平成９年度教育研究学内特別経費

「１９９７年鹿児島県北西部地震の総合的調査研究」

報　告　書

鹿　児　島　大　学
自　然　災　害　研　究　会

「1997年鹿児島県北西部地震の総合的調査研究」報告書

一九九八年三月　鹿児島大学自然災害研究会

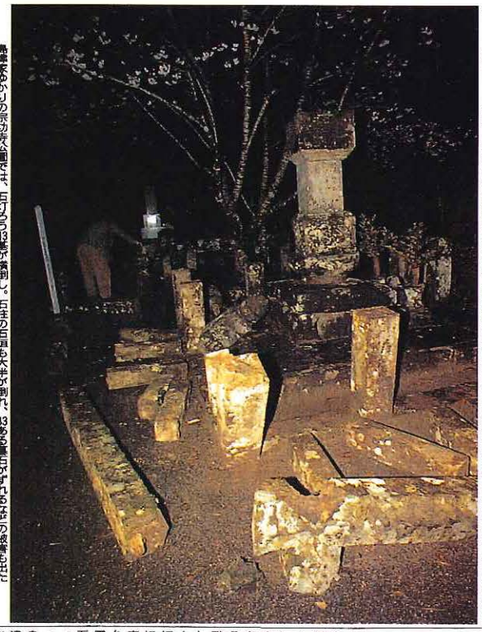
川薩で震度5強

M6.2 震源は阿久根付近

20人けが 余震100回超

二十六日午後五時三十一分ごろ、阿久根市付近を震源とする強い地震があり、阿久根、川内、宮之城で震度5強を観測した。その後も阿久根、川内で震度4を観測するなど余震が相次ぎ午後十一時現在、県内で町村に配置した計測震度計では、薩摩郡宮之城町で震度5強を観測した。鹿児島県警本部のまとめによると、午後十一時半現在、県内で二十人がけがをした。鹿児島県は一時、災害対策本部を設置、二十三市町が災害警戒本部や災害対策本部を設け警戒に当たった。

(24、25面に関連記事)



鳥津家ゆかりの照国神社では、石灯ろう43基が横倒し。石柱の石垣も大半が倒れ、33ある墓石がずれるなどの被害も出た＝26日午後、薩摩郡宮之城町で(本社ヘリから)

福岡管区気象台によると、最初の地震の震源地は阿久根市南東部付近の北緯三一・〇度、東経一三〇・〇度で、震源の深さは約一〇キロ。地震の規模はマグニチュード(M)6・2と推定される。その後の地震もよると、昨年十月の新震度階級実施からは、三月十八日の愛知県東部地震で四番目に大きな揺れを感じる「自動販売機が倒れもしくは歩行困難」を表しているそうだ▼薩摩郡宮之城町などは、特に被害が大きいようだ。調査が進むにつれてけがをしたり、家が全半壊したりの被害が増えている。お気の毒とともに、震源地は「このところ大きい地震に見舞われている。一昨年十月の鳥取地震の後、十月には日向灘地震で大隅地方が被害にあっている。いずれも震度4から5である。こう立て続けにと大きかった。体に伝わった揺れから考えて、周囲の人たちも、実際の感じとしても、一昨年の阪神大震災を思う。地震の大きさをあらわすマグニチュードは7・2、震度はなんだった。いかに大きな地震だったか、十分指摘できる。タンスや食器棚、書棚の危険性、水や非常食の確保などの教訓を学んだ。私たちも身の周りをもう一度確かめたい。

南風録

心底びっくりした。揺れが次第に大きくなる。不意打ちを食うとは、このことだ。

書棚が倒れてもしたら大変だと、同僚たちと一緒に机から離れて、部屋の中ほどに集まった。情報を得ようと、テレビのチャンネルをあちこち切り替えた。きのうの夕方は、こんな光景が職場や家庭で繰り広げられたろう。鹿児島市で、この揺れを感じた人たちに、思いをしたのは初めてだ▼震源は、鹿児島市東部元町の鹿児島地方気象台に設置してある震度計で震度4を記録した。ビルの五階で味わった実感は、もっと大きかった。体に伝わった揺れから考えて、周囲の人たちも、実際の感じとしても、一昨年の阪神大震災を思う。地震の大きさをあらわすマグニチュードは7・2、震度はなんだった。いま、指定文化財の宮

地震による県内主要道路の通行規制

(26日22時現在・全面通行止めのみ)

国道223号	牧園町丸尾(落石)
国道447号	出水市上大川内(〃)
国道504号	高尾野町砂原～中屋敷(崩土)
〃	宮之城町堀切峠(〃)
〃	宮之城町泊野(崩土・亀裂)
県道出水菱刈線	出水市宇津良(路面亀裂)
県道鶴田大口線	鶴田町神子(〃)
県道下手山田姶良線	姶良町普野(落石)
県道鶴田定之段線	鶴田町神子橋(橋りょう亀裂)
〃	〃 紫尾上(崩土)
〃	〃 柳野(路欠)

九州自動車道 JR一時不通

地震の影響で二十六日夜にかけ、鹿児島県内の交通機関は大きく乱れた。JR九州の鹿児島線など四線と九州自動車道が一時不通になったほか、姶良郡牧園町の国道223号など主要道路十一カ所が全面通行止めになった。

JR九州鹿児島支社によると、隈之城駅で震度5以上を示した地域を中心に、地震直後、鹿児島線の西鹿児島(鹿児島中央)―袋(熊本)間、日豊線の西鹿児島―鹿児島(現鹿児島中央)―吉松(宮崎)、吉都線の吉松―都城間の運行を緊急停止。同日午後九時五十分までに、運行区間の線路点検を終え、全面開通。計三十二本が運休し、計十四本が最大二百分遅れた。

鹿児島全域で一時 電話回線パンク

二十六日夕の地震発生直後から、電話回線は鹿児島市など県内ほぼ全域で一時パンクし、震源に近い出水、阿久根市など北薩地方では深夜まで電話がつながりにくい状態が続いた。阿久根市では都市ガスが配管数カ所から漏れたほか、川内市では一時、停電した。

南日本新聞

鹿児島市易居町1番2号
(郵便番号892)
南日本新聞社
振替口座 鹿児島4-8番
©南日本新聞社 1997年

電話 099-225局
社会部 9725 広告局 9763
政経部 9726 販売局 9784
文化部 9728 事業局 9777
運動部 9733 制作局 9753
写真部 9735 印刷局 9756
報道部 9741 総務局 9707
論説委 9390 役員室 9702
被害応答室 9796
フォトサービス 9797
スポーツ速報 239-8900
南日案内(広告) 223-9555

主な記事

未経験の揺れに県内騒然 (25面)
自社、一致点見えず 米軍地問題 (2面)
地方事務官廃止へ 厚生省と社会保険庁 (3面)
震災対策編など別冊化 鹿児島県、防災計画見直し (24面)

きょうの予定

・羽田空港新滑走路供用開始
・羽田覚首神輿訪問

ホームページ

接続先 http://www.minc.or.jp/minami/

第19966号　(昭和7年2月11日第3種郵便物認可)　南日本新聞　1997年(平成9年)5月14日　水曜日　(日刊)

川内で震度6弱

震源「北西部」の南西

34人けが、がけ崩れ57カ所

阪神大震災以降で最大

南日本新聞
鹿児島市易居町1番2号
(郵便番号892)
南日本新聞社
鹿児島4-8番
(C)南日本新聞社 1997年
電話 099-225局
社会部 9723 広告局 9763
政経部 9725 販売局 9784
文化部 9728 事業局 9777
地域報道部 制作局 9753
9737 印刷局 9756
運動部 9733 校閲局 9707
写真部 9735 読者室 9702
論説委 9390 経営室 9796
フォトサービス 9797
スポーツ速報 239-5900
雨日案内(広告) 223-3655

主な記事
安どつかの間 虚突く　川内で震度6弱　(20面)
写真グラフ「またも悪霊 暮るる心労」(12、13面)　その時震度6弱の川内市では(20面)　被災地を頭痛覆う(24面)
野村証券元常務ら3人告発　(24面)

きょうの予定
・春の園遊会
・移植関係学会が合同委員会

インターネット
接続先 http://www.mic.or.jp/minami/

十三日昼、時二十八分ごろ、川内市の北西約二十キロを震源とする地震があり、川内市で震度6弱を観測した。震源に近く、震源の推定はコンピューター(M)6・5、震源の深さ約十キロ、三月二十六日の鹿児島県北西部地震(M6・3)の震源とは地震活動の始まりの点がかなり近いことなどから、同じ震源の一連の動きとみられる。一時現在の死者は、ガス爆発に伴う爆発事故などで、十二市町、がけ崩れは二十七カ所に上った。震源地に近い九州電力川内発電所(川内市)は臨時停止した。

十三日午後、川内市役所で、九州電力の発表を聞く職員ら

震度6弱を観測したのは、市、初めてで、鹿児島県内では、昨年十月の鹿児島県薩摩地方(M6・1)、三月二十六日の鹿児島県北西部地震(M6・3)に続く三回目。震源の深さは約十キロ、三月二十六日の震源とほぼ同じ。震源域は、ほぼ川内市の全域と薩摩川内市の一部、阿久根市の一部。

震源の北西約二十キロの阿久根市で震度5強、震源の南東約二十キロの薩摩川内市、鹿児島市、日置市、いちき串木野市、姶良町で震度5弱を観測した。

震源に近い川内市では、震度6弱の揺れが数十秒間続いた。市内の一部地域では、ガス管が破裂し、ガスが噴き出すなどしたため、ガス会社が供給を停止。ガスの復旧には、一週間程度かかるとみられる。

また、市内の一部地域では、水道管が破裂するなどして、断水が発生。水の復旧には、一週間程度かかるとみられる。

震源地に近い川内市や薩摩川内市では、木造住宅の倒壊や、ブロック塀の崩れ落ちなどが相次いだ。

川内市内では、JR川内駅構内の天井が崩れ落ちたほか、商店街のアーケードが崩れ落ちるなどした。

川内市内の商店街では、ガラスが割れ、商品が散乱するなどの被害が相次いだ。

震源地に近い川内市や薩摩川内市では、木造住宅の倒壊や、ブロック塀の崩れ落ちなどが相次いだ。

川内市内の商店街では、ガラスが割れ、商品が散乱するなどの被害が相次いだ。

川内原発停止せず

施設内計測 過去最大71ガル

震源地に近い川内市や薩摩川内市では、木造住宅の倒壊や、ブロック塀の崩れ落ちなどが相次いだ。

川内市内の商店街では、ガラスが割れ、商品が散乱するなどの被害が相次いだ。

—— 目　　次 ——

はじめに －鹿児島大学自然災害研究会の設立趣旨－
…… 岩松　暉　1

震災の経過と被害概要
…… 岩松　暉　5

薩摩地方北部域における最大クラスの内陸地震活動
…… 角田寿喜・宮町宏樹・後藤和彦・八木原　寛・平野舟一郎
福満修一郎・関谷　博・金子和弘・岩切一宏・清水　力　9

鹿児島県北西部地震周辺の地殻活動の特徴
…… 田中　穣・愛甲華子・黒沢知也　21

鹿児島県北西部地震と鹿児島市の地盤
…… 大木公彦・深見　聡　43

1997年3-5月に発生した鹿児島県北西部の地震被害と地質
…… 井村隆介・岩松　暉・限元幸司　59

衛星データによる北薩の地形と震源域の検討
…… 木下紀正・前田利久・磯貝浩一　71

衛星データを用いたハザードマップの作成
－鹿児島県北西部地震による崩壊地ならびに予想危険地帯の抽出－
…… 石黒悦爾・田畑智廣・兵藤　薫・下川悦郎
地頭薗　隆・平　瑞樹・三輪晃一　79

地震による斜面崩壊の分布
…… 地頭薗　隆・下川悦郎・小藤葉月・寺本行芳・松本舞恵　89

地震による斜面崩壊の特徴
…… 寺本行芳・下川悦郎・地頭薗　隆　107

地震による斜面崩壊発生とその履歴
…… 松本舞恵・下川悦郎・地頭薗　隆　119

地盤工学関連の災害
…… 北村良介・井料達生・城本一義・岡林　巧
兵動正幸・山本哲朗・高田　誠　129

道路・橋梁等の地震被害
…… 吉原　進・河野健二・愛甲頼和
岩永昇二・小野太士・田代徹也　153

学校建築の被害と特徴
…… 皆川洋一　179

木造住宅とこれに関する施設の被害
…… 徳廣育夫・徳富久二・塩屋晋一・黒木康博　193

鹿児島県北西部地震による文化財建造物の破壊状況とその対策
…… 土田充義　215

1997年3月と5月の鹿児島県北西部地震による農地・農業用施設の被害状況
…… 平　瑞樹・三輪晃一・若松千秋・石黒悦爾　225

鹿児島県北西部地震に関する心理学的研究（IV）
～被災3カ月後の児童生徒の外傷後ストレス傷害（PTSD）に関する調査分析～
…… 久留一郎　231

鹿児島県北西部地震の被害状況と被害額について
…… 松本　譲　251

特別寄稿
災害に強い街，田舎にヒント
…… 南日本新聞社　社会部　高嶺千史　265

おわりに　－震災に備える－
…… 岩松　暉　271

はじめに—鹿児島大学自然災害研究会の設立趣旨—

鹿児島大学理学部地球環境科学科　岩松　暉

鹿児島県は地震保険の保険料が一番安い一等地に位置づけられている。建築基準法でも耐震基準が一番緩やかである。鹿児島は桜島の噴火はあるものの、地震のないところと安心していた。ところが去る1997年3月26日夕刻、突然の地震に見舞われた。鹿児島市内でも震度4、かつて経験したことのない揺れであった。まさに天災は忘れた頃にやってくる。震源が紫尾山付近だったことから「鹿児島県北西部地震」と通称された（気象庁命名の正式名称ではない）。マグニチュードは6.2で中小規模の地震ではあったが、震源が浅い典型的な直下型であったため、宮之城町・川内市・阿久根市などでは震度5強を記録した。マスコミの報道によると、幸いにして死者はでなかったものの、あちこちで大きな被害を出したという。被害を受けられた方々に心からお見舞い申し上げる。

早速、翌日から現地調査に入ると共に、文部省自然災害総合研究班と連絡を取った。しかし、被害が軽微であること、年度末で予算が残っていないことなどの理由で、突発災害科研費の支出は難しいとのことであった。そこでやむなく、教育研究学内特別経費を申請することとした。次は人選である。幸い上記自然災害総合研究班の鹿大班（代表者：岩松　暉）が存在している。従来から鹿児島で大災害がある度に、このメンバーが中心になって突発災害研究を実施してきた経緯がある。早速メンバーに参加を呼びかけるメールを出した。とはいえ、今までの鹿児島の災害はほとんど土砂災害ばかりである。当然、地質・砂防・土木の人たちが中心になって活動してきた。今回は震災、地震学の専門家が必要なことは当然として、建物被害も大きかったから建築の方にもぜひ加わって欲しいと考えた。

一方、災害は自然と社会が交錯するところで発生する複合的な社会現象である。無人島で地震があっても震災ではない。人命や財貨が失われ、人間生活に悪影響が出るからこそ災害という。よく犠牲者数や被害件数などの統計グラフが描かれる。しかし、グラフ上の点は単なる点ではない。人の命と遺族の涙、残された家族の生活苦や絶望など、無数のドラマが隠されている深い意味を持った点なのだ。単なる自然科学的な調査だけでは、災害の一面しか捉えられないのである。阪神大震災の経験からして、心のケアや生活再建の問題も重要である。震災直後は物理的破壊のほうに目を奪われるが、時間が経つと、こうした問題のほうが深く静かに大きな影響を与えるであろう。観光客の減少など間接的影響も出てくるに違いない。震災復興も、自然科学の目だけではハード面に偏りがちである。もちろん、自然科学者とて防災町づくりなど都市計画のソフト面も重要であることは知っている。しかし、行政ベースのマクロな面は捉え得ても、個々人の生活再建まではアドバイスできない。法律や制度に疎いからである。そこで、社会科学者・人文科学者もメンバーになっていただき、従来の自然災害科学で看過されてきた側面について調査研究していただきたいと考えた。以上のような考えに基づき広く参加を募った結果、末尾に掲載した18名の方々が快諾してくださった。

こうして4月中旬、「1997年鹿児島県北西部地震の総合的調査研究」というタイトルで教育研究

学内特別経費を申請したところ、幸いにして学長裁可を得て 350 万円の研究費が認可された。参加してくださった研究者の皆様および田中学長に篤く謝意を表する次第である。

さて、調査チームの名称であるが、当初、新聞で鹿大震災調査団結成と報じられたため、そのまま借用して便宜的に「鹿児島大学震災調査団」と称した。しかし、夏頃から「鹿児島大学自然災害研究会」の名称を用いることとした。その理由は次の通りである。1997 年には地震だけでなく土石流災害や台風災害にも見舞われた。このことが示すように、鹿児島県は自然災害の多い県である。今後もいろいろな災害の発生が予想される。地方大学として地元の災害の軽減に継続して貢献するのは当然の責務ではなかろうか。従来も地質・砂防・土木など一部の専門家は、大災害の度に突発災害の科研費を申請して研究を続けてきた。しかし、研究費がもらえなかったら研究をしないというのでは困る。手弁当のボランティアでも調査研究に当たる必要がある。また、先にも述べたように、災害は複合的な社会現象である。もっと多面的総合的な取り組みが求められる。幸い鹿児島大学は総合大学で多種多様な専門家を擁している。これらの研究者が力を合わせれば、すばらしい研究が出来るに違いない。鹿児島大学が、大学を挙げて地元の自然災害に継続的に取り組む姿勢を持っていることを公に示す意味で、「鹿児島大学自然災害研究会」という名称にした。

