといううわさが流れた。これは、新聞やテレビ、ラジオでも紹介されたようである。死体が発見されたという確認は行われていない。このようなうわさを聞いたかどうか尋ねたところ、「聞いた」は23%に達している。また、聞いた人は「信じた」35%、「半信半疑」48%、「信じなかった」8.7%となっている。信じた割合が高い。うわさの内容をまとめると表10のようになる。うわさに色々の解釈がついて一人歩きしていることがわかる。

表11 今後の防災都市づくりで重点的に整備すべきことは何だと思いますか

N=100人 (複数回答)			
項	目	人数(人)	(%)
(1)	河川の改修	83	83.0
(2)	雨水排水対策(都市下水路、ポンプ施設)	55	55.0
(3)	流域の保水対策	40	40.0
(4)	シラスの崩壊対策	73	73.0
(5)	水道、ガス、電力などのライフラインの防災性の強化	44	44.0
(6)	地下室浸水対策	17	17.0
(7)	開発行為(団地、ゴルフ場など)の指導強化	50	50.0
(8)	災害に強い幹線交通網の整備	50	50.0
(9)	道路の防災性の強化	43	43.0
(10)	避難路の整備	30	30.0
(11)	災害時の通信手段の確保	51	51.0
(12)	行政機関に気象情報システム(MICOS)の端末などの導入	29	29.0
(13)	その他	10	10.0
(14)	N. A.	3	3.0

鹿児島市の豪雨災害と市民生活への影響

鹿児島大学法文学部 松本 譲

表12 災害時の情報伝達や避難などのソフト対策に必要と思われるのは何ですか

項目	N=100人 (複数回答)	
	人数(人)	(%)
(1) 自主防災組織の育成	36	36.0
(2) 防災行政無線などの行政からの通信手段の整備	55	55.0
(3) 斜面崩壊の予警報装置	51	51.0
(4) 豪雨や交通状況などの情報を提供する電光掲示板などの情報伝達装置	34	34.0
(5) 豪雨による土砂崩れや浸水地域の指定	45	45.0
(6) 避難路、避難所の見直し	42	42.0
(7) 防災訓練の実施	18	18.0
(8) 高齢者や病人の避難対策	60	60.0
(9) 気象警報の発令基準や地域区分の見直し	24	24.0
(10) 災害時の自動車の使用規制	30	30.0
(11) 避難路や避難所、危険地が入った防災マップの作成	30	30.0
(12) 災害時のラジオ、テレビの活用	64	64.0
(13) アマチュア無線の活用	14	14.0
(14) N. A.	4	4.0

5.3 防災都市づくり

今後の防災都市づくりで重点的に整備すべきことを災害時の情報伝達や避難などのソフト対策に分けて選んでもらった結果は、表11, 12に示すとおりである。重点的に整備すべきものは「河川の改修」、「シラスの崩壊対策」、「雨水排水対策」、「開発行為の指導強化」、「災害に強い幹線交通網の整備」、「災害時の通信手段の確保」で50%を超える支持を得ている。ソフト面では「災害時のテレビ・ラジオの活用」、「高齢者や病人の避難対策」、「防災行政無線などの行政からの通信手段の整備」、「斜面崩壊の予警報装置」が50%を超えている。

6. まとめ

本研究では、平成5年8月豪雨による鹿児島災害時の市民の対応をアンケート調査より明らかにした。これによると

- (1) 避難勧告を発令する防災機関から市民への情報伝達手段が必要である。
- (2) 現代では、災害時および災害直後でも通信の確保が重要である。災害時の電話使用のルールづくりなどが必要と思われる。
- (3) 今回の災害では、浸水と土砂崩れにはばまれて、広報車が市民に避難勧告を伝えることが出来なかったために、市民への避難勧告の伝達にテレビ・ラジオが活用された。テレビ・ラジオの活用をさらに行うべきとする意見も多い。テレビ・ラジオの活用についてさらに議論を深めることが望まれる。

本研究を行うにあたり、鹿児島市役所火山防災対策課、鹿児島市の自主防災組織の代表者および鹿児島市民の皆様の協力を得たことを付記する。本研究のアンケートの集計・まとめには長崎大学大学院院生鎌田智之君の協力を得たことを付記する。なお、本研究に当たっては、平成5年度文部省科学研究費総合研究(A)「平成5年8月豪雨による鹿児島災害の調査研究」(研究代表者 鹿児島大学理学部教授 岩松 暉)の援助を得たことを付記する。

1. はじめに

平成5年7月末から8月上旬にかけて、鹿児島地方では、冷夏、長雨に続く記録的な集中豪雨および台風にもまれ、各地で土石流、土砂崩れ、河川の氾濫が発生し、多くの死傷者、家屋の倒壊、浸水など、地域住民に甚大な被害をもたらした。断水、停電および電話の不通、主要幹線道路の通行不能、鉄道の不通など、都市機能は麻痺し、住民生活に多大の影響をもたらした。

ここでは、8月6日の鹿児島市における集中豪雨に焦点を合わせて、その災害の状況と市民生活への影響について考察してみたい。

2. 鹿児島市の豪雨災害

2.1 8月6日の集中豪雨による災害の状況

今回の集中豪雨による災害は、7月に1054.5mmという月間降雨量史上最多の長雨が続き、8月6日0時より24時までの総雨量259.5mm、1時間雨量としては、17時~18時、50.5mm、18時~19時、56.0mmという記録的な集中豪雨により、市内各地で土石流、土砂崩れ、河川の氾濫が発生したことによるものである(図1, 2)。

土石流、土砂崩れによる災害は、市内各地のシラス台地で多発しとりわけ、吉野町竜ヶ水、花倉においては約4kmにわたって発生し、JR日豊本線の上下2本の列車、国道10

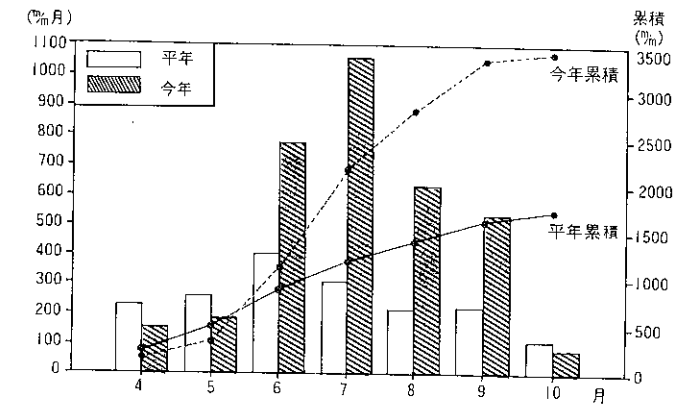


図1 月別降雨量の平年との比較(鹿児島気象台調べ)

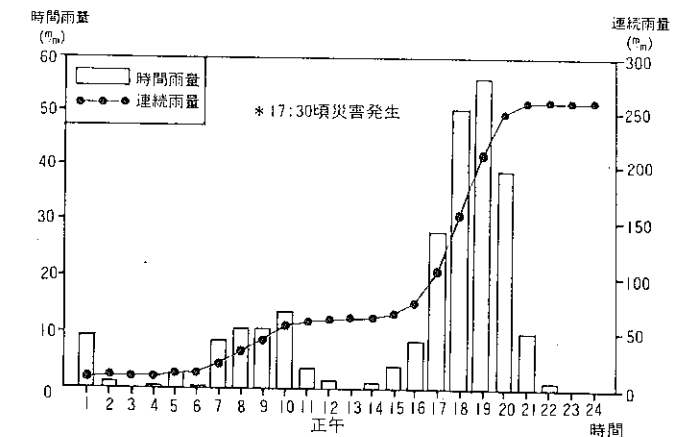


図2 平成5年8月6日の鹿児島市内降雨状況(8・6豪雨)(鹿児島気象台調べ)