そうした観点から科研費の突発災害研究とは別に鹿児島大学として最初に災害研究に取り組んだのが 1993 年の鹿児島豪雨災害であった(研究代表者:下川悦郎農学部教授)。この時は「1993 年豪雨災害鹿児島大学調査研究会」というこの時限りの名称を用いた。今回は実質的に第 2 回目の取り組みと言ってよい。本研究会は会長も会則もないルーズな組織ではあるが、その時その時の災害の性質に応じて、一番関わりの深い専門分野の方が中心になって組織すればよい。幸い文部省自然災害科学総合研究班の鹿大班は恒常的に存在しているから、旗揚げのお膳立てはできるので、継続性は保証されるであろう。当面はこのように災害の度に結成するテンポラリな組織ではあるが、ゆくゆくはシンポジウムを開いて日頃から研鑽を積むような恒常的組織へ発展することを願っている。しかし、組織づくりを急ぐよりも、実質的な活動を積み重ねていくほうがよいと判断した。

最後に、本報告書は主として客観データの記録集である。当初考えていたような人間ドラマの側面が弱いのは否めない。そこで、本学理学部地学科 OB の南日本新聞社会部記者高嶺千史氏に特別寄稿していただいた。篤く感謝する。また、地質グループでは、本報告書とは別に、縮尺 5 万分の 1 四六判カラー印刷の『1997 年鹿児島県北西部地震震災地質図』を刊行した。本報告書およびこの震災地質図が今後の地震防災対策にとってお役に立てば幸いである。

謝辞

今回の地震調査に関し、鹿児島県総務部・土木部および関係市町村からは資料の提供など、さまざまな面でお世話になった。また、地質・建設コンサルタント会社からは、調査報告書を頂戴した。ここに篤く謝意を表する次第である。

研究費目:平成 9 年度教育研究学内特別経費
プロジェクト名称:1997 年鹿児島県北西部地震の総合的調査研究
研 究 費:300 万円

研究組織:

	氏 名	職	現在の専門	分担課題
研究代表者	岩松 暉	理学部教授	応用地質学	被害と地盤状況の関係の解明および総括
研究分担者	大木公彦	理学部助教授	層位学	被害と地盤状況の関係の解明
	井村隆介	理学部講師	第四紀地質学	被害と地盤状況の関係の解明
	角田寿喜	理学部教授	地震学	余震観測
	後藤和彦	理学部助教授	地震学	余震観測
	宮町宏樹	理学部助教授	地震学	余震観測
	田中 穣	理学部教授	測地学	GPS 観測
	北村良介	工学部教授	土木工学	液状化災害の解明
	河野健二	工学部教授	土木工学	道路橋梁被害の解明
	吉原 進	工学部教授	土木工学	土木一般被害の解明
	徳廣郁夫	工学部教授	建築学	建築一般被害の解明
	皆川洋一	工学部教授	建築学	学校建築被害の解明
	土田充義	工学部教授	建築学	文化財被害の解明
	下川悦郎	農学部教授	砂防工学	斜面崩壊の解明
	地頭薗隆	農学部助教授	砂防工学	斜面崩壊の解明
	石黒悦爾	農学部助教授	農業工学	リモートセンシング
	木下紀正	教育学部教授	物理学	リモートセンシング
	久留一郎	教育学部教授	臨床心理学	災害ストレスの解明
	松本 譲	法文学部教授	経営学	経済的損失の解明

震災の経過と被害概要

鹿児島大学理学部地球環境科学科　岩松　暉

1．地震の経過

3月26日17時31分紫尾山付近の北緯32.0度東経130.3度、深さ5～6kmを震源とするM6.2の地震が発生し、宮之城町・川内市・阿久根市などで震度5強を記録した（図1）。鹿児島市内でも震度4であった。発震機構はほぼ東西の左横ずれである。この直後の17時39分に発生したM5.3の余震をはじめとして、4月3日4時33分のM5.5、4月5日13時24分のM4.9、4月9日23時20分のM4.9などの余震が頻発した。これら一連の地震に対してマスコミでは鹿児島県北西部地震と呼称した。気象庁命名の正式名称ではないが、広く使われているので、本報告書でもこれを踏襲する。なお、地震断層は地表には出現しなかった。

それ以降は順調に減衰し安心していた矢先の5月13日14時38分、前回よりやや南を震源とするM6.3の地震が再び発生した。やはり東西性左横ずれであった。しかし、余震の分布は若干異常で、東西方向ばかりでなく、それとは共役の方向の分布も認められた。すなわち、南北性の右横ずれも観測された。それ故、この地震は前述の鹿児島県北西部地震とは性格が異なるので、第二鹿児島県北西部地震と称された。この時の震度は川内市で6弱、宮之城町で5強であった（図2）。なお、M4.9を超すような余震は観測されなかった。第一地震と同様、地表地震断層は出現していない。

以上の第一・第二鹿児島県北西部地震について、東大地震研究所大学院生がK-NETの地震波形から計算で求めた震度を図1・2に示す。また、大きな余震も含めて、鹿児島県震度情報ネットワークによる震度の一覧表を表1に示す（鹿児島県消防防災課による）。

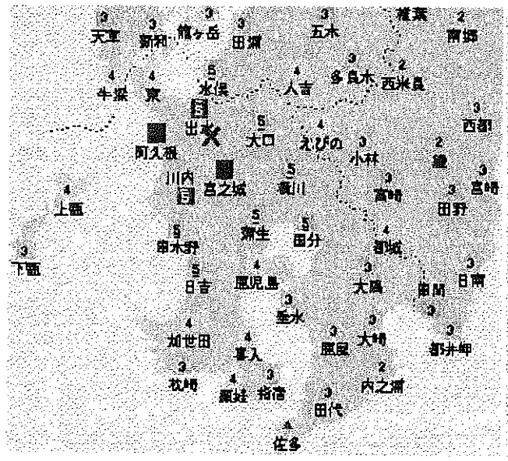


図1　第一地震震度分布図

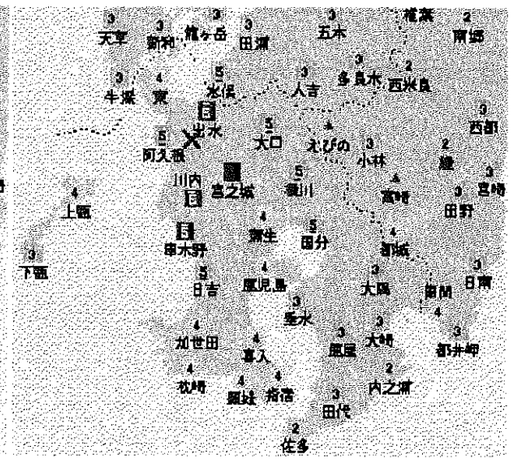


図2　第二地震震度分布図

（K-NETの地震波形から計算された震度で東大地震研究所院生の自主活動による）

表1　鹿児島県内市町村震度一覧

発生日時		3/26　17:31	4/3　04:33	4/5　13:24	4/9　23:20	5/13　14:38
ﾏｸﾞﾆﾁｭｰﾄﾞ		6.3	5.5	4.9	4.9	6.2
震度	6強	鶴田				鶴田
	6弱	東郷，阿久根	東郷			川内・東郷・祁答院
	5強	川内・宮之城・祁答院・樋脇・薩摩・菱刈	川内・高尾野	鶴田	鶴田	宮之城・樋脇・入来
	5弱	牧園・高尾野・金峰・加治木	阿久根・宮之城・野田・大口・入来・祁答院	川内・宮之城・薩摩・樋脇	樋脇・宮之城	阿久根・牧園・高尾野・金峰・市来・松元・吉松・大口・日吉・阿久根・横川・姶良・野田・栗野・菱刈
	4	枕崎・大口・隼人・鹿児島・東・知覧・上甑・松元・末吉・市来・東市来・財部・溝辺・郡山・霧島	隼人・金峰・長島・加治木・横川・国分・菱刈・大浦・郡山・市来・阿久根・薩摩・吉松	菱刈・川内・阿久根・入来・野田・祁答院・大口・東郷	川内・宮之城・吉松・東郷・入来・祁答院・野田・菱刈・薩摩・阿久根・大口・横川	鹿児島・枕崎・大口・隼人・伊集院・吹上・東・霧島・上甑・末吉・喜入・加世田・川辺・東市来・郡山・枕崎・加治木・鹿島・吉田・頴娃・開聞・大浦・溝辺・長島・財部

2．被害概要

その結果、家屋の倒壊、山崩れ・がけ崩れ、落石、液状化などの被害が多数発生し、被害総額は232億円にのぼった（表2，図3）。これによって79名の方々が重軽傷を負った（表4）。

先ず第一地震では、家屋の倒壊は鶴田町鶴田および宮之城町湯田・平川・泊野の余震域直上に集中している。5月の第二地震では、余震域がやや南にずれたため、これらの地域が再度被害を受けると共に、新たに鶴田町柏原や宮之城町中心街も被害を受けた。さらに、南北性余震域の延長に当たる川内市中心街にも被害が発生した。とくに学校など大型鉄筋コンクリート建築物の破壊が目立った。ブロック塀の倒壊もあったが、幸いにして宮城県沖地震のように下敷きになった人はいなかった。

山崩れもやはり余震域直上に集中した。とくに花崗岩分布地域の発生密度が高い。3月の地震で亀裂が入って緩んだところを、5月の地震で破壊されたり拡大したりしたところも多かった。梅雨期を控え、緩んだ斜面が大雨による崩壊の危険があるとして、宮之城町泊野地区、東郷町本俣地区では避

難勧告が出され、仮設住宅での長期にわたる避難生活を余儀なくされた。

落石は、主として節理の発達した四万十帯砂岩・花崗岩・溶結凝灰岩の分布域で多数発生している。道路の被害は、がけ崩れの崩土や落石によるものもあったが、切土と盛土の境界部における亀裂の発生や盛土の陥没によるものが多かった。そのため、国道328号や504号では長期の交通途絶が続いた。液状化は出水市・阿久根市・川内市など沿岸部の埋立地や沖積低地で発生している。

これら被害個所を5万分の1地質図上にプロットした「1997年鹿児島県北西部地震震災地質図」を別に刊行したので、詳しくはそちらを参照されたい。

さらに、交通途絶と共に、断水、停電などライフライン災害も発生して、被災者は不便な生活を強いられた。

一通り被害を概観したが、こうした被害の実態については本報告書で詳述されるから、これ以上立ち入らない。

3．被害統計

次に、経済的損失であるが、別項で詳しい実態調査の結果が報告されるであろうから、ここでも県消防防災課による被害統計を示すにとどめる（表2，図3）。土木関係の被害が目立つが、この中では道路被害と土砂災害の比重が大きい。また、今回の地震は郡部で発生したため、都市部と違って農林水産業の被害が大きいことも特徴である。第二地震では学校建築物の被害が特筆される。宮之城高校のように、コンクリート構造物が壊滅的打撃を受けた。

表2　被害金額

	第一地震	第二地震	合計
環境生活	640	33,740	34,380
保健福祉	203,299	88,667	291,966
商工労働	398,693	994,224	1,392,917
農業	1,068,286	1,390,674	2,458,960
山林	1,099,560	693,031	1,792,591
水産	995,500	44,380	1,039,880
土木	3,976,723	3,649,868	7,626,591
港湾	76,728	330,000	406,728
教育	1,012,733	7,139,619	8,152,352
その他	8,046	12,013	20,059
計	8,840,208	14,376,216	23,216,424

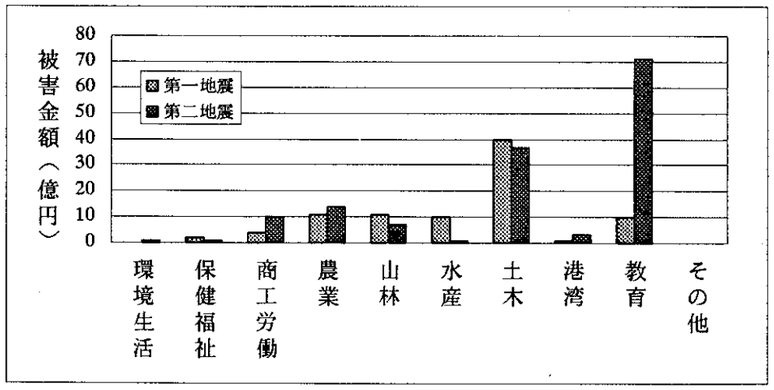


図3　被害統計

なお、1997 年には出水市針原川土石流災害と台風 19 号による災害もあったので、比較のためにあわせて以下に示す（図 4，表 3,4)。被害金額からすれば台風災害（288 億円）のほうが震災よりも多かった。これは、台風が奄美→種子島・屋久島→本土と全県を縦断したのに対し、震災は北薩地方に限定されていたためである。教育関係被害で震災が突出しているのは、学校のようなコンクリート構造物は通常の台風程度では被害を受けないのに対して、前述のように地震で破壊された例が多々あったからである。学校など公共建築物は避難所に使われるケースが多いので、静岡県のように学校建築は特別頑丈に造っておく必要があろう。

人的被害のうち死者が出たのは出水市針原川の土石流災害と台風時の田代町土石流災害が特筆される。このような土砂災害は局地的ではあるが、死者数が多いので十分な対策を講じておく必要がある。地震で死者が出なかったのは全くの僥倖に過ぎない。これが鹿児島市のような大都会であったり、落石など道路被害が交通頻繁なところで発生していたら、1 桁も 2 桁も大きい犠牲者が出ていたであろう。

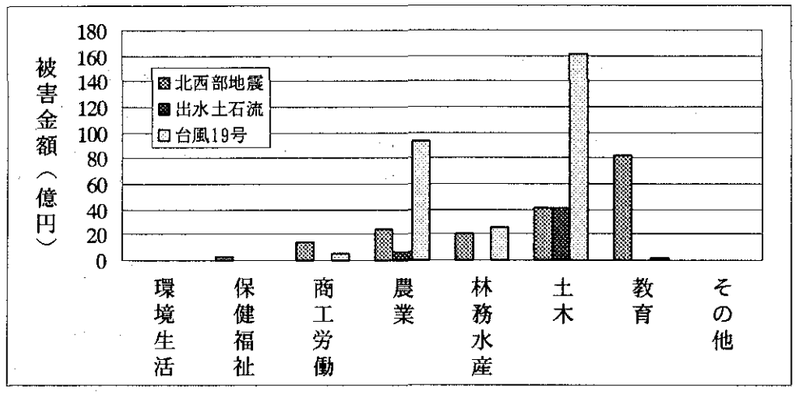


図 4　1997 年鹿児島県三大災害被害比較

表 3　建物被害

	北西部地震	出水土石流	台風19号
全壊	8	29	136
半壊	62	1	90
一部損壊	7328	2	1780
床上浸水	0	4	514
床下浸水	0	17	2682
計	7398	53	5202

表 4　人的被害

	北西部地震	出水土石流	台風19号
死者	0	21	5
重傷者	3	2	2
軽傷者	76	11	6
計	79	34	13

薩摩地方北部域における最大クラスの内陸地震活動

理学部地球環境科学科　角田寿喜・宮町宏樹
理学部附属南西島弧地震火山観測所　後藤和彦・八木原　寛・平野舟一郎
理学研究科地学専攻　福満修一郎・関谷　博・金子和弘・岩切一宏・清水　力

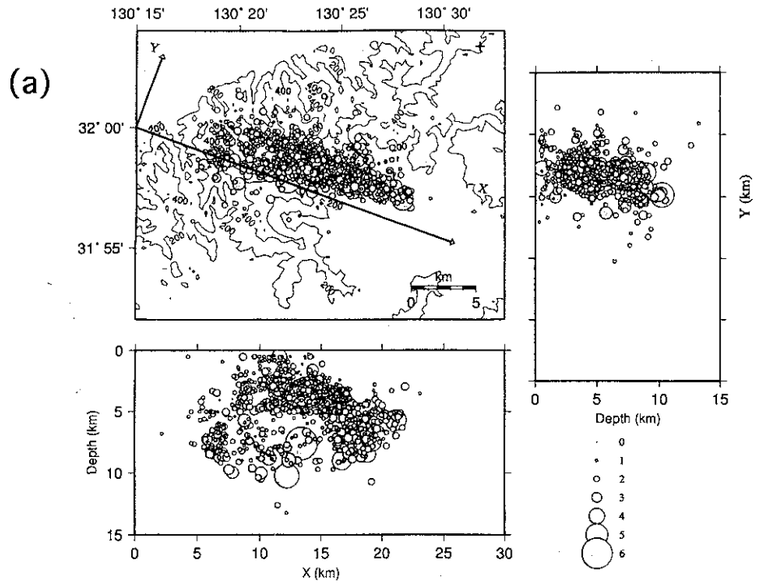
1．はじめに

1997年3月26日と5月13日，M6.3とM6.2の２つの地震が薩摩地方北部域に発生し，周辺市町村に大きな被害を引き起こした（その後，気象庁はM6.5およびM6.3と改訂しているが，ここでは当初の推定値を用いる）。今回の地震は，九州内陸部に発生した地震として，1914年1月12日桜島地震（M7.1）や1922年12月8日島原地震（M6.9）に次ぐ大きさのものであり，最大クラスに属する内陸地震であった。これまで，この地域には被害地震の経験は無く，住民は不意を打たれた感があった。しかし，震源域の北東約15kmの大口市西部には，1994年2月13日にM5.7の地震が起こっている。また，東方約40kmの加久藤カルデラ西部には，1968年2月21日えびの地震（M6.1）があり，今回の地震を含め，これらの震源域は，いずれも，九州南部域をほぼ東西に横断する浅発地震活動の線状配列上に位置し，左横ずれの構造運動が推定される領域にある［角田ほか（1995）］。したがって，薩摩地方北部域は，微小地震活動から見れば活動度の高い地域であり，発生した地震の規模やメカニズムは，結果としてはほぼ予想通りであった。ただし，最大クラスの地震が近接した位置で２つ続発した仕組みについては，依然謎のままである。

2．地震活動の概要

3月26日17時31分ごろ，紫尾山直下の深さ7kmを震源とするM6.3の地震によって，薩摩地方北部域は震度５強を越える激しい揺れに襲われた。ほとんど何の前触れも無く，震源域直上には，鹿児島大学理学部附属南西島弧地震火山観測所（NOEV）の微小地震観測点紫尾（SIBI）があるにも拘らず，顕著な前震活動も認められなかった。地震により，紫尾山系の風化した花こう岩が立木ごと崩れ落ち，緑の山が随所に白っぽい地肌を露出した。一帯に分布する四万十層群や火砕流堆積物を含め，崩れ落ちた大量の土砂と巨大な岩石が林道をずたずたに切り裂き，一般道路を寸断した。裏山が崩れ，押し潰された住家もあった。鹿児島県総務部消防防災課の調べによれば，宮之城町・阿久根市など４市５町で負傷者は31名，住家被害は周辺６町にも広がり，全壊4，半壊22，一部損壊2,184棟となった。間断なく続く余震が住民の不安を募らせた。

余震は，本震を中心としWNW-ESE方向に延びる長さ約17kmの帯状域にあって，平均して深さ2～10kmのほぼ垂直な面上に発生しており（図１a），WNW-ESE走向，大きさ17km×8kmの垂直左横ずれの震源断層が動いたと推定されている［角田ほか（1997b）］。当初の6時間30分で49個を数えた有感地震は，



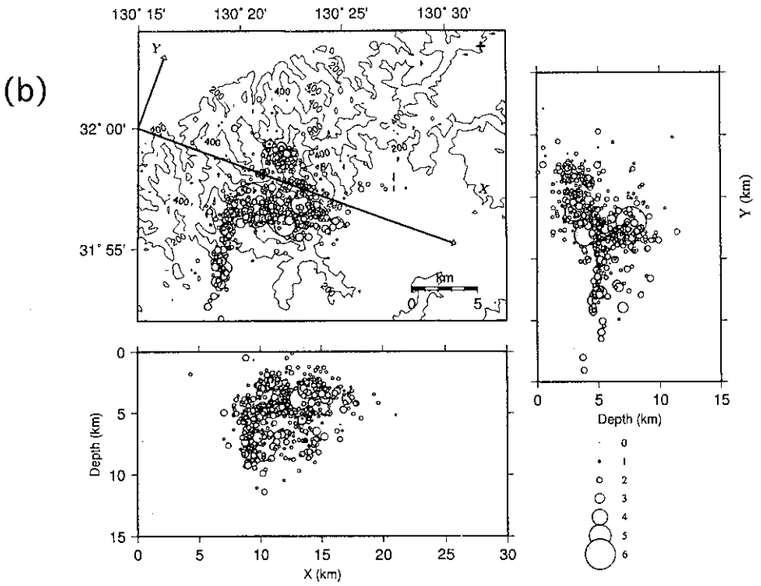


図1 （a）1997年3月26日17時31分のM6.3の地震と24時間以内に発生した余震の震央分布，
（b）1997年5月13日14時38分のM6.2の地震と24時間以内に発生した地震の震央分布。
それぞれの左下の図はWNW-ESE方向へ，右横の図はNNE-SSW方向への投影断面である。

27日には21個，28日15個，29日13個，30日8個と着実に減少し，31日は一時的に14個に増えたものの，4月1日は6個，2日には4個となった。3月27日から震度4以上の余震も起こっていなかった。4月3日4時33分，鎮静に向かって順調に推移しているように見えた状況は突如一転し，再び震度5強の地震（M5.5）が発生した。5名が重軽傷を負い，11棟の住家が半壊した。折からの豪雨も加わって山間部で崖崩れや落石が相次ぎ，道路が新たに寸断された。4日（M4.6），5日（M4.9），9日（M4.8とM4.6）と続いて発生した規模の大きな余震が被害を拡大し，住民を再び不安に陥れた。

しかしながら，大局的に見れば，本震－余震型の活動状況は変らず（図2），余震数は次第に減少して，有感地震数も4月21日以降は1日2個以下となった。また，4月25日0時50分の地震（M3.5）以来，震度3以上の地震は観測されなくなった。活動は落ち着き，M6.3の地震から1ヶ月半を経過して，鹿児島県災害警戒本部は解散され，復旧作業が本格化し始めた。余震は今後とも継続するものの，ほぼ予想通りの経過をたどる活動状況を考えると，被害を生じるような大きな地震はもう起こらないと思われた。

5月13日14時38分，一般的常識に基づく甘い期待を見事に裏切って，薩摩地方北部域では最大クラスと考えられるM6クラスの地震が再度発生した。紫尾山南西約6kmの深さ9kmに起こったM6.2の地震によって，川内市では震度6弱を記録し，負傷者37名，家屋全壊2，半壊9，一部損壊2,416棟等の被害を受けた。宮之城町では，虎居・屋地など，前に比べて南の地区で被害が増えた。余震発生数は再び3月末のレベルに戻り，震源域を異にして第2の本震－余震型の活動が始まった（図1，2）。幸い，その後はM4.0を越える大きな規模の余震は少なく，依然として継続する第1活動域の余震を含め，11月末現在まで4個しか起こっていない。そのうち，7月26日のM4.3を除く3個が第2活動域の余震である。

第2活動域では，余震はWNW-ESEとNNE-SSW走向の互いに直交する2つの列上に発生しているが（図1b），当初はWNW-ESE走向の列が圧倒的に優勢であった。本震を含め，6月30日までに発生した3個のM≧4.0の地震はすべてこの列上に起こっている。また福岡管区気象台（FMO）による有感地震（総数96個）を見ても，NNE-SSW列の地震18個に対し，WNW-ESE列では55個を数えている。しかし，7月に入ると，WNW-ESE列の活動は著しい衰えを示し，相対的にNNE-SSW列の活動が高まって，8月以降は関

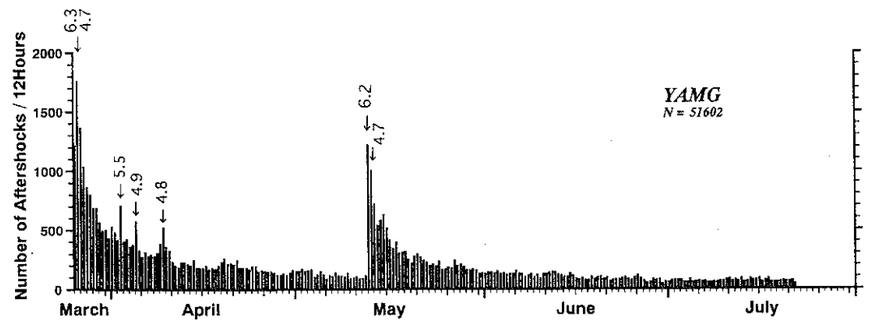


図2 山神観測点（YAMG）における12時間毎の余震回数。下向きの矢印で，規模の大きな地震（M≧4.5）の発生時を示している。現在の余震活動は，この状況を外挿した延長上にある。

係が完全に逆転する。8月21日18時00分のM3.3を最後に，WNW-ESE列にはM3.0以上の地震は起こらなくなり，9月には，M≧2.5の余震は激減して，もはや列として認識できなくなっている（図3）。

第2活動域に起こっている余震活動は，第1活動域に比べて減衰の速いのが特徴である。そのため，第2の地震の発生直後から，5月末までは第2活動域の余震が活発であるが，6月上旬には双方の活動レベルが拮抗している。また最近では，例えば，10月中に9個観測されたM≧3.0のうち7個が第1活動域の地震であったことに見るように，第1活動域の方が数倍優勢になっている。

3．九州南部を東西方向に横断する地震列

今回の地震は，宮崎市南東沖から西北西へ延び，霧島火山南東域で分岐して西方海域に抜ける地震列のうち，阿久根市方向へ続く分枝上に発生した活動である（図4）。この分枝の存在は，1991年の地震活動を調べて初めて分かったが［角田ほか（1992b）］，出水市方向への分枝が明らかにされた1990年の活動にも部分的に現れており［角田ほか（1992a）］，1984年10月から1986年7月にかけての期間には，FMOの震源データ［福岡管区気象台（1991，p.181-259）］でも分かるほど顕著な微小地震活動が起こっていた［福岡管区気象台（1991，p.78）の図参照］。

地震列の分岐点付近にあたる加久藤カルデラ周辺域は，1915年栗野群発地震（Mmax5.0），1961年吉松地震（M5.5），1968年えびの地震（M6.1）などの被害地震を含め，群発的地震活動がしばしば発生する地域であり，このような地震活動状況を踏まえ，鹿児島および宮崎両県は，地域防災計画を立てるにあたって，この地域にM6.5の地震を想定している［鹿児島県（1997），宮崎県（1997）］。それに対し，分岐点の東方には1911年2月18日の宮崎市東部地震（M5.6）と1935年7月3日の高岡町付近の地震（M4.6）が目につく程度であり，また西方ではM5クラスを越える地震は知られておらず，1994年2月13日の鹿児島県北部地震（M5.7）および今回の地震が，それぞれ，出水市方向および阿久

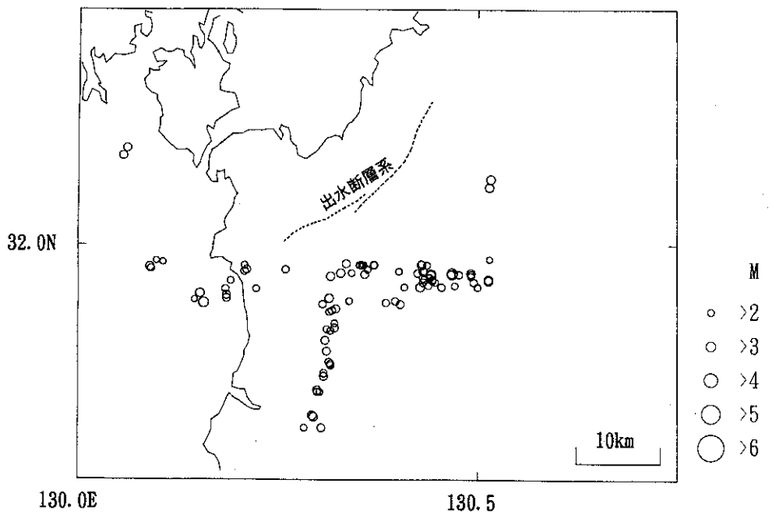


図3　薩摩地方北部域に発生したM≧2.5クラスの地震の震央分布（1997年9月）

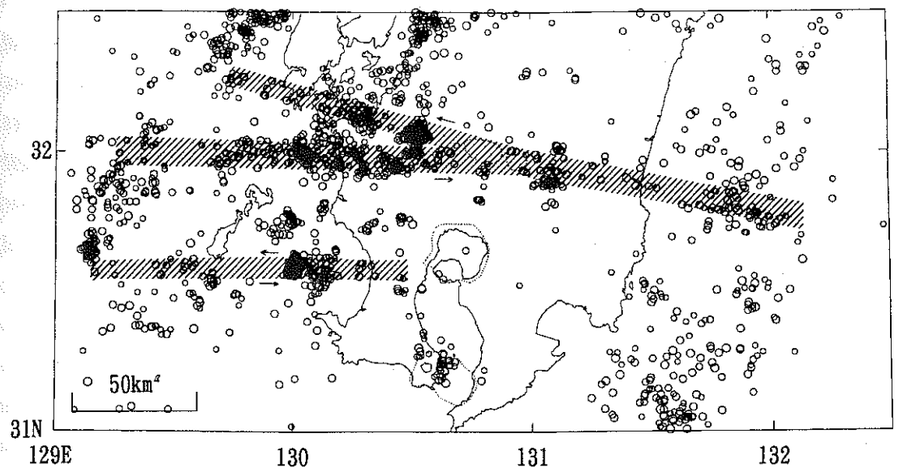


図4　九州南部域に発生した震源の浅い地震の震央分布（1989年6月～1994年12月）。斜線部に発生する地震は，左横ずれ型の発震機構を示すことが多く，矢印で示す左横ずれの構造運動が進行していると考えられる。点線で囲んだ領域はカルデラを表わす。

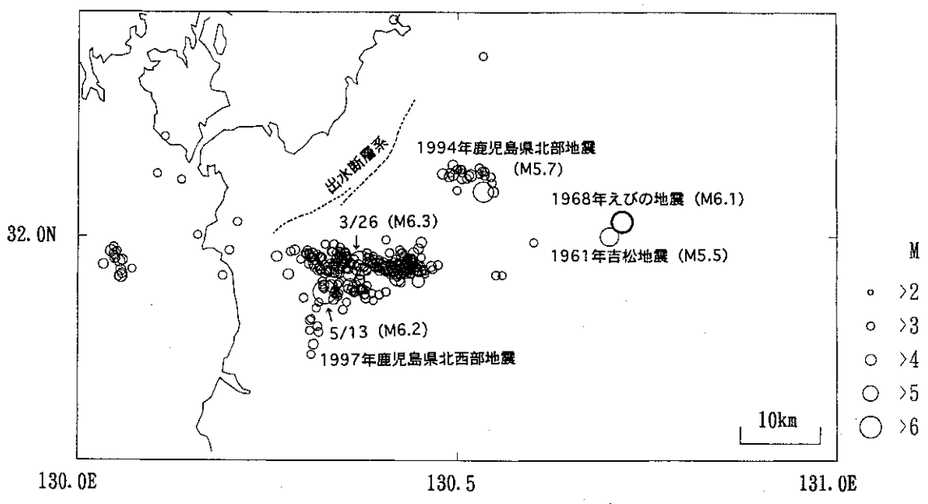


図5　薩摩地方北部域とその周辺部に発生した最近の被害地震（M＞5.0）およびM≧3.0の浅発地震の震央分布（1994年1月～1997年6月）。

根市方向に延びる列上に発生した史上初めての被害地震であった（図５）。

先にも述べたように，今回の地震に顕著な前震活動は認められなかったものの，1995年には，阿久根市を通り男女海盆へ続くE-W走向の地震列上において，群発地震活動が次々と西方へ移動する現象が見られている（図６）。すなわち，1994年2月13日の鹿児島県北部地震以来，領域ａには活発な余震活動が続いていたが，1995年1月末頃から領域ｂにおいてＭ２クラスの地震が起こり始め，3月6～8日にかけてM4.3を最大とする地震が群発した。6月初旬には，2月末からＭ２クラスの地震が散発的に発生していた領域ｃに小規模な群発活動が始まり，また領域ｄでは，4月下旬および5月下旬の小規模な活動を経て，6月18日のM4.2を最大とする群発活動が始まっている。領域ｂは1994年6月21日にもM3.5を含む地震が群発した活動度の高い領域であるが，破壊が領域ａに始まってｂ→ｃ→ｄと伝搬したことを示すような一連の活動は，地震列に沿った応力の局所的高まりを示す現象と考えられる。図５に見るように，領域ｂには，1997年3月26日にM6.3の地震が発生した後，20時15分にM4.3の地震が起こり，その後も比較的活発な地震活動が続いている。これらの活動は，図６に示した群発的地震活動域の移動と似た現象であり，紫尾山直下域に発生した横ずれの断層運動によって，この領域の局所的応力が高まったことを反映していると考えられる。

４．規模の大きな内陸地震の続発

3月26日の地震（M6.3）と5月13日の地震（M6.2）は僅か5kmほどの隔たりであったにも拘らず，地震観測網が充実していたため，それぞれに対応する震源および余震域の違いが明らかになった。しかし，観測網が1980年以前の状況ならば，このような分解能は無く，薩摩地方北部域に起こった２つのＭ６クラスの地震は，被害分布状況は若干異なるものの，同じ震源に発生した地震として認識されたであろう。