号の自動車約800台が脱出不能におちいり、これら乗客や周辺住民およそ2,000人が閉じ込められた。

甲突川、稲荷川および新川の氾濫による災害は、中心市街地の天文館地区をはじめ約12,000戸の建物が浸水し、国道3号線の水深は2mにもたっし、1840年代に建造された五大石橋のうち武之橋と新上橋は流失した。

竜ヶ水、花倉などの被災者3,900人は、市内の公民館、学校体育館など58ヶ所に避難した。その他、鹿児島市で消防が救助活動を行った災害現場は38ヶ所で救助者は43人を数えている。

2.2 市民への直接的被害

(1) 人的被害

8月6日の集中豪雨による人的被害は、死者48人(うち1人行方不明者)、重傷者12人、軽傷者52人、計112人におよんでいる。その多くは、土石流や土砂崩れによる建物や住居の埋没、倒壊によるものであり、高齢者の犠牲者がきわめて多く、死者は花倉15人、竜ヶ水4人、稲荷5人など上町地区30人、および小山田4人、犬迫4人、伊敷3人など伊敷・草牟田地区11人に集中している。

(2) 家屋被害

8月6日の集中豪雨による建物の被害は、倒壊932棟、浸水11,968棟など、12,900棟におよんでいる。

住居の倒壊については、花倉、稲荷、竜ヶ水などの上町地区に集中しており、全壊230棟、半壊148棟、一部損壊362棟、計740棟であり、被災者は約2,000人にのぼっている。

家屋の浸水については、天文館などの中央地区や伊敷・草牟田地区に集中し、床上浸水7,590棟、床下浸水1,638棟、計9,228棟であり、被災者は約25,000人になっている。

(3) 商店の被害

商店の被害は、甲突川河畔の伊敷・草牟田の商店街をはじめ、繁華街であるいずろ・天文館の中心商店街など、全市の12.9%にあたる945店舗が、8月6日17時頃より8月7日2時頃まで、約9時間にわたって、床上10cmから2m30cm浸水し、被害をこうむっている。被害の大きい地区は、中央地区542店(39.3%)、伊敷・草牟田地区298店(28.5%)、西駅地区65店(5.6%)、上町地区30店(3.4%)、鴨池・郡元地区10店(0.6%)などであり、直接の被害額は、市全域で商品41億円、建物・備品73億円、計114億円とされている。

2.3 生活関連機能の被害

(1) 市水道局の被害

8月6日の集中豪雨によって、最大の給水能力をもつ河頭浄水場(109,100m³/日)が冠水し、それにつぐ滝之神浄水場(39,700m³/日)が土石流をうけ、一日の給水能力246千tのうち149千t(60%)が給水不能におちいった。

(2) 九州電力(株)の被害

8月6日の集中豪雨による設備被害は、支持物の折損40、流出80、倒壊8、傾斜46など174本、電線の断混線102、その他、引込線、計器など112ヶ所で発生し、応急復旧費20.7百万円(架空電線路16.0百万円など)、本復旧費116.1百万円(架空電線路40.9百万円、地中電線路31.2百万円、大規模復旧44.0百万円)など、計136.8百万円におよんでいる。

(3) NTTの被害

各地で土砂崩れ、道路陥没などが発生し、電柱倒壊(582本)、管路流出、橋梁決壊により、鹿児島～川内光ケーブルの切断をはじめ、市内・中継ケーブル(57.3km)が切断されるなど、幹線ルートで甚大な被害をうけ、被害額は、設備被害額716百万円、応急復旧費121百万円、計897百万円になっている。

2.4 交通機関の被害

(1) 主要幹線道路の被害

河頭の路面冠水、平松～磯(19ヶ所)の崖崩れ、小山田、下犬迫の道路陥没などによって、九州縦貫自動車道、国道3号および国道10号などの主要幹線道路が道路決壊し、法面崩壊23、橋梁流出1の被害を生じた(表1)。

表1 主な道路被害状況

(単位:ヶ所)

期日	道路被害箇所状況				計
	道路決壊	法面崩壊	橋梁流失	その他	
7月4日	1				1
7月7日		1			1
8月1日	2	8			10
8月6日	1	23	1		25
9月3日 (台風13号)	1	7		2	10
計	5	39	1	2	47

(2) JRの被害

鹿児島本線の隈之城～木場茶屋駅間の築堤崩壊、切取崩壊、薩摩大川～西方駅間の築堤崩壊など、101ヶ所、570百万円、日豊本線の竜ヶ水～重富間の土石流をはじめ199ヶ所、2,340百万円、車両設備(5両)500百万円、建造物100百万円など、計401ヶ所、4,450百万円におよんでいる。

(3) 市電・市バスの被害

市電・市バスの被害としては、軌道上で冠水し走行不能になった電車11両、崖崩れによって損壊したバス7両などであり、被害額は、電車関係では、車両、軌道、電気など105.9百万円、バス関係では、車両、部品など20.2百万円、その他、機器、庁舎、公用車など21百万円、計147.1百万円にのぼっている。

3. 市民生活への影響

3.1 断水、停電および電話の不通

(1) 断水

8月6日19時30分頃の河頭浄水場の冠水、滝之神浄水場の土石流によって、給水戸数190戸

のうち最大時954戸、断水比率50%、原良や紫原団地など、最長時間174時間30分におよぶ断水をしている。

8月8日に河頭浄水場の40千tが復旧したことなどにより、8月7日から10日まで76千戸(断水比率40%)、11日～12日59千戸(断水比率31%)、13日27千戸(断水比率14%)など、伊敷・草牟田地区、鴨池・郡元地区および西鹿児島駅地区で断水している。

そのため、自衛隊車両など給水車113台が出て、長いところでは一週間以上も給水活動を行っている。

(2) 停電

8月6日17時25分、花野団地、小山田、河頭など伊敷・草牟田地区より停電し、上町地区へ拡大し、送電戸数286.6千戸のうち最大時停電戸数19.2千戸(停電率6.7%)、最長停電時間47時間におよんでいる。

8月6日の集中豪雨の被害による停電は8日16時30分に復旧しているが、9日の台風7号によって、9日11時4分より12千戸に停電が発生し、10日12時58分まで継続している。

(3) 電話の不通

8月6日夕方から上町地区、伊敷・草牟田地区など、20ヶ所で電話回線が冠水し、住宅用電話284千台のうち6千台(2.1%)が故障し、また、システムダウン防止のために、8月6日18時45分～7日0時25分、7日8時00分～16時45分間は、警察、消防、市役所、県庁など重要加入電話や公衆電話以外は不通であり、その後も、10日頃まで輻輳によって、かかりにくい状況が続いた。

3.2 交通機関の不通

(1) 道路の通行止め

主要幹線道路で通行止めになったのは、九州縦貫自動車道で、加治木I・C～鹿児島空港I・C間が8月6日9時20分～7日18時15分、7日23時00分～9日0時45分、9日14時00分～10日17時40分、鹿児島I・C～薩摩吉田I・C間が8月6日9時20分～12日19時00分まで7日間通行止めになった(表2)。

表2 主な通行止め

平成5年11月25日現在

路線名	場所	主な期間	備考
①国道3号	鹿児島市小山田町塚田～鹿児島市伊敷町	平成5年8月6日～平成5年8月30日(25日)	一部片側通行
②国道3号	鹿児島市小山田町名越	平成5年8月6日～平成5年11月24日	平成5年11月25日仮設道路共用
③国道10号	鹿児島市吉野町磯～鹿児島県始良郡始良町重富	平成5年8月6日～平成5年8月26日(21)(平成5年9月17日)	夜間通行止8月27日～9月16日(19:00～翌日6:30)終日開放
④国道10号	国分市川内	平成5年8月1日～平成5年8月17日(17日)	
⑤国道10号	鹿児島県始良郡隼人町新川橋	平成5年8月1日～現在	仮橋建設中