一般に，本震－余震型，あるいは前震－本震－余震型と呼ばれる活動では，際立った大きさの本震と呼ぶべき地震が１個発生し，その後は，大きな余震発生による活動の一時的な消長はあっても大局的減衰傾向は変化せず，余震の大きさも発生数も時間とともに次第に減少する。然るに，今回の活動では，紫尾山直下域の上部地殻において，まず，WNW-ESE走向の長さ約17kmの断層が左ずれを起こしてM6.3の地震が発生し，その１ヶ月半後に，僅か3kmほど隔たった位置のWNW-ESE走向の左ずれ断層とこれに共役なNNE-SSW走向の右ずれ断層がほぼ同時に動き，M6.2の地震が発生した。これほどの分解能はないものの，1975年阿蘇カルデラ北部地震では，M5.6の地震とその34時間後に起こったM6.0の震源は相対的に南東に約4km離れており，対応する余震域にも違いが認められる［三浪（1975）］。また，1961年吉松地震においては，第２の地震による被害箇所は相対的に1kmほど南にあって，東あるいは南東方向への震源移動が示唆されている［角田（1987）］。九州の内陸地震活動では，このように規模の大きな地震の続発する活動が1890年以降だけで11回も起こっている（表１）。この間，M≧5.0の被害地震は25回であるから［宇津（1990）］，その内の11回は５割に近い確率である。

空間的にも今回の地震に近く，発震機構や余震発生状況も似た1968年えびの地震では，2月21日8時51分（M5.7）と10時44分（M6.1），および3月25日0時58分（M5.7）の震央が同じである。ただし，被害分布には若干の違いがあり，2月21日の地震による被害域がえびの町真幸地区であったのに対し，

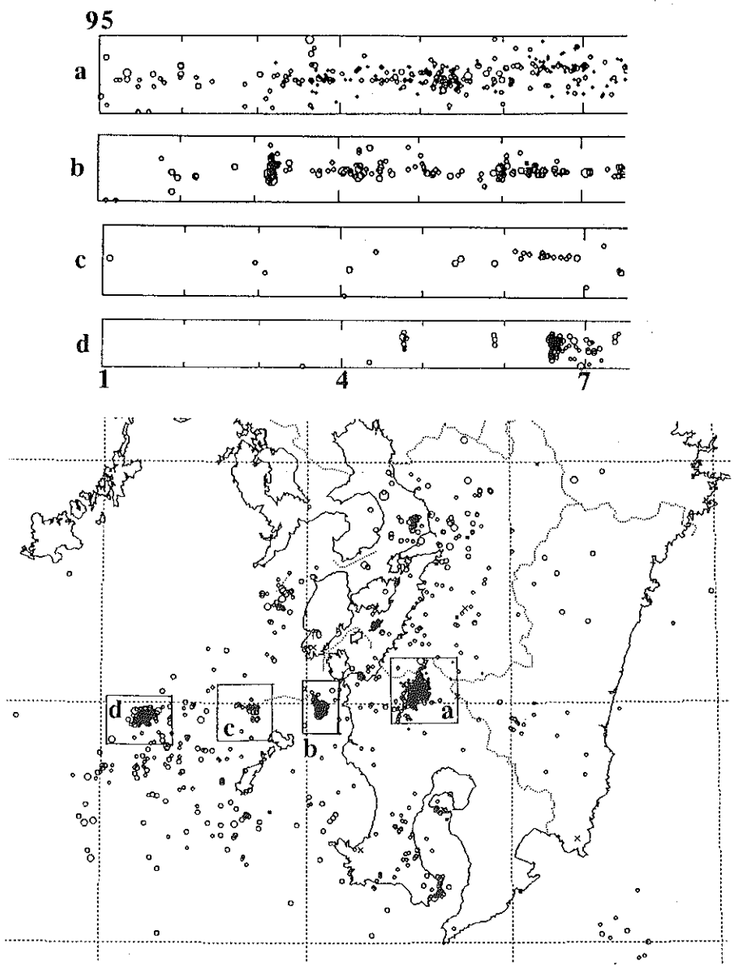


図６　九州南部域をほぼ東西に横断する地震列に沿って発生した群発的地震活動の震源移動。

下図には，南西島弧地震火山観測所によって1995年1月初めから7月中旬までに観測された震源の浅い地震の震央と４つの群発的活動域を示し，上図には，横軸に時間をとって，領域毎の地震発生状況を表わす（縦軸は緯度）。領域ａは1994年2月13日鹿児島県北部地震（M5.7）の余震域であるが，領域ｂの地震は，1995年1月下旬に始まり，3月上旬のやや集中的活動を経て，4月初めからほぼ連続的に発生している。また，領域ｃでは6月上旬から，領域ｄでは6月中旬から活動が高まっている。

3月25日の被害域は，それまで被害の少なかった加久藤・飯野地区に拡大している［宮崎県（1969，p. 59-63）］。被害分布の違いは震源位置の違いを反映していると考えられるが，表１に示した活動でも，震源は同じとされながら被害域は異なる場合が多く，1893年と1894年の知覧地震［今村（1920，

表１　規模の大きな内陸地震の続発（1890年以降，M≧5.0）

発生日時	M	緯度（N）	経度（E）	震源域
1893 Sep. 7 02h40m	5.3	31.4°	130.5° 1)	鹿児島県南部（知覧地震）
1894 Jan. 4 22h09m	6.3	31.4°	130.5°	鹿児島県南部（知覧地震）
1894 Aug. 8 23h19m	6.3	32.8°	131.0° 1)	熊本県東部（阿蘇地震）
1895 Aug. 27 22h42m	6.3	32.8°	131.0°	熊本県東部（阿蘇地震）
1898 Aug. 10 21h57m	6.0	33.6°	130.2° 1)	福岡県西部（糸島地震）
Aug. 12 08h36m	5.8	33.6°	130.2°	福岡県西部（糸島地震）
1913 June 29 17h23m	5.7	31.6°	130.3° 1)	薩摩半島西方（日置地震）
June 30 16h45m	5.9	31.6°	130.3°	薩摩半島西方（日置地震）
1922 Dec. 8 01h50m	6.9	32.7°	130.1° 1)	橘湾（島原地震）
Dec. 8 11h02m	6.5	32.7°	130.1°	橘湾（島原地震）
1929 Aug. 8 22h33m	5.1	33.6°	130.3° 1)	福岡県西部
1930 Feb. 5 22h28m	5.0	33.5°	130.2°	福岡県西部
1931 Dec. 21 14h47m	5.5	32.5°	130.5° 1)	八代海北部
Dec. 22 22h08m	5.6	32.6°	130.6°	八代海北部
Dec. 26 10h42m	5.9	32.6°	130.6°	八代海北部
1961 Mar. 16 07h16m	5.5	32° 00′	130° 42′ 2)	鹿児島県北部（吉松地震）
Mar. 18 15h22m	5.5	31° 59′	130° 44′	鹿児島県北部（吉松地震）
1968 Feb. 21 08h51m	5.7	32° 01′	130° 43′ 2)	宮崎県西部（えびの地震）
Feb. 21 10h44m	6.1	32° 01′	130° 43′	宮崎県西部（えびの地震）
Feb. 22 19h19m	5.6	32° 00′	130° 46′	宮崎県西部（えびの地震）
Mar. 25 00h58m	5.7	32° 01′	130° 43′	宮崎県西部（えびの地震）
Mar. 25 01h21m	5.4	31° 59′	130° 44′	宮崎県西部（えびの地震）
1975 Jan. 22 13h40m	5.6	33° 02.4′	130° 06.7′ 3)	阿蘇カルデラ北東部
Jan. 23 23h19m	6.0	33° 00.8′	130° 08.4′	阿蘇カルデラ北東部
1997 Mar. 26 17h31m	6.3	31° 58.2′	130° 22.3′ 4)	薩摩地方北部
Apr. 3 04h33m	5.5	31° 57.9′	130° 20.1′	薩摩地方北部
May 13 14h38m	6.2	31° 56.3′	130° 19.5′	薩摩地方北部

震央位置：1）宇津（1990），2）地震月報，3）三浪（1975）・表ほか（1975），
4）角田ほか（1997）

p.49），震災予防調査会（1895）］，1894年と1895年の阿蘇地震［今村（1920，p.17-18）］，1898年糸島地震［伊木（1899），大森（1899）］，1922年島原地震［大森（1925）］，および1931年八代海北部地震［宇佐美（1996，p.266）］と大半を占める。したがって，九州内陸部においては，今回の地震に見られた現象は特異なものではなく，同様のことがこれまで何度も起こった可能性がある。

今回のＭ６クラスの地震を引き起こした震源断層の動きは，ともに，NE-SW方向の圧縮軸とNW-SE方向の張力軸を有する九州南部域の広域応力場によって説明できる［角田ほか（1997b）］。ただし，近接した位置でＭ６クラスの地震が続発する仕組みを“広域場において生じた応力が局所的に集中して歪みが進行し，大規模な破壊に至る”という地震発生モデルで理解することは容易ではない。1968年えびの地震における2月21日の２つの地震や1975年阿蘇カルデラ北部地震におけるように，最初にＭ５クラスの地震が起こり，次いでＭ６クラスの地震が発生する場合は，上部地殻の不均質によって，まず相対的に固着度の弱い箇所が破壊し，やがて強く固着した部分も破壊するということで説明できよう。断層運動の延長部にある隣接域で規模の大きな地震が続発する場合も，最初の破壊による局所的応力（Coulomb stress）の高まり［橋本（1995）］，あるいは断層面上のバリヤー（barrier）を越えて進行した破壊として理解できる。また，局所的な応力の高まりや広域応力場を考慮すれば，共役関係にあるNNE-SSW走向の断層運動は起こりうる。しかし，長さ17kmの左横ずれ断層が50～90cmほど変位してM6.3の地震を起こしたのに［角田ほか（1997b）］，僅か3kmほど離れた位置のほぼ平行な左横ずれ断層は固着し続け，１ヶ月半後に歪みが解放されてM6.2の地震を起こす仕組みは，どのようなものであろうか。力学的に考えて，ごく近傍にある固着したWNW-ESE走向の断層を新たに動かすより，最初に固着状態の解けた断層を動かす方が消費エネルギーは少なくて済むはずである。当然，広域応力場のもとでの下部地殻の流動や上部地殻の不均質は存在するであろうが，これらを考慮するとしても，力学的に起こりにくい現象を発生させるのはやはり難しい。

表２に見るように，周辺海域でも規模の大きな地震が続発することが多く，日向灘に発生したＭ≧6.5の地震について見れば，1899年以後，10回の活動中６回で続発している。時間間隔は十数分から２年７ヶ月にわたるが，海域の地震は規模が大きいだけに精度は別として位置関係が分かり，これら続発する地震間で同じ震源とされたものは１つも無い。最近の例で見れば，1996年の２つの日向灘地震は，ともにプレート境界に発生した低角逆断層のメカニズムの地震であるが［九州大学理学部（1997）］，12月3日の地震は10月19日の地震に対して陸側に位置し震源も相対的に深くなっている。したがって，沈み込むプレートの境界に沿った領域の上半分がまず破壊し，そのために高まった局所的応力も加わって，下半分が壊れたと考えられる。さらに，海洋プレート内の高角正断層が推定されている1995年奄美近海地震では，第２の地震の震源域は第１地震の北西に隣接する位置にあって［福留ほか（1997），角田ほか（1997a）］，プレートに関して同一走向にあり，１つの領域で同一メカニズムによる破壊が２回に分けて発生したのであろう。いずれも，断層面上のバリヤーを越えて進行した破壊として理解できそうである。ただし，1984年と1987年の日向灘地震のように，震源域が大きく隔たった活動については，広域にわたる応力の高まりが必要である。

地震の続発活動が多いことは，九州とその周辺域の海洋プレートおよび上部地殻の不均質度が高く，大きな歪みエネルギーを蓄積するだけの強度がないことの反映である。１ヶ月以上，あるいは１年以

表２　九州周辺海域に発生した規模の大きな地震の続発（1890年以降，M≧6.5）

日向灘海域

発生日時	M	緯度（N）	経度（E）	震源域
1899 Nov. 25 03h43m	7.1	31.9°	132.0° [1]	日向灘中部
Nov. 25 03h55m	6.9	32.7°	132.3°	日向灘北部
1929 May 22 01h35m	6.9	31.7°	132.1° [1]	日向灘南部
1931 Nov. 2 19h03m	7.1	32.3°	132.6°	日向灘中部
1937 Jan. 6 06h38m	6.5	31.5°	132.5° [2]	日向灘南部
1939 Mar. 20 12h22m	6.5	32.3°	132.0° [1]	日向灘中部
1941 Nov. 19 01h46m	7.2	32.6°	132.1°	日向灘北部
1968 Apr. 1 09h42m	7.5	32° 17′	132° 32′ [2]	日向灘北部
1969 Apr. 21 16h19m	6.5	32° 09′	132° 07′	日向灘中部
1970 July 26 07h41m	6.7	32° 04′	132° 02′	日向灘中部
1984 Aug. 7 04h06m	7.1	32° 22.8′	132° 09.3′ [3]	日向灘北部
1987 Mar. 18 23h07m	6.6	31° 58.2′	132° 03.8′	日向灘中部
1996 Oct. 19 23h44m	6.6	31° 48.3′	132° 00.8′ [4]	日向灘中部
Dec. 3 07h17m	6.6	31° 46.7′	131° 38.4′	日向灘中部

奄美大島近海

発生日時	M	緯度（N）	経度（E）	震源域
1995 Oct. 18 19h37m	6.6	28° 02.6′	130° 20.2′ [5]	喜界島南東海域
Oct. 19 11h41m	6.5	28° 11.2′	130° 13.3′	喜界島南東海域

震央位置：1）宇津（1990），　2）福岡管区気象台（1971），　3）地震月報，
4）福岡震源リスト，　5）角田ほか（1997a）

上も経ってから起こる地震は，活動が終息傾向を示しているだけに油断を生みやすく，そのために被害を拡大し，住民の不安を増大させることになりがちである。災害に対処する地方自治体としても，警戒体制をいつ解除し，本格化的な復旧作業をいつから開始すべきか，見通しも立てられない。一方，領域が１度に破壊せず波動エネルギーを数回に分けて放出する地震活動は，引き起こされる地震災害の大きさが抑制され，むしろ歓迎すべきことかもしれない。

5．むすび

余震活動は依然として継続しているものの，現在の発生状況を見れば，同じ震源域に３度目の大きな地震が発生することはほとんどないと考えられる。ただし，微小地震活動を見ると，震源域の東部域では8月から比較的規模の大きな余震（Ｍ３クラス）が起こるようになり，また7月中旬から下旬にかけて鹿児島市西方の海岸付近にM3.2を最大とする群発地震が発生している。出水断層とWNW-ESE走向の地震列が交差する部分が微小地震空白域になっていることも不気味である。したがって，周辺域の応力は高まっている可能性があり，Ｍ６クラスの地震が発生しても不思議ではない状況にある。上記の地域はいずれも規模の大きな地震は知られていない地域であるが，九州内陸部の上部地殻に発生する被害地震は，いくつかの活動度の高い地域を除けば，これまで被災経験の無い地域に起こっている。同じところで大地震が繰り返す時間間隔は一般に数千年以上であるから，住民に経験が無いのは当然とも言える。多くがＭ６クラスであるため，今回の地震のように，活断層の有無にもほとんど無関係である。今のところ，次の内陸地震がどこに発生するかは分からないが，それだけに，いつ自分の足元が襲われても，大きな被害を受けないような最低限の備えをしておくことが不可欠であろう。

謝　辞

今回の地震活動の観測研究にあたり，（財）鹿児島県建設技術センターより，奨学寄付金を受けた。被害に関する資料は，鹿児島県総務部消防防災課より提供していただいた。また，活動概況については，福岡管区気象台による「福岡震源リスト・管内地震活動概況」を参考にした。

関係者各位に厚く謝意を表します。

文　献

福岡管区気象台：九州地方の地震活動（1984年～1990年）－テレメータシステム整備後の地震資料－，福岡管区気象台要報，46，1991.

福岡管区気象台：1970年7月26日「宮崎県沖の地震」の調査報告，験震時報，36，77-84，1971.

福留篤男・中辻　剛・白坂光行：1995年10月18日，19日の奄美大島近海の地震（M6.6，M6.5）の前震および余震活動について，地学雑誌，106，465-475，1997.

橋本　学：兵庫県南部地震に伴う応力変化：断層モデルによるクーロン破壊関数の変化の計算と地震活動の変化との比較，地震２輯，48，521-530，1995.

伊木常誠：福岡地震調査報告，震災予防調査会報告，29，5-10，1899.

今村明恒：九州地震帯，震災予防調査会報告，92，1-94，1920.