国道3号は、小山田町～伊敷町間が8月6日18時00分～31日10時00分一部を除く25日間、小山田町名越が8月6日18時00分～11月24日24時00分、仮設道路併用まで通行不能であった。

国道10号では、吉野町磯～始良町重富間が8月6日18時00分～27日6時30分まで21日間通行不能であった(図3、4)。

しかし、早期に復旧した九州縦貫自動車道(加治木～吉田I・C間)、主要地方道鹿児島市来線、谷山伊作線および鹿児島吉田線が迂回路として重要な役割を果たした。

(2) JRの不通

JRの不通は、鹿児島本線(西鹿児島駅～隈之城駅間)が8月6日21時00分～11日24時00分まで5日間、日豊本線(西鹿児島駅～西都城駅間)が8月6日21時00分～10月8日24時00分まで64日間におよんだ。

そのため、一部区間でバスによる代行も行われた。

(3) 市電、市バスの運休

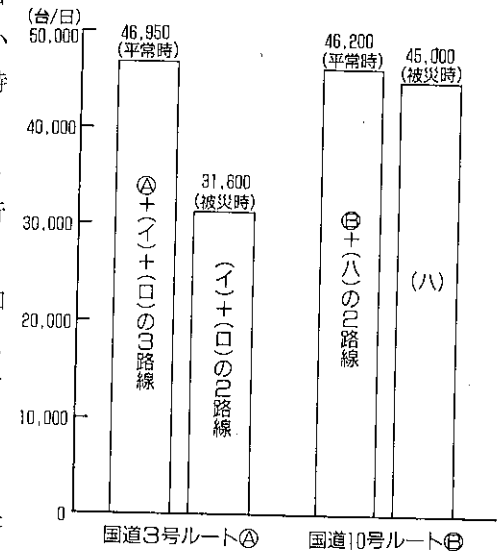
電車は、8月6日18時頃から最終まで全面運休し、7日に軌道上の土砂の除去を行い、14時から1系統(鹿児島駅～谷山)のみ運行を再開し、9日の始発から1、2系統(西鹿児島駅回り)とも平常運行を行ったが、台風7号の影響により14時10分をもって全面運休した(図5)。

バスは、8月6日18時頃から最終まで谷山線を除く26路線が運休し、7日7時から順次運行を再開し、不通道路の開通にともない玉里団地線、吉野線、葛山線を除く24路線を運行し、9日は、葛山線を除く、鼓川・常盤線および吉野線は迂回運行し鴨池・冷水線は折返運行したが、台風7号の影響により14時10分から全面運休した。

これらによる影響人員は、電車約51千人、バス約67千人、計118千人と推計されている。

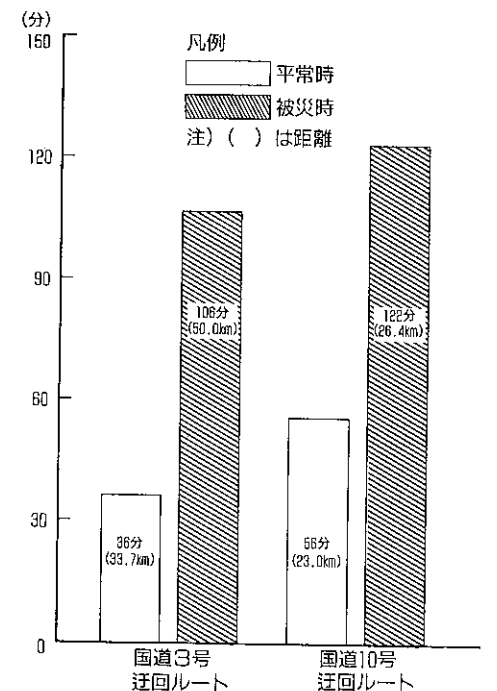
(4) 空港バスの運休

空港バスは、8月6日9時20分、九州縦貫自



●被災時: 調査期間(H5. 8. 17日～20日)での最大値
●平常時: 平成2年度道路交通サンセス及びH5. 6月「ザ・ハイウェイ」九州地方建設局

図3 取りやめ交通量, 迂回交通量



上記の2ルートに伴う損失額は1日で約1億3千万円と試算されます。
注) 交通量に距離、所要時間の増分を乗じ(走行台キロ、走行台時)、さらに、走行単価16.4円/台キロ、時間単価53.1円/台.分(11次5計; 乗用車)を乗じて加算。九州地方建設局

図4 迂回による所要時間の増加

自動車道(鹿児島～加治木間)閉鎖にと
もない、国道10号経由で迂回運行し
たが、16時30分頃運行を停止した。
8月7日18時15分九州縦貫自動車道
(薩摩吉田～鹿児島空港間)開通にと
もない、運行を開始したが、23時00
分閉鎖にともない運行を停止した。
8日は桜島フェリーおよび垂水フェ
リーを利用した迂回運行が行われ、
9日始発から平常運行を開始した
が、台風7号のため10時00分以降運
行を中止した。

3.3 食生活への影響

(1) 青果物の入荷量の減少

7月からの長雨、日照不足の影響
で、全国的に品薄傾向が続くなか、
8月6日の集中豪雨により、主要幹
線道路が通行不能となるなど、悪条
件が重なり、鹿児島市中央卸売市場
への青果物の入荷量はいちじるしく
減少した(図6)。8月6日の総入荷
量511t(対前年比57%)、野菜入荷
量330t(対前年比63%)、果実入荷
量179t(対前年比51%)であり、7
日は、総入荷量381t(対前年比
53%)、野菜入荷量225t(対前年比
48%)、果実入荷量151t(対前年比
63%)である。

8月7日の野菜の品目別で入荷量
の少ないのは、ばれいしょ(対前年
比12%)、きゅうり(対前年比13%)、
ピーマン(対前年比18%)、キャベツ
(対前年比37%)、にんじん(対前年
比38%)、だいこん(対前年比42%)
などである。

(2) 価格の高騰

鹿児島市中央卸売市場における入
荷量の減少は、価格の高騰をもたら

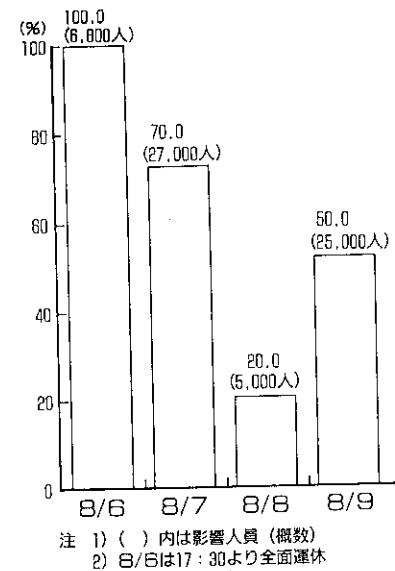


図5 鹿児島市営バスの運休率

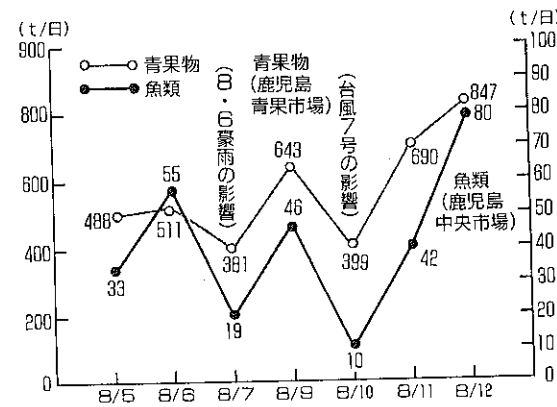


図6 青果物入荷量, 魚類取扱数量 (各10kg当り単価(円))

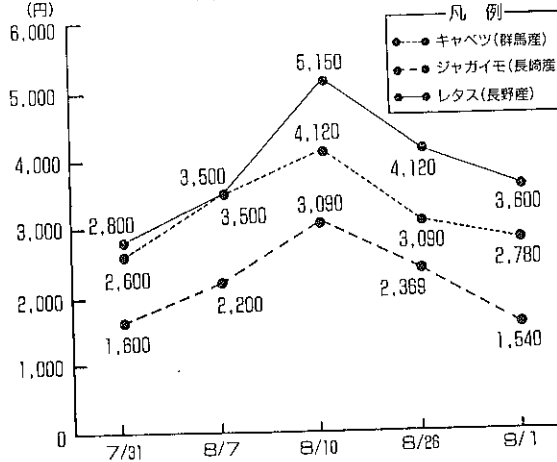


図7 主要野菜の市場単価の例(鹿児島青果市場)

した(図7)。

8月6日の野菜の平均単価は309円/kgであり、7月の平均単価の1.2倍に当たる。果実の平均単価は304円/kgであり、7月の平均単価の1.1倍である。

8月7日の野菜の平均単価は332円/kgであり、7月の平均単価の1.3倍である。果実の平均単価は316円/kgであり、7月の平均単価の1.1倍である。

8月7日の野菜の品目別で価格が高騰しているのは、ピーマン519円/kg(対前年比4.9倍)、キャベツ317円/kg(対前年比4.0倍)、ばれいしょ229円/kg(対前年比4.0倍)、だいこん363円/kg(対前年比2.9倍)などである。

また、中央地区や伊敷・草牟田地区をはじめ、スーパーや小売店など945店(全市の12.9%)が浸水したことにより、6日～10日間程度営業の再開ができず、さらに、スーパーや小売店の店頭の商品不足、品切れによって、1週間後ぐらいには小売価格が例年の2～3倍に値上がりした。

4. 今後の課題

4.1 災害に強い都市づくり

(1) 災害に強い街づくり

早期に、甲突川をはじめ稲荷川および新川の抜本的改修を完成する。

シラスなどの崩壊箇所や急傾斜地崩壊危険箇所の防災工事を行なう。

河川情報システムや都市河川流域における総合治水対策について調査研究するとともに、土砂災害警戒避難体制の整備を進める。

適正な土地利用を進め、災害に強い水道、電気および電話施設などライフラインの防災性の向上をはかり、広く安全な住宅環境づくりを進める。

(2) 災害に強い交通基盤づくり

早急に、国道3号の小山田町、国道10号の吉野町竜ヶ水および日豊本線(鹿児島駅～重富駅間)の抜本的改修を行なう。

安全で信頼性の高い主要幹線道路やJRの整備を進める。

災害時の交通ルートの効率的な情報提供システムを整備する。

(3) 防災対策

災害時における交通、生活関連機能などの広報体制を整備する。

防災地図の作成により、危険箇所の点検を行なうとともに、自主防災組織づくりや警戒避難対策を進める。

5. おわりに

平成5年8月6日を中心とする集中豪雨災害によって、鹿児島市では、各地で土石流、土砂崩れが生じ、甲突川をはじめ河川の氾濫が発生し、市民生活への直接的被害(人的、家屋および商店の被害)、生活関連機能の被害(市水道局、九州電力、NTTの被害)および交通機関の被害(主要幹線道路、JRおよび市交通局の被害)など、甚大な被害をこうむった。

これらの被害によって、谷山地区を除く、広範な市全域にわたって、断水、停電および電話

の不通が発生し、主要幹線道路の通行止め、JRの不通、市電・市バスの運休、空港バスの運休など、陸上の交通機関をたたれ、鹿児島市の都市機能はまひし、陸の孤島になり、食生活など広く市民生活は壊滅的な打撃をこうむった。

今後、この教訓を生かして、災害の復旧のみにとどまらず、市民生活を災害から守るために、安全性、信頼性の高い災害に強い都市づくりをめざしていくことが重要な課題になる。

本調査にあたっては、鹿児島県、鹿児島市、鹿児島商工会議所、九州電力(株)、NTTなどのご協力をたまわった。

また、本報告は、平成5年度科学研究費補助金(総合研究A)「平成5年8月豪雨による鹿児島災害の調査研究」(研究代表者、鹿児島大学理学部教授 岩松 暉)の援助を受けたものであることを付記しておきたい。

防災都市づくりとソフト的対応

鹿児島大学理学部 岩松 暉

1. 社会現象としての災害

鹿児島の災害というとシラス災害があまりにも有名である。マスコミもシラスはもろいと繰り返し繰り返し宣伝する。善意ではあるが、かえって災害はシラス地帯に住む者の宿命との諦観を植え付け、シラス以外の地質のところに住む人々には誤った安心感を与える結果をもたらしている。また、シラス崖に対してハード的な対策さえ講じれば災害はなくなるかのような幻想を与える。しかし、どんなにテクノパワーを駆使して万全の対策を施しても、崖崩れや洪水を100%防ぐことは不可能に近い。何となれば、それらは太古の昔から繰り返されてきた自然の摂理だからである。山崩れや土石流も侵食現象の一形態に過ぎない。1993年災害でも、シラスだけでなくあらゆる地質のところで崖崩れが発生したことがその普遍性を物語る。緑豊かに植生が繁茂し、これに伴って肥沃な土壌が形成される。この土壌が山崩れや土石流によって下流に供給されることにより、平野が形成され、農耕が成り立つ。海岸侵食も防止されるのだ。洪水や氾濫は土砂のもっとも有効な運搬手段であり、鹿児島平野も甲突川・田上川の賜物である。自然界はこうした微妙な動的バランスを保っているのである。そういう意味では、自然現象としての山崩れ・土石流・洪水などは決してなくならないうであらう。

しかし、それが災害になるか否かという点になると話は別である。無人島で山崩れが起きても単なる地質現象に過ぎない。人命や財貨が失われ、人間社会に損害を与えるとき災害となる。寺田寅彦も地震と震災との峻別を唱え、地震の発生は防げないが震災は人間の努力次第でいかようとも軽減できると主張した。実際、同程度の地震が発生しても発展途上国では10⁴人オーダーの犠牲者が出るが、津波被害を除けばわが国では数十人以下である。耐震工学の進歩とそれを実際の建築に生かすことが出来る経済力のお陰である。1993年の冷害は天明飢饉や「寒サノ夏ハオロオロ歩キ」と賢治が詠った昭和初期の冷害と気象現象としては同規模かそれ以上だったという。天明期には過酷な年貢制度が数万人と言われる餓死者を出した(名君上杉鷹山のいた米沢藩ではほとんど餓死者が出ていない)。昭和初期の冷害では幕末の農業技術の進歩と幕藩体制の崩壊によってさすがに餓死者は出なかったが、まだ地主制度があったため、小作人は娘を花柳界に売り飛ばして口に糊した。1993年の冷害は経済大国ニッポンの円の力で諸外国の米を買いあさって乗り切ろうとしている。もちろん、餓死者も娘の身売りも出ないであらう。このように同じような自然現象が発生しても、社会経済情勢が違えば災害として発現する程度が異なるのである。

すなわち、いわゆる自然災害とは単なる自然現象ではなく、自然と社会の交錯するところで発生する社会現象なのである。このことは、防災に関しては自然現象の制御と共に社会的ソフト的対応も重要であることを意味する。なお、天災・人災なる二者択一論がある。天災論は災害を自然現象と混同しており、宿命論やあきらめへ導くし、機械的人災論は自然的要因の軽視につながり、ハード万能主義と結びつきやすい。いずれも真に災害をなくすことにはならない。小出 博が人災という造語を提唱した頃はまだ自然現象と自然災害が混同されていた時代で、