角田寿喜：1961年「吉松地震」について，鹿児島県の地震と火山，17，145-155，1987.
角田寿喜・宮町宏樹・久保田裕史・高木章雄：九州の内陸地震，地震２輯，45，229-237，1992a.
角田寿喜・内田　敬・宮町宏樹・後藤和彦・石原和彦：九州南部の地震活動（1991年），地震学会講演予稿集，2，75，1992b.
角田寿喜・後藤和彦・宮町宏樹・平野舟一郎・石原和彦：地震活動からみた九州南部-南西諸島域のテクトニクス，月刊地球，17，414-418，1995.
角田寿喜・後藤和彦・宮町宏樹・平野舟一郎・清水　力・岩切一宏・中辻　剛・立山清二：1995年奄美大島近海地震－活動と被害の概況－，地学雑誌，106，476-485，1997a.
角田寿喜・宮町宏樹・後藤和彦・八木原　寛・平野舟一郎・福満修一郎・関谷　博・金子和弘・岩切一宏・清水　力：地震活動の特徴，1997年鹿児島県北西部地震被害調査報告書－速報版－，鹿大県北西部地震被害調査研究会・（財）鹿児島県建設技術センター，1-12，1997b.
鹿児島県：地震被害予測調査の概要，1997b.
九州大学理学部：九州中・北部の地震活動（1996年5月～10月），地震予知連絡会会報，57，601-609，1997.
三浪俊夫：1975年1月の阿蘇カルデラ北部に発生した地震の震源分布について，文部省科研費自然災害特別研究　1975年阿蘇群発地震の活動と被害に関する調査研究報告書，11-20，1975.
宮崎県：えびの地震の記録，1969.
宮崎県：宮崎県地震被害想定調査，1997.
大森房吉：東京に於ける福岡地震餘波の観測，震災予防調査会報告，29，11-16，1925.
大森房吉：島原地震に関する調査輯録，震災予防調査会報告，99，1-11，1925.
表　俊一郎・三宅昭春・松村和雄・小畑益彦・堤　和敏・鶴　則生：1975年1月阿蘇カルデラ北東部地震による建物被害調査，文部省科研費自然災害特別研究　1975年阿蘇群発地震の活動と被害に関する調査研究報告書，57-67，1975.
震災予防調査会：地震其他地異彙報，震災予防調査会報告，2，166-184，1895
宇佐美龍夫：日本被害地震総覧（増補改訂版416-1995），東大出版会，1996.
宇津徳治：世界の被害地震の表（古代から1989年まで），1990.

鹿児島県北西部地震域周辺の地殻活動の特徴

理学部地球環境科学科　田　中　　穣
理学研究科地学専攻　愛　甲　華　子
〃　黒　沢　知　也*

まとめ

鹿児島周辺における地形不安定箇所は，鹿児島地溝に沿った内陸部周辺の地形ジオイド起伏調査が必要であるが，短波長ジオイド起伏調査等からは，桜島西縁断層付近，都城付近，等が指摘される．

内陸都市直下型地震と火山噴火の予測からも，最近，桜島が隆起に転じたので，桜島西縁断層付近の精密調査が必要で，精密水準，GPS，重力の繰り返し測量を実施し，診断することが重要である．

1　はじめに

九州での地殻変動は中央部で体積歪が大きくなり，膨らみ，その周りの圧縮軸の方向の東西でせん断歪が若干大きくなり，それを大きく発達させないように，地震発生で解消するという特色を有する（田中，1994）．潜り込むプレートの深さ約１００ｋｍ以深付近での部分溶融を生ずるその真上には火山フロントが走っており，霧島と桜島等の火山が発達している．直下の深いところでは，プレートが断裂し，大カルデラが発達する（長宗・田代(1989)，角田・他(1991)）と報告されている．

地殻表層の出水ないし阿久根～霧島～宮崎南部青島を通るテクトニック線は，地形的にも，明瞭な左横ずれが見られる．川内ないし串木野～（八重山付近）～桜島～（高隈山付近）～志布志湾南部を通る線でも，高隈～国見岳間では地質的にみて左横ずれが見られる．

ほぼ東西の構造線とは別に，九州南部の中央部では鹿児島湾があり，その南北方向で，鹿児島地溝が発達し，北部の内陸の霧島北部の加久藤カルデラや小林カルデラ付近にまで及んでいる．鹿児島地溝の桜島を中心とした姶良カルデラでは，最近の地殻変動速度から求められるカルデラ外壁の成長は実際の地形変動とオーダーで調和的となることが，ＧＰＳによるジオイド変動測量からも明らかにされた（田中・他(1995)，田中(1997)）．

桜島の最近の変動は，1993年７～10月の間にそれまでの沈降フェイズから隆起フェイズに変わった．この臨界遷移時期は，我々の鹿児島大学理学部～桜島湯ノ平間のレーザー測距の距離変動からその時点で既に明らかにされ（田中・他（1993），最勝寺・他（1994）），その後の活動が見守られている（田中・他(1996)）．桜島を含めた姶良カルデラの地殻隆起の変動が著しいときには西は串木野・川内付近から東は都城～志布志の辺にまで約３倍の大きさでその影響を与えている（田中(1993)）．隆起初期段階では，その周辺部が最初に活動化する傾向があり，水準測量により明瞭に桜島の隆起が検出され（江頭，1997）たので，ジオイド起伏調査から推定した地形不安定地域と地殻変動異常地域

現在，株式会社　パスコ，〒153　目黒区東山1-1-2，東山ビル5F

について鹿児島県北西部地震発生地域も含めて報告する．

2　最近の巨大地震発生と九州の地殻活動

最近の巨大地震の発生は，1990年５月12日にサハリン中部で深発大地震(M7.8，深さ594km）が発生し，数年後には震発地震面の浅い方での地震発生が1992-3年頃（Tanaka and Gomi(1989)）と約19年変動から想定された．想定された釧路沖地震（M7.8，1993.1.15）は，場所，大きさ，時は決定されたが，発震機構は，深さ100kmで想定したタイプと著しく異なっていた．このため事前防災はまだ研究段階であることが事実として突き付けられた．一方，1993年７月12日には，北海道南西沖地震（M7.8）が発生したが，これまでは，最近では１０年毎に巨大地震が生しており，二つ同時の巨大地震はこれまで例がなく全くの予想外であった．この結果，日本列島に押し寄せるプレート運動の影響は想像を越えて大きいことが解った．このため，南関東・東南海・南海の巨大地震の前に発生する内陸地震のフェイズに入ったと仮定し，日向灘でM7クラスの地震が発生すれば，このフェイズに確かに入ったと見て良いと地殻変動シンポジウム（京大防災研1994．2)で講演した．確かに約２ヶ月後，多少の津波を伴う日向灘地震（1994.4.30，M6.6）が発生したが，この地震は想定地震より若干小いさすぎるようであった．その後，1994.10.4北海道東方沖M8.1，1994.12.28三陸はるか沖M7.5が発生した．北海道・東北での４つの巨大地震発生は全く前例がないことから，この地域のエネルギーはこれで解放されたと思われ，日本列島には想像を越えた歪力がかかっていることが判明し，これで相模～南海トラフ沿いの巨大地震前の内陸地震周期に入ったことが明瞭に示された．このため，内陸地震モデルを緊急に作成することが要請され，調査中のところ，これまでの九州から始まるとの予測に反して，1995.1.17阪神・淡路大震災M7.2が発生した．自然の反応速度の方が予測時期より早く，内陸地震フェイズに既に入っていたことが確認された．第１表は，茂木（1982）の東南海・南海地震前の内陸地震フェイズを参考に東北・北海道（太平洋プレートの影響）と九州（フィリッピン海プレートの西北部での影響）との地震発生の関連性を調べたもので，九州南部に最近は異常に地震が多く，関連性が高いことが理解されよう．日本周辺の地震活動（M7.5以上，（　）は参考値）と九州地方の地震活（M6.9以上，（　）は参考値）を示し，データは理科年表の日本付近の被害地震年代表の1891年以降を使用した．東北・北海道でM7.5以上の地震が発生すると九州，特に豊後水道～日向灘で数年以内にM6.5～7.5の地震発生する傾向がある．トラフ沿いの地震活動では，主に，火山活動が活発化する傾向がある．1997年3月26日と同５月13日に発生した鹿児島県北西部地震（M6.3,6.2)は，巨大地震の前に周辺部で内陸地震を発生するという茂木説に従って発生したのかどうか注目している．

3　九州南部における地殻活動の特性

（1）高角・薄板プレートによる九州南部地方の地震活動

南九州は地形学的にはフイリッピン海プレート（PHS）の西北端にあり，100～150年，平均120年（Rikitake，1982）で巨大地震を引き起こす南海トラフの南西端にある．

この地域では，沈み込むプレートは以下の特色をもっている，（1）高角・薄板沈み込みプレー（2）大地震は最大でM≦7.5～7.6（3）二重深発地震面が見えない．約150～170ｋｍで深発地震面は消失する（4）九州の潜り込みプレートは北部，中部，南部等に断裂しているらしい（5）やや深発地震は図上で火山フロントと対応している．

九州東部におけるPHSプレートの３断裂潜り込みプレート（長宗・田代（1989））の結果に従って，伊予灘～日向灘付近の被害地震を檀原の地震規模ー地殻変動域を示す関係式を用いて巨大地震のあった1361年以後，1498年以後，1605年以後，1703年以後，1854年以後，1944年以後，に分けプロットし調査したところ，1909年宮崎県西部地震（M7.6，ｄ＝150ｋｍ）の深い地震はその影響が1914年の桜島大変動や1922年の島原地震（M6.9，6.5）にも見られそうでもあり興味が持たれる．また南海トラフ沿いのそれぞれの巨大地震の間に九州の３断裂プレート域で発生したM≧7.5の被害地震の変遷とそれをまとめた1498年以降の日向灘周辺のM≧7.5の被害地震を図１と図２に示す．図２をよく見ると南海トラフでの巨大地震を挟んで３断裂プレートの北部と中部で交互に地震が発生し（1854年以降のみ二つ発生している），最近は中部で発生していないことがわかる．そこで最大で1662年型と想定した地震空白域と思われる地域を示す．深さは約50km（気象庁データから類推），高角の正ないしは逆断層型になると想定している．図中に，日向灘沖に卵形（点線）の-100mgalのフリーエア異常も併せて示した．この重力異常を壊すように地震が発生している．この地震クラスだと蓄積エネルギーは過去の例から2040～50年頃より少し前に高レベルに達する．図３に1944年以降の九州地方の地震活動を示す．丸印の大きさは檀原の地震規模ー地殻変動の式でプロットした．

（2）高角・薄板プレートによる 九州南部地方の地殻上下変動

地殻の上下変動の検出は，最近では，ほぼ10年周期で全国の定期的な一等水準点の改測によって国土地理院によって実施されている．熊本水準点No.1873を基準にした1889-1901～1987-1989年の約100年間における九州地方の上下変動の結果（高濱（1993）の結果を再計算し，コンターを引き直した）は，図４に示す．相対的な傾向として中央部の南西～北東に伸びる長楕円の隆起と北西側の沈降と姶良カルデラの沈降がみられる．九州北部では，筑前～佐賀～長崎の沿岸で沈降，別府～諫早のラインから北西側は形動的に沈降している．筑紫地区では地盤沈下がみられる．九州中央部では八代～水俣南部周付近の沿岸で沈下が見られるが熊本付近から阿蘇山にかけて隆起が見られる．九州南部では，姶良カルデラの影響は日南市～川内市付近にまで及んでいる．日南～都井岬～鹿屋付近の変動は沈降プレートの影響がみられる．全体として中央部隆起，沿岸部沈降で上下変動は東北，関東・東海ほど大きくはない．約100年間の上下変動は第４紀の変動に近い．

今回の地震は，1914年の桜島大噴火の影響によると思われる川内付近での約9cmの上下変動のギャップとその以北に向かって数cmの相対的隆起が検出され，付近の弱構造地域で歪解消の変動が生じたことが推定される．

（3）高角・薄板プレートによる 九州南部地方の地殻水平変動

九州地方の地殻水平変動は国土地理院による明治時代に実施された，一，二等三角測量結果と最近のレーザー測距による結果との差で示される（国土地理院，1993）．1989～91ー1891～3の100年間の九州地方の地殻水平歪の最大せん断歪（図5）は，南関東などと比べると極めて小さいのが特徴である．これは九州地方の地震の蓄積エネルギー（田中，1993）を見ても一桁小さいことから至極当然のことと思われる．しかし，それでも周辺に比べてやや大きいと思われる地域は，別府～島原地溝帯周

辺，延岡～水俣市構造線周辺，宮崎市周辺，桜島周辺域である．火山地帯で大きいのが特徴である．最近１０年間（1989～91-1981～2）の水平最大せん断歪（図6）はレーザー測距値だけの比較であり高精度であるが，阿蘇周辺から水俣と延岡から桜島周辺の線上でやや大きいところが見られる．一方，面積変化率では，100年間でやや大きいところ（図7）が雲仙周辺，熊本市周辺，大分市北西部の別府～島原地溝帯と宮崎市周辺，開聞～桜島周辺に見られる．別府～島原地溝帯では南北の伸張歪が著しいが量は小さい．九州北部の変動は極めて小さくむしろ変動は無いことを示している．最近10年間（同上）の面積変化率（図8）は延岡～水俣市に至る構造線周辺でやや大きく，宮崎市から桜島周辺にかけてもやや大きいが宮崎市周辺では面積収縮変化が見られる．九州地方はこの10年間概して大きな変動は内陸部にはなかったといってもおかしくない程度の変動量であった．また，100年間でも火山の影響と九州北部の炭坑・地盤沈下域を除いてみると殆ど誤差内の変動であり概して大きいものではないことを示している．最近の約10年間の活動テクトニックスの例として地殻変動の結果を九州パラオリッジの方向で断面で示したものが図9である．隆起域では面積膨張が見られ，その周辺部でせん断歪がやや大きくなっているのがわかる．地球時間で温めたおもちの膨らんだ例にたとえるとまず中央部で隆起し周辺でせん断歪が大きくなり割れるらしい（おもちは人為的に急激に膨れるため中央部で割れる）．更に進行し火山噴火に近くなるような局所場ではテクトニックな応力場が働くと中央部で開口割れ目噴火になることがおもちの例から容易に想像される．今回の鹿児島県北西部地震は，北西-南東の圧縮場の中で，せん断歪と面積歪ともに大きくはなかったが豊後南部～出水山地にかけた隆起軸の南西側の端で姶良カルデラの活動域から若干離れた端の合間で発生したことになる．

4　鹿児島県北西部地震域とその周辺の地殻変動

今回の地震活動の特徴については，本報告の角田・他（1997）にあるので，ここでは，地殻変動の方から検討してみる．

これまで九州では地震発生エネルギーが高まっており，内陸地震周期に入っており，南九州から活動は活発化する傾向があったが，今回は阪神地方から始まっている．南九州では，下記の

（1）宮崎-青島から出水-阿久根付近の線上では潜在左横ずれ断層がみられ，地震がこの線上で概ね発生している．霧島火山域から西部では地震列は二つに分岐する（角田・他(1997)の図２参照）．

（2）今回の地震はその南側で二つ発生した（同，図３参照）．垂直左横ずれで深さは10kmであった．

（3）地震域は九州南部活動域の北西縁に位置する．面積歪の若干卓越する北東-南西軸の南部，せん断歪の若干卓越する延長線上の北西端で地震は発生した．

（4）ジオイド起伏の膨らみモデルから考えると，地球ポテンシアルを一定に保つため，膨らみを一定以上大きくさせないように，その周りでせん断歪が大きくなり壊れる（地震が発生する）．

が指摘された．

南九州北部の地震発生の空間的移動は，茂木(1997)により指摘された（図10）．この結果では，この地域の一連の地震活動は余震が当分の間継続するものの終息したように見える．

これらの点を考慮しながら，今回の内陸地震に関係する下記のデータに基づいてまず調べて見よう．

(a) 重力異常データとジオイド起伏と地震余震域

(b) １００年間にわたる水準測量データによる上下変動

(c) GPSによる地殻水平変動

(d) dislocation theory による断層モデルと変動調査

(a)重力異常データと地震余震域とジオイド起伏

九州南部地方では，霧島周辺を除き詳細な重力図は完成されていない．そこで，今回の調査では，北薩・串木野地域の重力異常図（地質調査所，1995)を参照する．この重力異常図と角田・他(1997)による余震域を重ねた図は図11に示す．ブ-ゲ-異常はこの地域では52mgal程度が最大でそれ程大きくはないが，紫尾山とその周辺でブ-ゲ-異常の目玉を避けるように余震が発生しているように見える．矢印は地質調査所による弱構造線(1997）である．紫尾山東の花崗岩体が破壊されるほど歪みの局所的集中があったと考えられ，ほぼ同時期に２つも発生した構造性の強い地震なので上記については今後の精密な調査が必要である．

(b) １００年間にわたる水準測量データによる九州地方の上下変動

最近の上下変動は，熊本を基準にして求められた．1962～3-1885～1901では，中央部～北東にかけて隆起，日向灘沿岸，大隅半島，都井岬，姶良カルデラ，八代海沿岸，肥前での沈降が著しい．福岡～南東の日田の方向で地震列と対応するような沈降が見られる（図12）．1968～9-1962～3では，北西側が高く，北東側が低い測量結果になっている．この傾動のなかの変化分をみると東側で沈降，国東半島の沈降が著しい．姶良カルデラ周辺が隆起に転じたこと，鹿児島県北西部が隆起傾向，を示す（図13）．1976～78-1968～69間の上下変動（図14）では，日向灘沖地震に関係した九州東部の隆起，北西部の沈下の傾向がみられる．桜島周辺はこの間マグマ溜りの膨張による隆起が顕著である．鹿児島県北西部でも隆起が顕著である．1981～3-1975～8間の上下変動（図15）では，九州中部は，これまでほぼ東→西の押しでそれにほぼ４５度の方向で豊後～人吉東部白髪岳付近の九州山地で隆起，北西部でやや沈降というパターンであったが，中南部で隆起，北西部は引き続き沈降，特に諫早付近の沈降が目立つ．桜島の隆起は若干低下した．鹿児島県北西部付近では隆起傾向である．最近10年間の1987～90-1981～3間の上下変動（図16）では，豊後付近の隆起と桜島付近の沈降が顕著である．桜島では，マグマ供給が噴火で消費され膨張→収縮に向かった．有明海北部は地盤沈下→回復の落ち着きを示す．が，この変化を除いてみると，最近はその周辺は殆ど変動は無い状態である．中央部では西岸に若干沈下がみられる．プレート潜り込みによる日向灘沿岸域の変動もこの期間では落ち着いた状況である．桜島の沈降域は西では川内付近にまで及んでいる．今回その境付近から若干離れた場所で地震は発生したことになる．第17図に鹿児島県西部の串木野～阿久根～水俣を通る水準路線における今回の地震時の上下変動（国土地理院(1997)による）を示す．阿久根～野田町で約1cm強の隆起が認められる．川内市～串木野市間で地盤沈下の傾向が見られる．