人為的要因や拡大要因に目を向けさせる積極的意義があったが、現在は行政糾弾といった非常に一面的な使われ方をしており、本質を見誤らせる恐れが強く不毛である。

2. 自然とのつきあい方

自然現象の制御といっても自然と力で全対決しようとするれば要塞都市のような殺伐としたコンクリートジャングルになってしまう上に、なおかつ自然の力を完全に抑え込むことはできない。明治以来、水害を防ぐために延々と連続堤防を築き、三面張りのコンクリート河川まで構築した。遊水地をなくして堤防に換え上流の氾濫を防ぐ。それが下流の氾濫を招き、下流の連続堤防は天井川を出現させた。近代技術を過信してギリギリまで土地利用し、かえって被害を大きくしてしまう。防災施設が逆に災害要因に転化するのである。それだけではない。コンクリート河川は粘土鉱物による有害物質の吸着を阻害するから、汚染水がそのまま河口に直行し漁業にダメージを与える。砂防ダムは鉄分不足の水を供給し磯焼けを起こすという。自然界はシームレスの織物に例えられる。相互に複雑に絡み合った有機体である。自然の理をわきまえず、近視眼的に征服をもくろむと、とんでもないところでしっぺ返しを食らう。やはり、災害絶滅ではなく災害軽減(災害の無害化)の道を選ぶほうがより賢いやり方であろう。その点、祖先の知恵に学ぶべき点が多々ある。信玄堤(霞堤)・輪中・遊水池など典型例である。頻繁な中小氾濫には対処するが、数十年に一度といった例外にはある程度の被害は甘受しようという一病息災の発想である。昔は慢性喘息では死なないと言われてきた。乾布摩擦で体力をつけ、軽微な発作で済ませる対処法である。最近は強い吸入薬でピタッと抑えるため、つい使用頻度が高くなり、心臓に負担をかけて死に至るのである。もちろん、防災工事が無意味だと言っているのではない。既に人家が密集してしまっていて、生命財産が失われる恐れが強いところには対策を講じなければならない。重症の発作には注射もやむを得ない。しかし、そうした危険なところに住む前に、自然の理をわきまえた賢明な土地利用が必要である。鹿児島県のシラス崖の下には大抵なだらかな坂の部分がある。崩壊土砂の堆積地形である。すなわち、スロープの長さが崖崩れの土砂の最大到達距離を示している。自然のままなら崖雖は水が豊富だから、この部分は竹藪になっていたであろう。明治以前ここは自然の領域であって、筍採りに行くことはあっても、宅地にはなかつた。現在のシラス災害はほとんどこの部分で発生している。神様の領分を侵した罰と言えよう。

本家分家の理論(?)なるものがある。確か天草災害の時言い出された。被災したのは圧倒的に分家が多かったという。古くからある本家は適者として生存してきたのに、新しく作った分家は当面の利便性だけを考慮して立地していたからである。これからの都市計画は利便性・効率性第一主義ではなく、自然の論理(地質学の原理)を踏まえて、環境とも調和をはかりながら行っていかなければならない。真っ白いキャンパスの上に自由に絵を描くセンスでは困るのである。キャンパスの下、地面の下に岩石や地層があることを忘れてはならない。

3. 鹿児島における防災都市づくり

つくば研究学園都市のように全く新しいところに立地するのなら理想的な都市計画も可能だろうが、既存都市の安全性を高めるためにはどうしたらよいのだろうか。鹿児島市の場合、

もともと平場が少ないから、高度成長期以来流入人口を吸収するために、山を削り谷を埋め立てて団地を造成してきた。以前なら住まなかつた危険地まで進出したために災害が激発するようになったのだ。そろそろ人口膨張は抑制すべきではないだろうか。しかし、いくら地方定住圏構想を打ち上げても、農業で生計が立てられない限り、また教育・文化・医療等の都会偏在が解消しない限り、人口集積効果を求めて集まってくるのは避けられない。これは政治の根本に関わることで、防災云々以前の問題である。どうしても60万都市を目指すのなら、周辺の町々を衛星都市にして平坦地に団地を造成するしかないであろう。ただし、事前の防災アセスメント実施が前提である¹⁾。また、モノレール・地下鉄等公共交通機関を抜本的に整備して市内へのアクセスを容易にし、マイカー乗り入れを規制することが必要であろう。沿岸部を埋め立て高層マンション群を建設することは、地震時の液状化災害などを考えると避けたほうがよい。もちろん、丘陵部の切り盛りはもう限界に近い。

個々の災害について考えてみる。崖崩れに対しては、「かけ地近接等危険住宅移転事業」の補助率をアップするなどして移転を促進することが望ましい。現行の鹿児島県宅地造成基準では崖肩を望んで仰角30°以上のところは宅造禁止である(図1)。従来の崖崩れ被災家屋のほとんどがこの30°ライン内に入っている。つまりこのラインよりも崖に近づかなければ崖崩れ災害はほとんど発生しないと言ってよい。諸般の事情で住家が存在するところは法面工事をするこもやむを得ない。

土石流に対しては、危険渓流の出口付近は避けたほうがよい。土石流は現在の河道と無関係に直進することが多く、旧河道をなぞることもある。こうした箇所は移転するに越したことはない。国道10号線沿いは始良カルデラ壁に当たっている。「侵食カルデラ」なる術語の存在が示しているように、カルデラ壁は本来侵食作用が活発なところである。地形図上でも過去の崩壊地形が数多く読み取れる。崖崩れや土石流が頻発するのが当然の自然の姿なのである。この国道や鉄道は海に張り出すかトンネルで避けるのがよいと思われる。山椒太夫で有名な新潟県の親不知子不知の険ではすでに実行している。もちろん、カルデラ壁に集落を立地するのは好ましくない。砂防ダムは土石流に対して有効ではあるが、土石流の頻発するカルデラ壁では

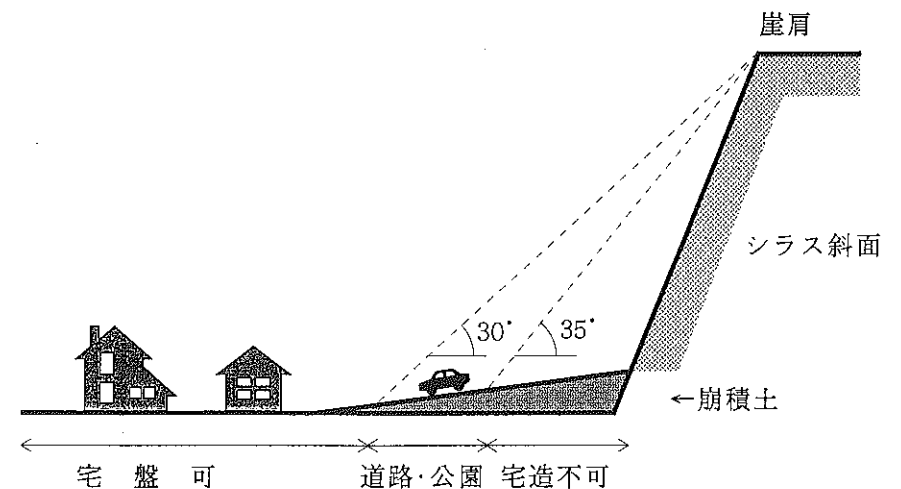


図1 鹿児島県宅地造成基準

あまり過信しないほうがよい。

水害に関しては、水源地での植林を含む総合治水によってピーク時流量を減らすと共に、河川改修によって速やかに排出することなどが考えられる。しかし、上流部の氾濫を防ぐために改修を行えば、当然下流に悪影響を与える。古来、水害では上流と下流で利害が対立し、川騒動がしばしばあった。なかなか両立は難しい。遊水池の復活も過密都市では住家の移転などの問題があってなかなか困難である。その上、シラス地帯を後背地にもつ鹿児島市の河川では、他地域の河川に比して流入土砂が桁違いに多いから、通常の治水対策の教科書的適用ではうまくいかないであろう。そこで、10年確率の洪水には安全なようにハード的対策をとることにして、数十年確率以上の大災害に対しては保険で対処するなどの方法が考えられる。昔の水屋にならってゲタ履き住宅を作り1階をガレージにしておくとか、床上浸水はなるべく防ぎ広範囲の床下浸水は甘受するなどのやり方もある。遊水機能の重視である(図2)²⁾。