大分～延岡間の東北部の隆起はPHSプレートの潜り込みによる圧縮のため生じたのかも知れず，最大で1796年M７3/4±1/4 が想定され，要注意である．これらは測量誤差との兼ね合いで信号を見ることが大切であるがそれを考慮しても若干大きい（第16図）．この地域と四国南西部とではGPSから検出されている水平変動が異なっており，注意してみることが重要である（図18参照）．

(c) GPSによる地殻水平変動

九州南部には，国土地理院により，離島を除き，約26点のGPS観測点があり，30秒毎に24時間でデータが取得されている．本年始良に地殻変動検出のためのVLBI局が設置されたが，GPS観測点も要請していたところ，姶良を含めて４点のＧＰＳ観測点が北薩地域に増設され，30観測点となった．

高精度ＧＰＳ測位データは地殻変動の検出以外にも台風・集中豪雨や土石流・広域的地滑り災害等の水に関する事前情報として連続的な水蒸気量の推定に使われる．開発研究は世界で凌ぎあっており，日本が若干リードしている状態である．南九州では台風銀座でもあり特に必要な開発研究である．

九州地方の地殻水平変動の対馬を固定点にした1996年4月1-15日～1997年4月1-15日の1年間の変動を図18（上）に示す．今回の3月26日の地震を含む結果である．同じく1997年4月1-15日～同6月28日7月12日間の変動を図18（下）に示す．この結果は同5月13日の地震を含んでいる．日向灘地震の影響が顕著に見られる．変動量は１点１方向計算のため距離が伸びると若干大きめになる傾向が出ている．図19は今回の二つの地震の水平変動と断層モデル（国土地理院，1997）を示す．図20に鹿児島大学理学部のGPS臨時観測点を示す．観測は4月3日から4月24日と5月15日から５月19日まで実施された．また，現在も12月４日から12月１８日まで観測中である．観測状況は第2表に示す．現在解析中である．

(d)　Dislocation theory による断層モデルと変動調査

Dislocation theory(断層くい違い理論)による国土地理院の結果(1997)を図19にそれぞれ示した．鹿児島大学の地震臨時観測結果(九大理，1997)では余震の垂直分布が傾斜角度は殆ど０である．深さと断層面の長さのスケールはこれらの結果と異なっている．現在解析中である．

5　鹿児島周辺における地形異常不安定地域

内陸地震予知のためには，GPSによる地殻変動の検出-地震の検索を最も重要な柱として，周辺の過去～現在の時系列の活動度もみながら，島弧地形のもって生まれた癖を良く見極めたうえでの診断が重要である．

現在，鹿児島周辺では甑島から東市来にかけて地震列が報告されている．ここは1913年に東市来付近で被害を生じたところでもあり串木野断層との接点の情報が必要である．現在，ジオイド起伏異常の凸アノマリーから東へは伝搬していない状態である．1914年桜島大噴火後のM7.1を発生した鹿児島湾西縁断層，重富から北西へのジオイド落ち込み線，活断層が示唆される都城盆地でのジオイドの落ち込み，宮崎～出水断層沿いと鹿児島地溝の重なる付近での応力調査と地震空白域の調査，同じく日向灘沖の重力異常周辺部での断層線と交叉する場所の地震空白域調査が必要である．この地域での日向灘地震は古くは1662年，最近では，1996年12月3日M6.6が逆断層で発生しており，桜島での活動は，この地震による伸張場のため，現在のところ，低調で，エネルギーを蓄積している状態のように見える．

地溝周辺の地形不安定箇所は，我々が調査した南部の県内のジオイド起伏の結果（黒沢,1997）と活断層が概ね一致しているが，図21に観測点配置図，図22にその結果を示す．図に示したジオイド起伏の落ち込みの場所を地形的に安定かどうかよく判定することが重要である．都城盆地のジオイドの落ち込みに関係すると思われる水準変動を図23（この付近では1899年にM6.4（深さ100km）が発生しており，活断層図では北北西-南南東の断層の西落ちが指摘されている），桜島とその周辺のジオイド起伏を図24に示す．東西圧縮南北伸張場のなかで２重のジオイド起伏が検出された．鹿児島地溝と桜島の成因に関係したそれぞれの南北開口割れ目噴火を示すジオイド異常である．

ジオイド起伏図の北方は人員不足，資金不足で実施できなかった．特に今回の地震域まで調査が達しなかったのは残念であった．新しい手法を開発して，約３年前に事前に県に図21の情報を伝えても，その後何の連絡もない．地学科の大学院生とやっとここまで達した．地域に根ざした大学も受け手との関係で標語倒れであった．今後の活断層調査のためには，通常の地質露頭調査では検出できない断層の検出と既存の断層の重みを診断するため，活動度に関する地形ジオイド重力探査（地下の滑り面を探査検出すること）がボーリングも含めて極めて重要である．特にその時基本となる周辺部の水準測量が極めて重要である．又，県内のボーリングデータのデータバンクも必要不可欠である．

6　結　論

今回の九州地方南部を中心に地形不安定箇所を調査した結果，図21と図22のような結果が得られたが，①桜島の変動と同西縁断層付近　②都城付近　③川内～重富と串木野断層付近等，の調査が必要である．併せて北薩のジオイド起伏調査を地溝に沿って実施する必要があろう．

7　謝　意

本調査を実施するにあたり，南西島弧地震火山観測所，角田寿喜所長他皆さんに謝意を表します．また，ジオイド調査に関しては，国土地理院の多大な協力を頂いたことに対して，厚く御礼申し上げます．GPS観測では，泊野小，紫尾小，柊野小，に大変お世話になった．併せて感謝申し上げます．

参　考　文　献

1) 田中穣(1994)：最近の巨大地震と九州南部地方の地殻変動，月刊地球-プレート沈み込み帯ノジオダイナミックス（シンポジウム）-16(6)，324-332.

2) 長宗留男・田代秀樹(1991)：九州下における和達-ベニオフゾーンの形状，地震，2, 44, 13-19.

3) 角田寿喜・宮町宏樹・高木章雄(1991)：九州-琉球弧北部の稍深発地震，地震，2, 44，63-74.

4) 田中穣・小林亜由美・寺家孝明・吉島陽子・最勝寺俊秀(1995)：GPS/三角点観測から検出した桜島火山とその周辺の楕円体高の長期的変動，鹿児島大学紀要（地学・生物学）28, 63-78.

5) 田中穣(1997)：桜島火山周辺におけるGPSによる精密ジオイド高の検出とその時間変動に関する一考察，測地学会誌，43，133-144.

6) 田中穣・中野博・寺家孝明・高濱伯主・最勝寺俊秀・吉島陽子・小林亜由美(1993)：桜島湯平-鹿児島大学理学部間の距離の経年変化，鹿児島大学理学部紀要（地学・生物学）26, 101-106.

7) 最勝寺俊秀・田中穣・寺家孝明・小林亜由美・吉島陽子（1994)：桜島西部におけるGPS地殻変動観測，鹿児島大学理学部紀要（地学・生物学）27, 17　3-187.

8) 田中穣・最勝寺俊秀・黒沢知也・仮屋新一・愛甲華子・松原有子(1996)：GPS干渉測位による桜島とその周辺における精密地殻変動とジオイド起伏の検出，鹿児島大学理学部紀要（地学・生物学）29，89-112.

9) 田中穣(1993)：九州南部の地震火山テクトニックス，73-89，火山の総合的研究の展開法に関する

調査研究報告書-火山と地域産業-．第一回地域共同研究センター報告書，192ページ．
10)江頭庸夫(1997)：姶良カルデラの地盤の再隆起-1991年12月～1996年10月-，京都大学防災研究所年報，第40号-１，49-60，平成9年4月．
11)Tanaka M. and T. Gomi(1989): Crustal movement observed from horizontal and vertical variations above the subduction zone, J. Geod. Soc. Japan, 35, 187-206.
12)茂木清夫(1982)：日本の地震予知，サイエンス社．
13)Rikitake T.(1982): Earthquake Forecasting and Warning, Developments in Earth and Planetary Sciences 03, Center for Academic Publications Japan, D. Reidel Publishing Company.
14)高濱伯主(1993)：高角沈み込みプレートによる九州地方の地殻変動，鹿児島大学理学研究科地学専攻，平成５年度修士論文．
15) 国土地理院(1993)：九州地方の地殻変動，49, 527-542.
16)角田・他(1997)：地震活動の特色，本報告書．
17)茂木清夫(1997)：九州南部の最近の地震活動，地震予知連会報，58, 569-572.
18)地質調査所(1997)：鹿児島県北西部の地震の震源域の地質学的特徴，地震予知連会報，58, 653-656.
19)国土地理院 (1997)：九州地方の地殻変動，第125回地震予知連会資料報，1997年８月11日．
20)九州大学理学部(1997)： 第125回地震予知連会資料報，1997年８月11日．
21)黒沢知也(1997)：GPS測量による南九州地方のジオイド起伏の検出，平成８年度修士論文．

表１，日本周辺の巨大地震と九州・日向灘の大地震

『巨大地震（東北・北海道）』--『相模・駿河・南海トラフ』 --　『九州・日向灘の大地震』
太平洋プレート--- フィリッピン海プレート＋北米プレート-- フィリッピン海プレート西北端
（中央構造線付近沿い）

1891. 10. 28, 濃尾地震M8. 0

1894. 3. 22, 根室南西沖M7. 9

(1894. 8. 8, 熊本県中部M6. 3)
(95. 8. 27, 〃 〃)
91-95 霧島噴火

1896. 6. 15, 三陸沖M8 1/2
97. 2. 20, 仙台沖M7. 4,
97. 8. 5, 仙台沖M7. 7,

1899. 11. 25, 日向灘M7. 1, 6. 9
1901. 6. 24, 奄美大島近海M7. 5

1909. 3. 13, 房総沖M7. 5,

1909. 11. 10, 宮崎県西部M7. 6
1911. 6. 15, 喜界島近海M8. 0
1914. 1. 12, 桜島大噴火とM7. 1

1918. 9. 8, ﾘｭｳｷｭｳ島沖M8. 0,
18. 11. 8, 〃 M7. 7,

1922. 12. 8, 千々石湾M6. 9, 6. 5

1923. 9. 1, 関東大地震M7. 9,

(1923 霧島小噴火)

1931. 11. 2, 日向灘M7. 1

1933. 3. 3, 三陸沖M8. 1,

1938. 11. 5, 福島県東方沖M7. 5,

(1939. 3. 20, 日向灘M6. 5)

1940. 8. 2, 神威岬沖M7. 5,

1941. 11. 19, 日向灘M7. 2

1944. 12. 7, 東海沖M7. 9,
46. 12. 21, 南海M8. 0,

(桜島噴火 1錦立方m 噴出)

1952. 3. 4, 十勝沖M8. 2

(1955, 桜島中噴火)

1958. 11. 7, ｴﾄﾛﾌ島沖M8. 1

1961. 2. 27, 日向灘M7. 0

1963. 10. 13, ｴﾄﾛﾌ島沖M8. 1,

1964. 6. 16, 新潟地震M7. 5,

1968. 4. 1, 日向灘M7. 5

1968. 5. 16, 十勝沖 M7. 9,

(1970. 7. 26, 日向灘 M6. 7)

(1973. 6. 17, 根室半島沖M7. 4)

(1982. 3. 21, 浦河沖M7. 1)

1983. 5. 26, 日本海中部M7. 7,

1984. 8. 7, 日向灘M7. 1
(1987. 3. 18, 日向灘M6. 6)

1993. 1. 15, 釧路沖M7. 8,

1993. 7. 12, 北海道南西沖M7. 8,

(1994. 4. 30, 日向灘M6. 4)

1994. 10. 4, 北海道東方沖M8. 1,
1994. 12. 28, 三陸はるか沖M7. 5,

(1995. 1. 17, 阪神淡路大震災M7. 2)

(1995. 5. 27, ｻﾊﾘﾝ北M7. 6)

(1995. 10. 18, 喜界島M6. 7)
(〃 10. 19, 同 M6. 6)
(1996. 10. 18, 種子島近海6. 2)
(1996. 10. 19, 日向灘M6. 6)
(1996. 12. 3, 日向灘M6. 6)
(1997. 3. 26, 鹿児島北西部M6. 3)
(〃 5. 13, 同 M6. 2)

註；（・・・）は火山に関する活動とM≦6. 7のやや大きい地震を示す．右欄は参考値である．

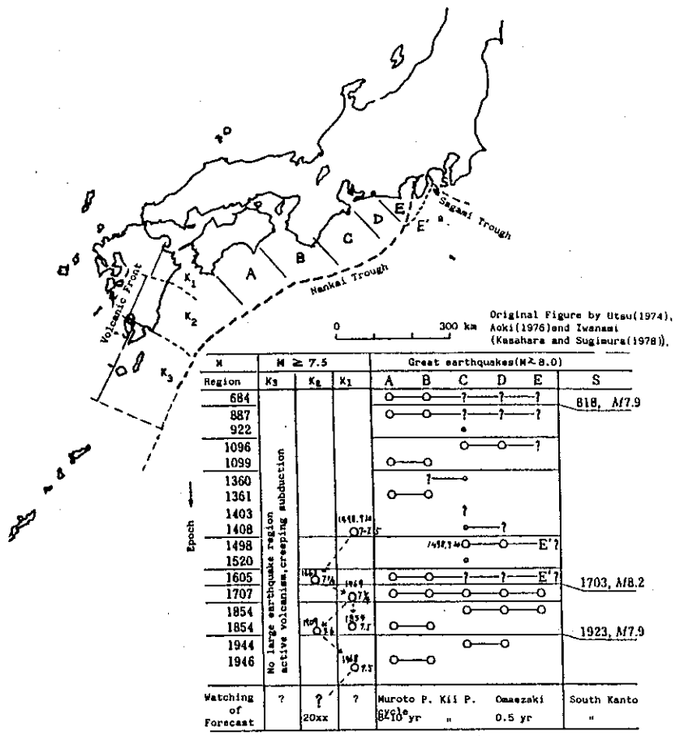


図 1. 南海トラフ沿いの巨大地震と九州の３断裂プレート域で発生したM≧7.5の被害地震の変遷

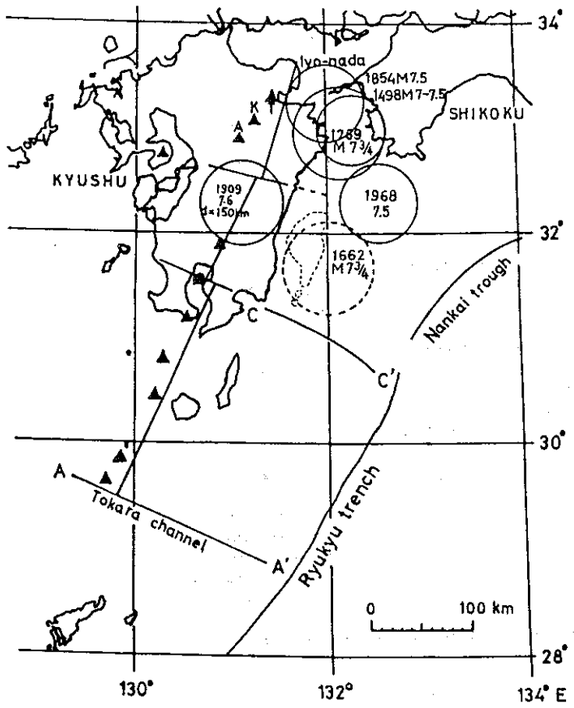


図 2. 1498年以降の日向灘周辺で発生したM≧7.5の被害地震の分布

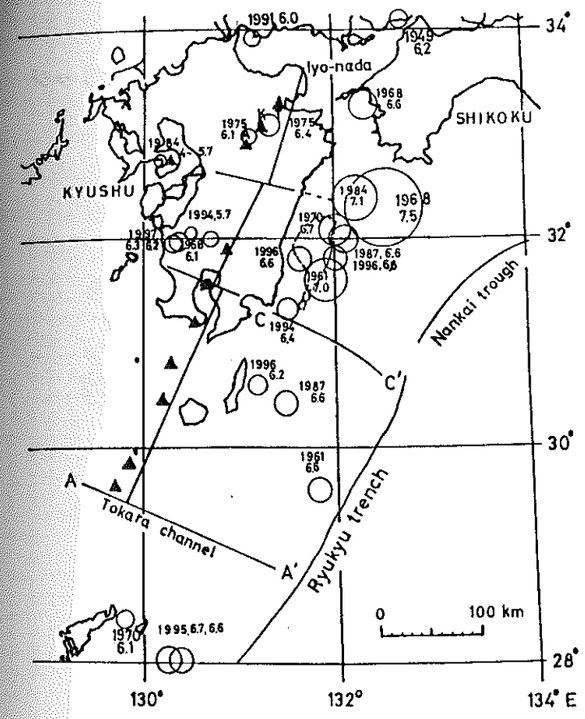


図 3. 1944年以降の九州地方の地震活動. 丸印の大きさは檀原の地震規模-地殻変動の式でプロットした.