都市型災害の場合には、ライフライン災害の対処法も考えておく必要がある。1993年の災害では、道路と鉄道が寸断されたため、鹿児島市は陸の孤島と化した。もともと島津公は敵が攻め難い天険の地に城下町を構えたのだから当然である。従来、国道10号線はしばしば交通が途絶したが、九州自動車道があるために空港方面との連絡は保たれていた。今回初めてこの高速道路が不通になったが、さすがに高規格道路であるから公団の敷地内に起因して発生した災害はほとんどなく、敷地外からの流入土砂によって不通になったのである。いわばもらい災害である。国道10号線は前述のようにカルデラ壁にあって不安定だから、この高速道路は鹿児島市にとって生命線とも言える道路である。どんな豪雨でもここだけは守れるよう、沿線周縁部の砂防に重点投資をする必要があると思う。8・6災害でもあった断水・停電・電話不通などの対策も重要である。これからはますますコンピュータ社会になるから、コンピュータネットの保持も忘れてはならない。

鹿児島は地震の少ないところだが、桜島火山が大正噴火級の大規模噴火をしたときには震度6クラスの地震に見舞われる恐れがある。大正噴火の際も島内では死者はほとんど出なかったのに、本土側で地震による家屋倒壊や崖崩れが発生して多数の犠牲者が出た。液状化を示唆す

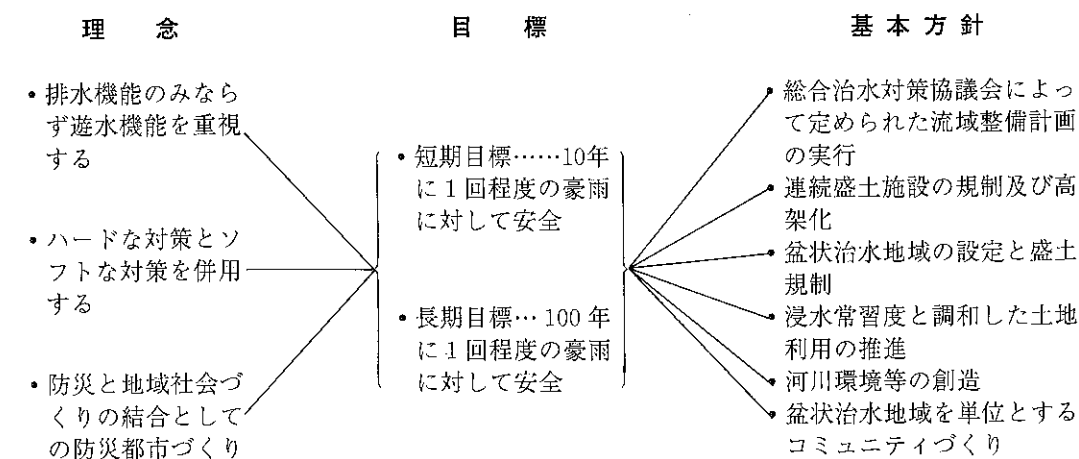


図2 水害に備えた防災都市づくりの基本構想²⁾

る記録もある。当時の水田地帯は今や人口密集地であり、シラスの水搬工法による埋立地も多い。北海道南西沖地震では火山性堆積物の液状化が話題を呼んだが、鹿児島の沖積平野はまさに二次シラスから出来ている。液状化災害に対する備えも忘れてはならない。また、建築基準法による規制が他県に比して緩いことから、耐震上問題のある建物も多い。宮城県沖地震で学童が多数下敷きとなって問題となった無鉄筋ブロック塀も多数ある。桜島から避難してきた人達が地理不案内な本土で地震の犠牲になるようなことが起きかねない。地震は決してひと事ではないのである。

火山災害を都市づくりの観点からみるのは難しい。必ず山頂噴火をする火山ならともかく、桜島は山腹噴火もあってどこから噴くか数十年も前から特定できないので、ハード的対策を立てようがない。磐梯山のような山体崩壊があれば壊滅的で、これに対処することは不可能である。火山山麓に住むこと自体が問題だということになってしまう。やはり避難などソフト的に対応するしかないであろう。幸い「理論ヲ信頼セズ」と恨まれた往時と違って、火山学も進歩したし観測網も充実している。噴火の時期や噴火口の位置等の直前予知は確実に出来るであろうから、事前の対処は可能である。

4. 死亡災害ゼロとハザードマップの作成・公表

1993年の鹿児島の災害では二度三度どころか五度も災害に遭ってしまった。よその町で災害があったと同程度の豪雨が降ったのだから、今度は自分のところが被災する恐れがあると避難しなければならなかったのである。適切な避難行動がとられていたら、財貨の損失はやむを得なかったにせよ、犠牲者を最小限に食い止められたはずである。人間だれしも自分だけは大丈夫と楽観しがちである。やはり、自分は危険なところに住んでいるとの自覚が大切である。そのためには、ハザードマップ(災害予測図)を作成して住民に周知しておくことが重要なのではないだろうか。

鹿児島市にも防災マップが存在する^{3),4)}。しかし、これは急傾斜地崩壊危険区域や土石流危険渓流など法令指定地や警察・消防・病院といった防災機関の所在地を図示したものである。こうしたマップも大いに役立つが、ここでいうハザードマップとはこのようなものではない。全ての斜面について危険度のランク付けをし、低地の氾濫・浸水危険地は予想浸水深まで記入されたものである。液状化など地震動災害についても明記しておく必要がある。もちろん、現在の学問水準では決定論的予測は無理だから、確率論的に記述せざるを得ない。こ

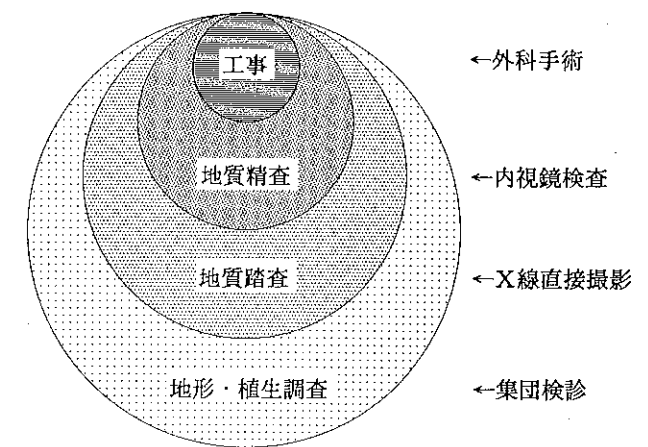


図3 防災検診と成人病検診

の程度のもなら現在でも作成可能である。確かに斜面は何万箇所もあるから、多少金と労力はかかるが不可能ではない。筆者はシラス災害について成人病検診になぞらえた防災戦略を提案したことがある(図3)⁵⁾⁻⁷⁾。全ての斜面について精密な地質調査をすることは難しいから、先ず外から見てわかるもの、すなわち地形と植生から診断するAI(人工知能)診断が間接撮影に当たる。その中の要注意箇所について地質踏査を行う(直接撮影)。この段階まで行えばかなり信頼性の高いハザードマップが作成できる。なお、さらに要精密検査箇所にはボーリング等の精査を行い(内視鏡検査)、最終的に危険箇所は防災工事を施せばよい(外科手術)。液状化災害については、震源位置が桜島直下ないし近傍と特定でき、入力加速度などもおおよそ見当がつく点、他地域に比して有利である。地盤情報さえそろえば予測することが可能である。幸い鹿児島大学地域共同研究センターで筆者を研究代表者とする研究がスタートしており、鹿児島市内だけではあるがボーリング柱状図データベースが出来上がりつつある。1993年の被害額は3,000億円を突破している。事前調査や防災対策にどれだけお金を使っても、被害額に比べれば微々たるもので十分ペイする。なお、こうしたハザードマップは後述のオンライン豪雨災害予知警報システムに直接役立つので、マップとして印刷すると同時に、デジタルデータとして地理情報と共にデータベース化しておくことが大切である。