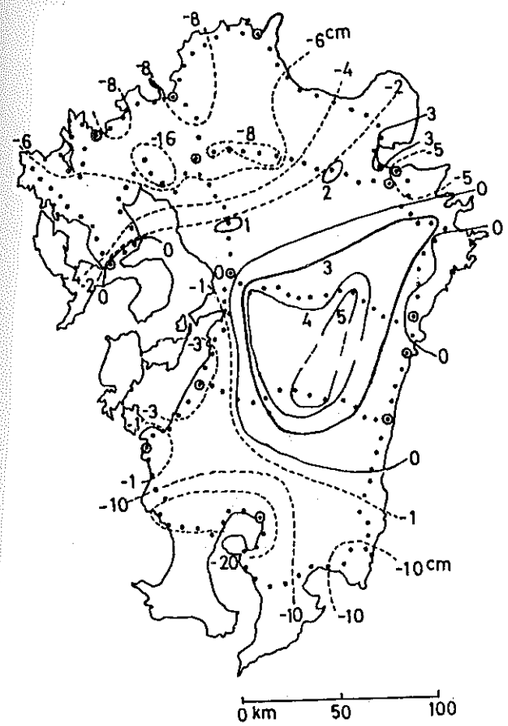


図 4. 熊本市を基準にした1889-1901～1987-1989年の約100年間における九州地方の上下変動で，第４紀の変動に一致する結果を示す.

注）実線はやや大きいところを示す．実直線は歪の大きい斜曲線にほぼ直交した九州パラオリッジの方向の断面線を示す．　v印は負の面積変化率のやや大きいところを示す．

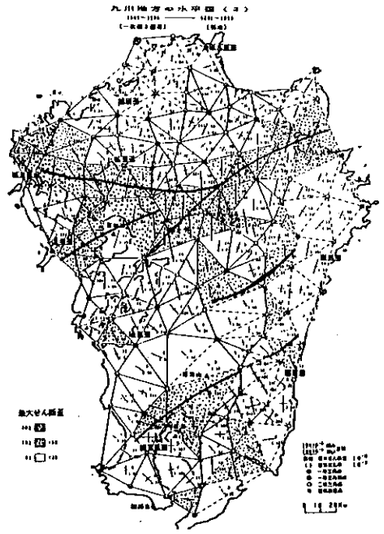


図 5. 1989～91－1891～3の100年間の九州地方の地殻水平歪の最大せん断歪．

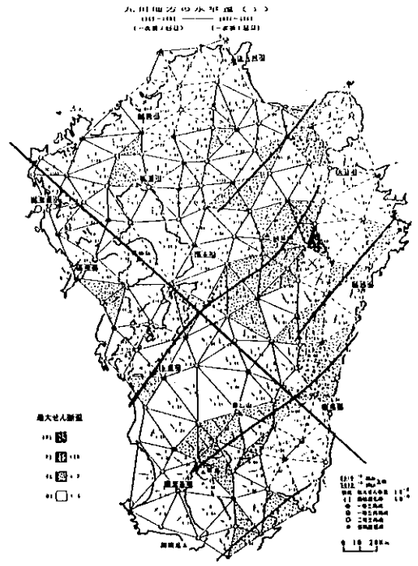


図 6. 最近１０年間（1989～91-1981～2）の水平最大せん断歪．レーザー測距値だけの比較を示す．

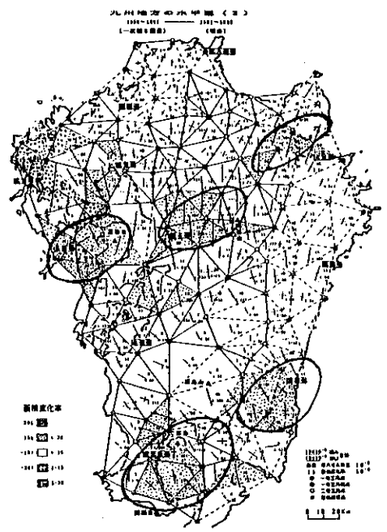


図 7. 1989～91－1891～3の100年間の九州地方の地殻水平歪の面積変化率．

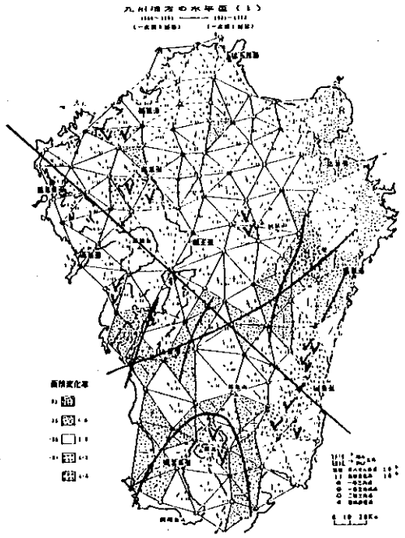
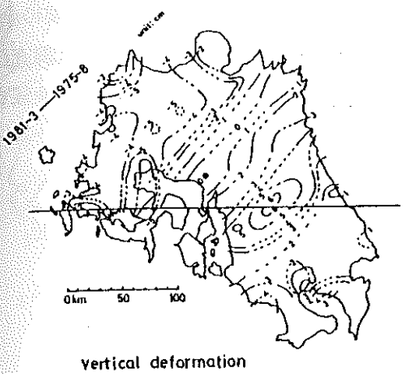


図 8. 最近１０年間（1989～91-1981～2）のレーザー測距値だけの地殻水平歪の面積変化率．



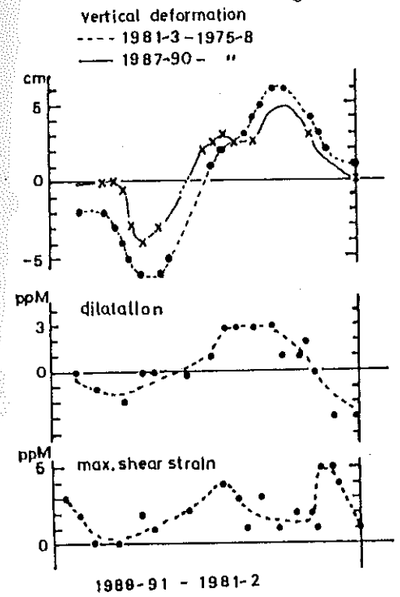
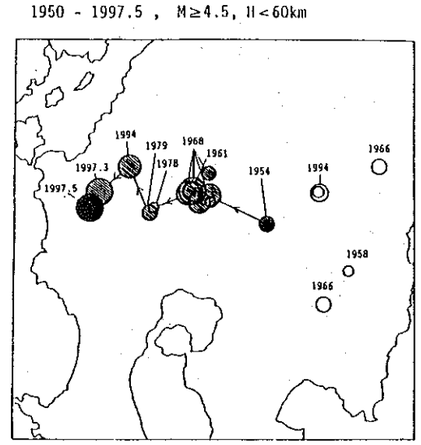
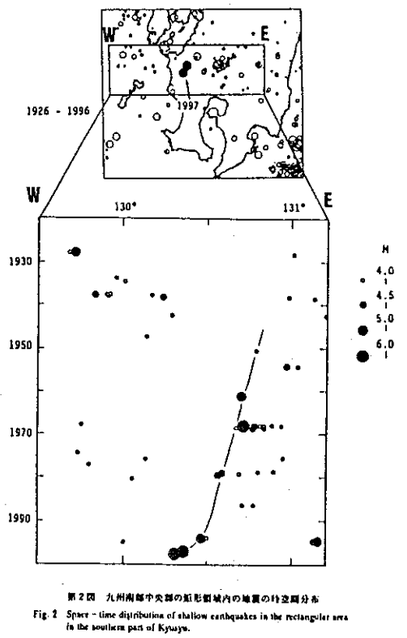


図 9. 地殻上下変動と地殻水平歪．
隆起地域は面積変化の大きい地域と一致するが，せん断歪はその周辺で大きい．中心部は地震空白域となりその周辺部で地震を発生し，活断層を生ずることが明らかになった．隆起地域は短波長ジオイド起伏とも一致する．これがここで提唱する内陸地震予知モデルである．



第3図　M4.5以上の浅い地震の震央とその発生年
Fig. 3　Epicentral distribution of shallow earthquakes of M4.5 or larger and the time of occurrence. The westward migration can be recognized.



第2図　九州南部中央部の矩形領域内の地震の時空間分布
Fig. 2　Space - time distribution of shallow earthquakes in the rectangular area in the southern part of Kyusyu.

図 10. 南九州北部での地震発生の空間的移動（茂木, 1997）．

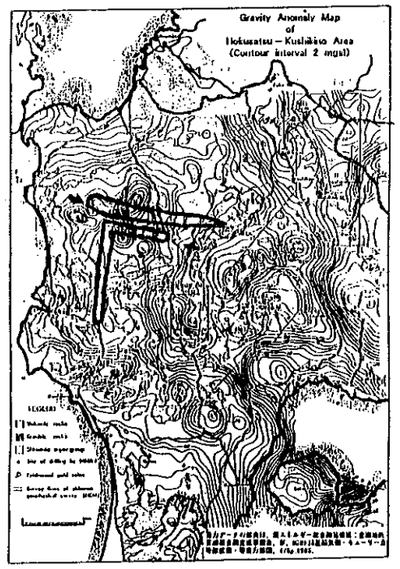


図 11. 北薩・串木野地域の重力異常図（地質調査所, 1997）と鹿児島県北西部地震の余震域（角田・他, 1997）．矢印は地質調査所(1997) による弱構造地域．高ブ−ゲ−地域を外して発生しているように見える．

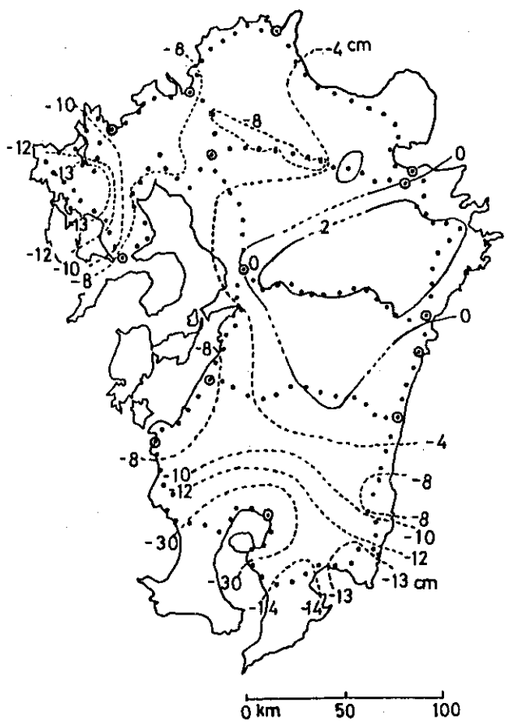


図 12. 九州地方の上下変動図
(1962～3-1885～1901)

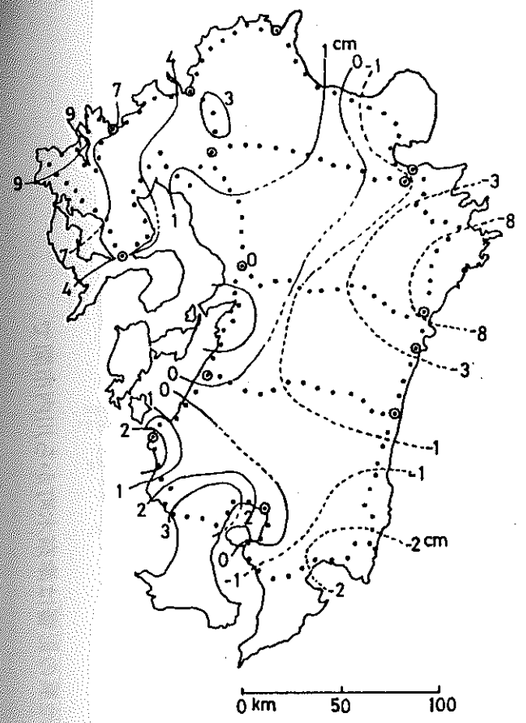


図 13. 九州地方の上下変動図
(1968～9-1962～3)

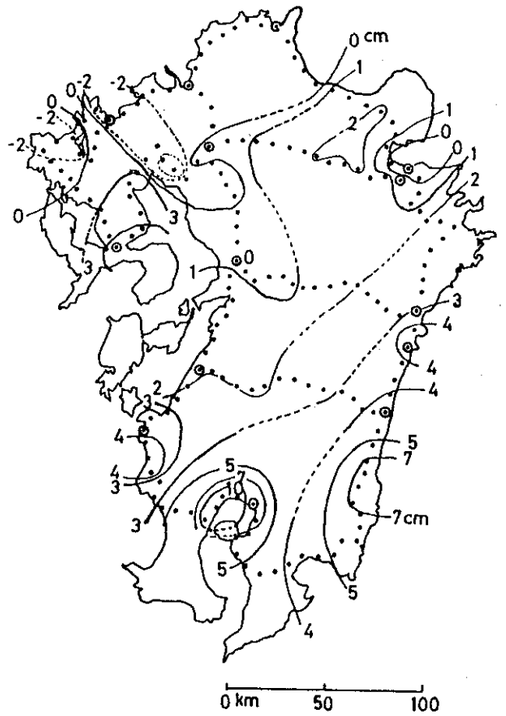


図 14. 九州地方の上下変動図
(1976～78-1968～69)

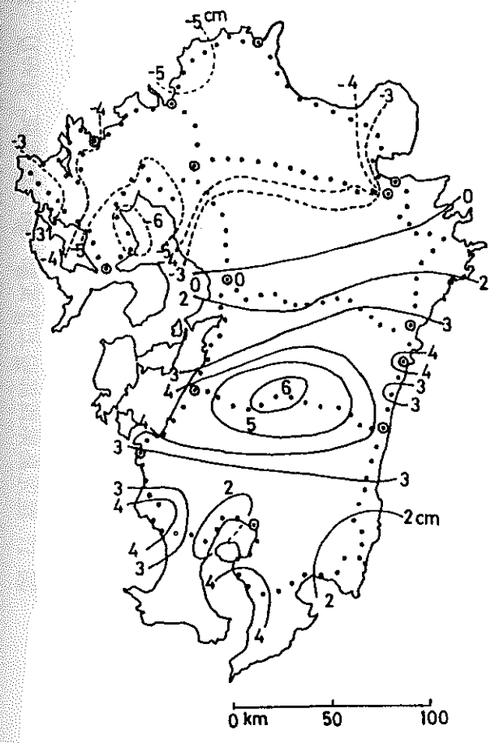


図 15. 九州地方の上下変動図
(1981～3-1975～8)

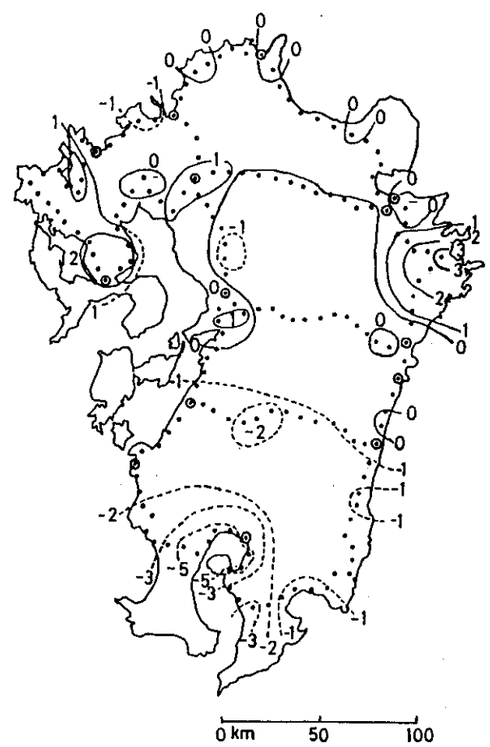


図 16. 九州地方の上下変動図
(1987～90-1981～3)