問題は公表の件である。危険度Aランクなどと公表されれば、確かに地価は下がるし損害保険の保険料はアップする。防災工事のために敷地が削られるかも知れない。数十年に一度来るか来ないかわからない災害のために、現在の経済的利益を損なうのはゴメンだと、住民が抵抗するのもうなずける。一方、行政も従来はハザードマップの作成には消極的だった。もしも後で災害が起きたら、危険と承知していたのに何故有効な手を打たなかったのかと責められ、裁判でも敗訴することが目に見えているからである。予見不能だったと異常気象のせいにして逃げるほうが都合がよい。しかし、人の命は地球より重い。前述のように、近年の地震による犠牲者は高々数十人である。しかも地震の頻度は少ない。鹿児島では一雨で同程度の犠牲者が出るし、集中豪雨や台風は毎年のようにやってくる。梅雨の度に犠牲者を出すのはもうやめようではないか。「人柱が立たないと梅雨が明けない」といった悲しい言葉はもう死語にしよう。

首都圏や東海圏では液状化予測図(東京都)⁸⁾・アボイドマップ(神奈川県)⁹⁾・地震被害想定基本図(静岡県)¹⁰⁾などのマップ類が公表されている。次の関東大震災や東海地震が予想される状況の下で、住民の中にコンセンサスが出来ているからであろう。こうしたマップ類の中で神奈川県のアボイドマップ(自然災害回避地図)は発想がユニークである。自然災害回避(アボイド)行政と銘打ち、「災害復旧に多額の費用を後追的に支出するのではなく、あらかじめ危険なところは避けて土地利用するような施策を進めるべきである」との積極的な立場から作成された。①過去の被害区域、②法令指定危険区域、③法律では指定されていないが災害発生が予想される危険箇所、④巨大地震が発生した場合の被害想定区域の4項目の情報が盛り込まれている。もう一つユニークなのは国分寺市の防災診断地図である¹¹⁾。作成主体が町内会単位の防災会なのである。住民自らが自分の町内を歩いて災害要因をチェックした手作りのマップである。市は防災学校を開いて啓蒙すると共に、専門家を派遣して防災会の活動を側面から援助した。行政と住民との協力共同の模範と言えよう。これは後述の防災教育にとっても非常に意義がある。上から与えられたものではなかなか身に付かないが、自らの経験に基づくものは

血となり肉となるからである。また、行政を敵視し、自らは動かず何かと裁判に訴えるやり方は非生産的だが、住民も参加して一緒に作ったものならば、上記のような行政の危惧も避けられる。鹿児島市でも一部の地区で住民による自主的な防災マップが作成された¹²⁾。誠に喜ばしい。住民参加のこうした自発的な動きを援助し、自主防災組織を機能させることが今後の防災行政の重要な課題となろう。その他、長野県では防災地質図が刊行されている¹³⁾。

5. オンライン豪雨災害予知警報システム

8月6日の災害では甲突川上流の郡山町で時間雨量101mmといった強烈な集中豪雨が降ったことを下流の鹿児島市側では的確に知っていたのであろうか。国道10号線の災害にしても、鹿児島方面が豪雨なのを始良町側が知っていて交通を遮断していたら、1,000台もの車があつた狭い区間に数珠つなぎになって被災する事態は避けられたに違いない。行政の壁を取り払い広域情報網を整備する必要がある。その点気象台は広域の降雨情報を知っているが、大雨洪水注意報や記録的短時間大雨情報を雨量に基づいて出すだけで、地質地形情報や実際の河川の水位上昇などは考慮されていない。レーダー雨量計にしても7分ごとにデータが得られ、基準以上の雨量になるとALARMとCRTに表示されるが、これもレーダー設置地点の雨量が基準値を超えたことを示すに過ぎない。また、集中豪雨のようなメソスケールの擾乱では小さな豪雨セルを捉えるのにはAMeDASなど気象庁の観測網では粗すぎる。数km間隔以下のもっときめ細かな観測値が欲しい。土砂災害や洪水予測のためには、気象庁検定済みの精密な雨量計による観測でなくても、小学校の理科クラブのデータで十分役に立つ。

そこで、次のようなオンライン豪雨災害予知警報システムを提案する。各市町村や防災機関を結ぶコンピュータネットワークを組み、県庁のしかるべき部署(消防防災課?)にサーバーを置く。もちろん、そこと気象台とはオンラインで結ばれ、レーダー雨量計のデータは刻々入ってくる。その他、市町村役場・消防署・土木事務所・JR・道路公団あるいは国道工事事務所のような国の機関などに設置してある雨量計のデータも全てオンラインで取り込めるようにする。

これだけなら広域の雨量分布を知ることができるだけでレーダー雨量計と大差ない。地形地質情報など各種のデータベースとドッキングさせ、シミュレーションにより災害発生予測や被害予測を時々刻々行つて的確な対応を指示するのである。各市町村ごとの災害警報も出せる。

幸い地形情報についてはGIS(地理情報システム)が整備されているし、ARC/INFOのようなツールも開発されている。地質情報は1990年に10万分の1鹿児島県地質図が刊行されたし、軟弱地盤については前述のように鹿児島大学にデータが蓄積されつつある。植生等の情報はリモートセンシングの技術が進んでおり、広域の情報を容易に得ることができる。また、住宅戸数や時間帯ごとの人口密度・交通量等被災側のデータは行政に既にある。

ただ、こうしたデータの一元管理を図り、中央集権的に指揮命令するだけでは十分な力を発揮しないであろう。各市町村役場や上記の諸機関には端末を設置しておき、親機のデータはいつでも見られ、独自の適切な判断ができるようにしておく分散型が望ましい。また、自分のところの災害発生場所・日時や水位記録など最新のデータを入力できる利点もある。こうしたデータが時々刻々フィードバックされればシミュレーションの精度もぐっと向上するに違いない

い。

このようなシステムは、地震災害に関してではあるが、既に東京都や埼玉県で実用化されている。東京都の場合、庁舎移転に伴い都庁内に防災センターが置かれ、防災情報システムが導入された¹⁴⁾。同システムは、災害情報システム、地震被害判読システム、延焼予測システム、浸水被害予測システムからなり、サブシステムとして地図情報システムが組み込まれている。マンマシンインターフェースはAVシステムによっている。埼玉県の地震被害予測システム(SEDEIS)¹⁵⁾は、地質地盤情報システムを基礎としており、断層モデルに基づく震源パラメーターと季節・時刻・風速などの前提条件を入力してやれば、即時に各地の震度・液状化危険度・建物被害・火災・人的被害・ライフライン被害・交通障害等の予測ができるようになってい。災害常襲地帯である鹿児島県でもこの程度の投資は必要なのではないだろうか。

6. 防災教育

8・6災害で始良カルデラ壁直下の国道10号線で多くのドライバーやJRの乗客が続発した土石流で被災したが、尾根筋にいた者と谷筋にいた者とで明暗を分けた。このようにちょっとした災害知識の有無が決定的にきくこともあるのである。

例えば、わが国における最近の地震では火災を伴うことが少ない(奥尻島の火災は打ち上げられた漁船の火によるという)。「地震!火を消せ!」と子供の頃から教え込まれているので、行動不能の烈震でない限り、ほとんどの人が反射的にガス栓をひねるからである。同じように三陸海岸では「地震にあったら津波に用心」と徹底的に教えられ、毎年避難訓練をしている。それに反し、日本海側では津波がないと誤って信じられていたために、日本海中部地震では津波による多くの犠牲者を出した。恐らく三陸だったら直下型地震でもない限り、津波による犠牲者はごく僅かしか出ないであろう。

地震の場合にはこのように学校教育でかなり徹底した防災教育が行われている。ここ2・30年の統計でみると、人的損失では、地震火山災害に比べて土砂災害や水害によるものが圧倒的に多い。その割にはこの種の災害に対する防災教育が等閑視され過ぎているのではなかろうか。鹿児島市内の中学生に防災に関する言葉についてアンケートしてみた¹⁶⁾。「地震があったら津波に用心」「地震があったらまず火を消せ」といった地震防災に関する標語はほとんどの生徒が知っているのに対し、「台風の右半円は危険半円(台風が西側を通るときは強風に注意)」といった台風に関する常識を知っていた者は1/4程度であった。台風銀座と呼ばれる鹿児島としてはゆゆしい問題である。また、シラスを実際に見たことがないと答えた者が半数いた。受験中心の理科教育が行われ、地域に根ざした実験実習が軽視されていることの表れであろう。梅雨前の通学路の安全点検など生徒たち自身で行うようにすれば、何よりの自然教育になるのではないだろうか。もっと学校教育でも防災教育を位置づけて欲しい。

一方、社会人教育のほうにも問題がある。1986年の災害についても突発災害研究を実施したが、学問的成果を住民や行政に還元しなければ災害はなくならないとして、翌年大学公開講座を開催した。大教室が一杯になるほどの盛会だったが、参加者は地質コンサルタントや国・県・市の防災関係者ばかりで、われわれ主催者が対象として考えていた一般市民の参加はゼロであった。マスコミの協力を得てかなり精力的な宣伝を行った結果がこれである。「喉元過ぎれ

ば熱さを忘れ」なのか、その日の生活に追われて心のゆとりがないのか、せめて崖下地の町内会長さんくらいはご出席いただけるのではないかと考えていたのだが。やはり都市化が進んで、防災は行政まかせ、被害があったら責任を追及するといった利益享受型受け身社会になったためであろう。

しかし、豪雨災害の場合、先にも述べたように豪雨セルの大きさは気象台の観測網では粗すぎるから、避難命令を待っていたのでは遅い。住民自らの判断が重要である。時間雨量50mmを超したら崖下の危険地に住む人は避難したほうがよい。コップを外に出して2時間で一杯になったら時間雨量約50mmに相当するから逃げればよい。この程度のことを進んでやる自覚があれば人的被害だけは防げる。「自らの命は自らで守る」が防災の基本であることを銘記すべきであろう。長崎水害の場合、「谷川の上流でゴーツと山鳴りがしたら山津波が来る」との言い伝えがあった古くからの集落は、隣近所助け合って避難したので犠牲者が出なかったが、そうした災害伝承のなかった移住者の多い新興住宅地では、その意味するところを知らず逃げ遅れてしまったという。山崩れ・崖崩れのような場合にも、冠頂部に亀裂が発生したとか、湧水が涸れたり井戸が濁ったりといった前兆現象が見られることが多い。こうしたことに一番最初に気づくのはそこに住む住民である。筆者はかつて新潟大学に奉職していたが、新潟県には地すべりモニター制度がある。住民の中にモニターを委嘱しておき、地すべりの発生しやすい融雪期に裏山を見回ってもらうのである。何か変状を発見したら県庁に通報してもらい、専門家が駆けつけて適切な処置をするという仕組みである。当然、モニターになった人は地すべりに関して知識が豊富になる。自分の知識を他人に話したくなるのは人情だから、期せずして近隣の人々に防災教育が行われ、その地域における災害知識のレベルアップにつながる。現にモニター以外からの通報で地すべりを発見した例も多いという。

また、老人や子供など災害弱者の問題も深刻である。こうした人々の避難を考えると、高齢化社会をひかえ、もう一度地縁社会を復活させる必要があるのではないだろうか。国分寺市のような防災会活動がそのきっかけになると思われる。

7. おわりに

繰り返しになるが、災害は自然と社会との交錯したところに発生する社会現象である。したがって、これに対処するためには総合的に当たらなければならない。近代土木技術を駆使するのは当然であるが、全てハード的に対抗するのは財政的側面だけでなく、自然の摂理といった面からも無理がある。自然の特性をわきまえたきめ細かな総合的防災対策が求められている。そのためにも行政に専門家を養成しておく必要がある。諸外国の例のように、防災担当者は防災関係学科の大学院で修士号取得を義務づけるのも一法であろう。部署を転々と替わらないと昇格しない制度を改め、ラインとは別の専門官として厚遇するのである。東京都のような防災センターも必要である。県立の防災研究所ないし土木技術研究所も欲しい。

また、防災は行政だけで実現できるものではない。研究者やコンサルタントなど専門家と行政当局が協力して学問的成果を行政施策に生かすのは当然であるが、なにかなく地域住民との連携が重要である。先にも述べたように、自分の命は自分で守るのが基本だからである。しば

しば見られるように住民団体と行政が相互不信に基づいていがみ合うなどは愚の骨頂である。お互いに結論が先にあって、己が主張をぶつけ合うだけでは何も生み出さない。DisputeではなくDiscussionが必要である。国分寺市の例のようによりよい協力共同の関係を築いてこそ災害は防止できる。住民参加型の防災施策が求められていると言えよう。

引用文献

- 1) 自治省消防庁(1984)：防災アセスメントに関する調査報告書—防災アセスメントマニュアル—, 692pp.
- 2) (株)地域開発コンサルタント(1985)：中川中下流域における防災都市づくり, 108pp.
- 3) 鹿児島市(1991)：鹿児島市防災地図, 8葉.
- 4) 国土庁防災局(1992)：防災マップ(鹿児島市), 12葉.
- 5) 岩松 暉(1987)：シラス災害ハザードマップ作成の一手法, 文部省自然災害特別研究突発災害研究成果, No. B-61-1, 82-89.
- 6) 岩松 暉(1988)：評価エキスパートシステムを用いた斜面崩壊予知, 情報地質, 13, 257-259.
- 7) 岩松 暉(1993)：シラス災害の防災戦略, Proc. 3rd Sym. Geo-Environments & Geo-Technics, 187-192.
- 8) 東京都土木技術研究所(1987)：東京低地の液状化予測, 土質工学会, 189pp., 付図2葉.
- 9) 神奈川県環境部環境管理課(1987)：自然災害回避(アボイド)行政推進方策, 65pp.
- 10) 静岡県地震対策課(1993)：第2次地震被害想定基本図集, 10葉, 付第2次地震被害想定結果報告書(人的・物的被害編), 184pp.
- 11) 東京都国分寺市(1990)：国分寺市災害危険調査報告書, 160pp.
- 12) 草牟田地区校区公民館協議会(1994)：草牟田地区防災マップ, 1葉.
- 13) 長野県(1988)：長野県防災地質図マニュアル, 143pp, 付図2葉.
- 14) (株)パスコ(1992)：防災業務における地図情報の利活用—東京都防災情報システム—, NEWS form PASCO, 45(1), 1-4.
- 15) 富田 忠(1992)：地震災害の軽減に向けて—大規模地震被害想定調査から—, 地質と調査, '92(2), 23-32.
- 16) 岩松 暉・中原征五(1994)：1993年鹿児島豪雨災害と防災教育, (印刷中)