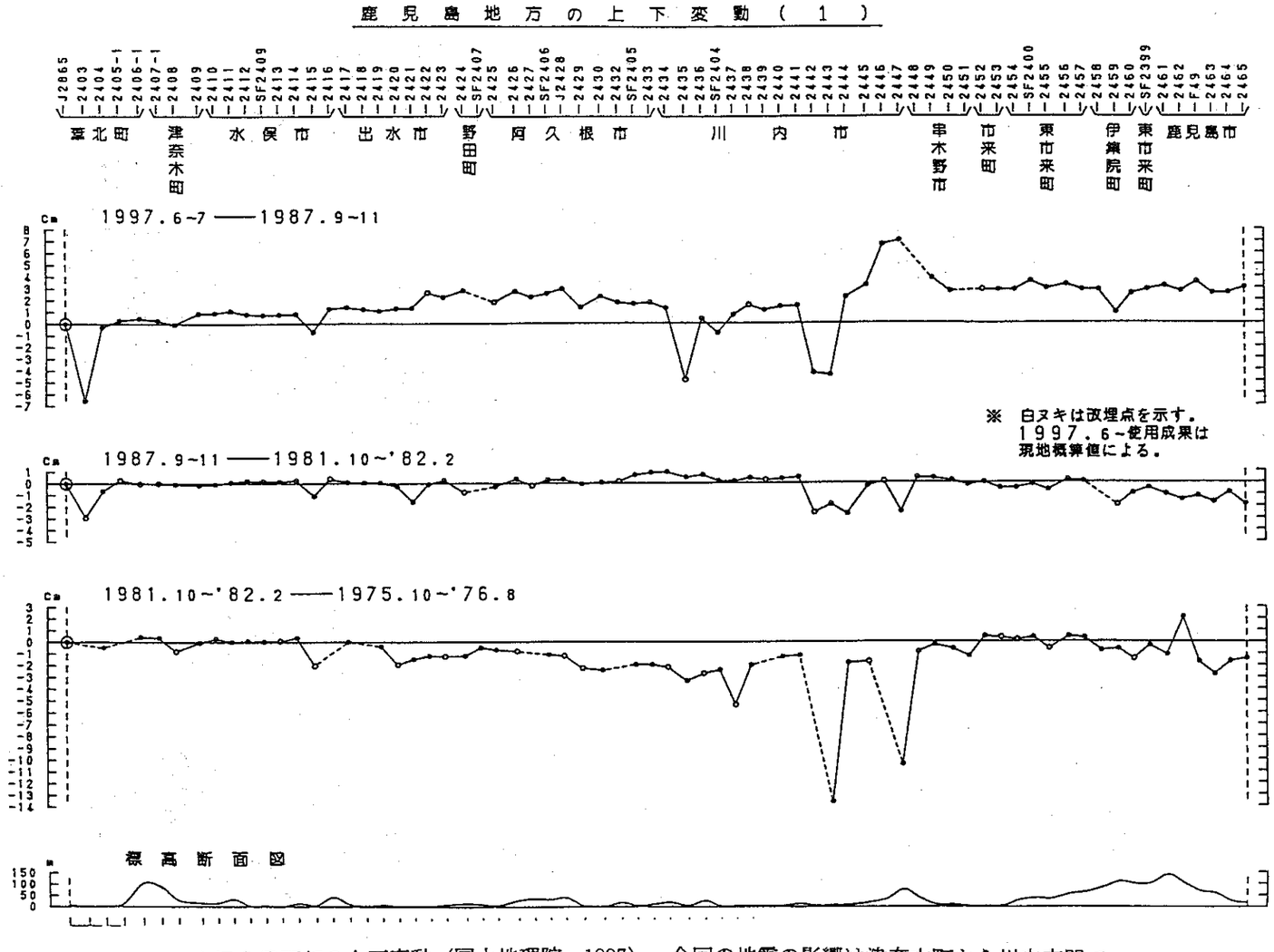
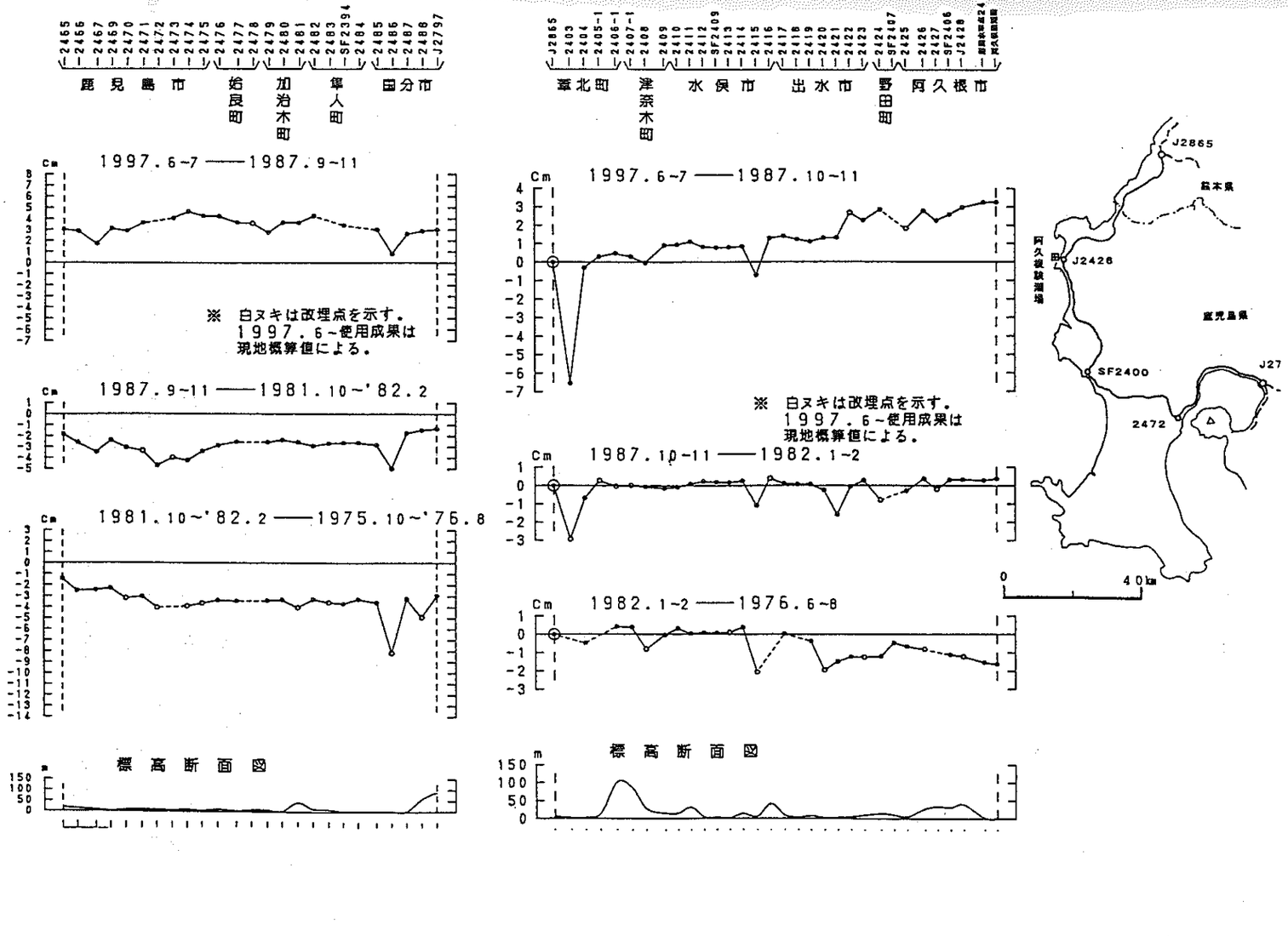
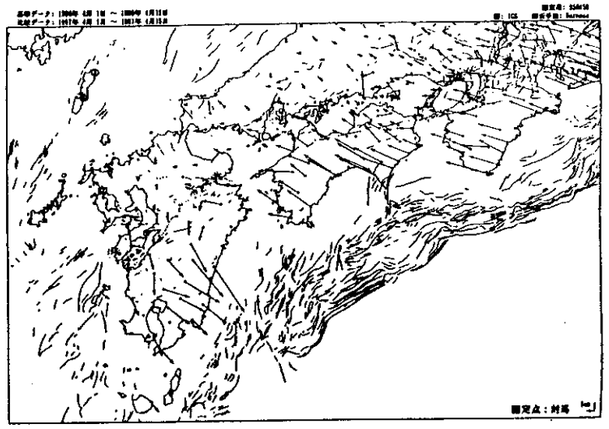


図 17. 鹿児島県西部の上下変動（国土地理院，1997）．今回の地震の影響は津奈木町から川内市間で見られる．川内市南部付近では地盤沈下と隆起が見られる．





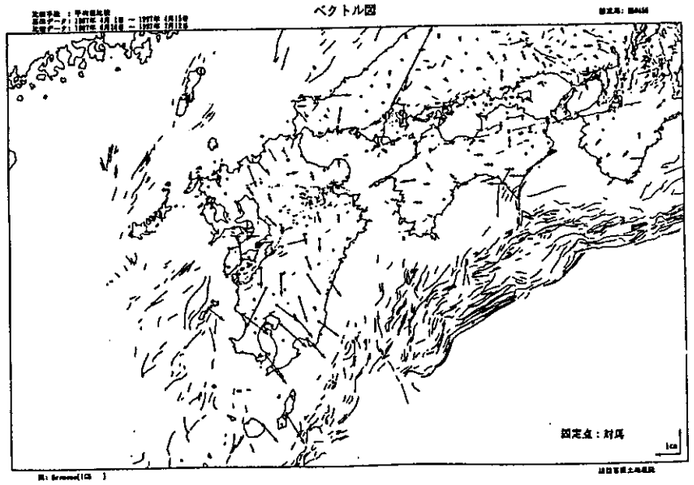
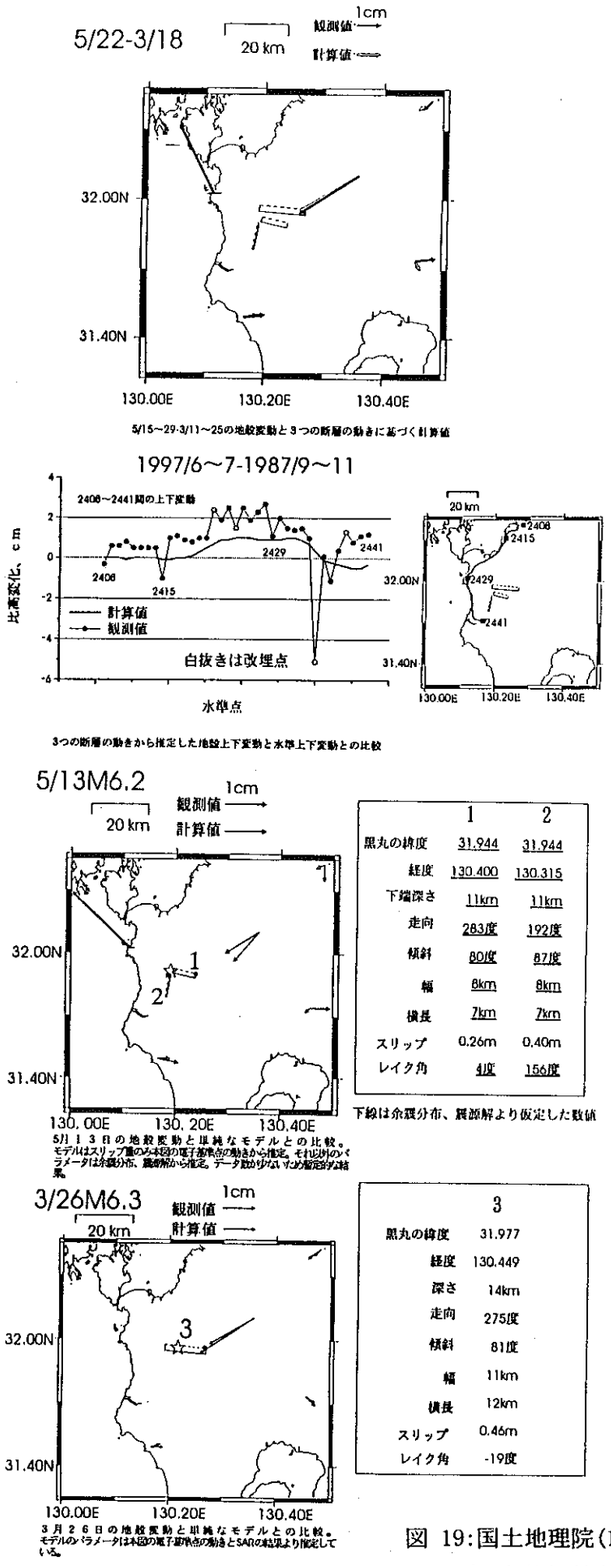


図 18. 九州地方の地殻水平変動（対馬を固定）（国土地理院，1997）．
上：1996年4月1-15日～1997年4月1-15日の1年間の変動
ユーラシアプレートの東への張り出しが九州南部では南東に向いている．一方，四国西部はフィリッピン海プレートの北西進が顕著である．
下：1997年4月1-15日～同6月28日-7月12日間の変動



	1	2
黒丸の緯度	31.944	31.944
経度	130.400	130.315
下端深さ	11km	11km
走向	283度	192度
傾斜	80度	87度
幅	8km	8km
横長	7km	7km
スリップ	0.26m	0.40m
レイク角	4度	156度

下線は余震分布、震源解より仮定した数値

	3
黒丸の緯度	31.977
経度	130.449
深さ	14km
走向	275度
傾斜	81度
幅	11km
横長	12km
スリップ	0.46m
レイク角	-19度

図 19:国土地理院(1997)による地震断層モデルと観測値との比較．

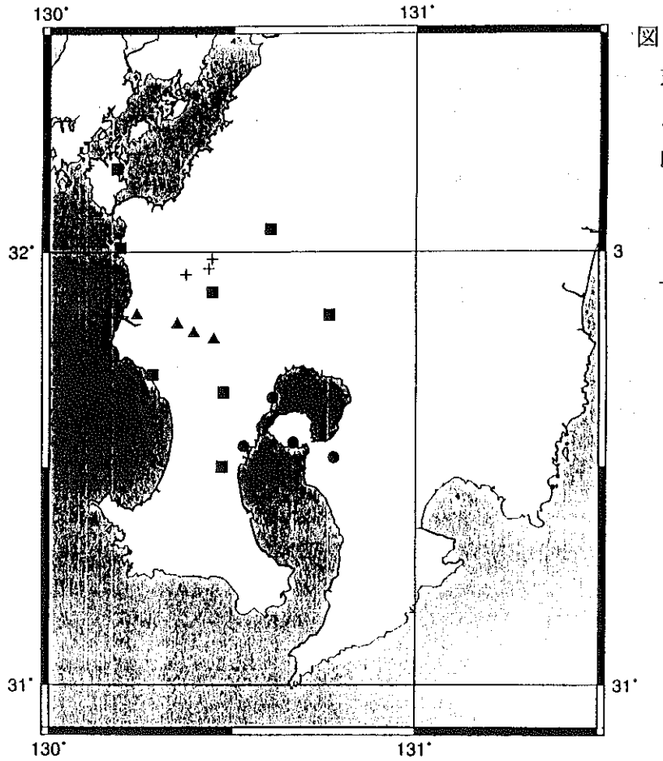


図 20. 今回の地震調査のための鹿児島大学理学部のGPS観測点と周辺の国土地理院によるGPS観測点.

■：GSI,　●：鹿児島大学理学部観測点

▲：鹿児島大学理学部臨時観測点（ジオイド観測点）

＋：鹿児島大学理学部臨時観測点

臨時固定観測

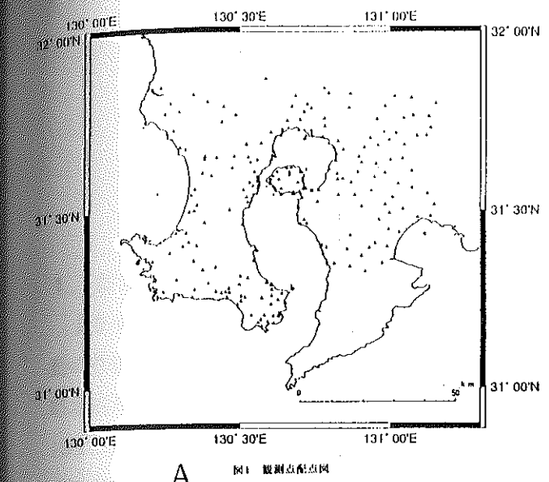
観測日	GPSday	泊野小 (tomr)	柊野小 (kukn)	紫尾小 (sibi)
1997/4/2	92		設置・観測開始	設置・観測開始
1997/4/3	93	設置・観測開始	○	○
1997/4/4	94	○	○	○
1997/4/5	95	○	○	○
1997/4/6	96	○	○	○
1997/4/7	97	○	○	○
1997/4/8	98	○	○	○
1997/4/9	99	○	○	○
1997/4/10	100	○	○	○
1997/4/11	101	○	○	○
1997/4/12	102	○	○	○
1997/4/13	103	○	○	○
1997/4/14	104	○	○	○
1997/4/15	105	○	○	○
1997/4/16	106	○	○	欠測
1997/4/17	107	○	欠測	欠測
1997/4/18	108	○	○	○
1997/4/19	109	○	○	○
1997/4/20	110	○	○	○
1997/4/21	111	○	○	○
1997/4/22	112	○	○	○
1997/4/23	113	○	○	○
1997/4/24	114	○	欠測	○
1997/4/25	115	撤収	撤収	撤収

観測日	GPSDAY	泊野小 (tomr)	柊野小 (kukn)	紫尾小 (sibi)
1997/5/14	134	設置・観測開始	設置・観測開始	設置・観測開始
1997/5/15	135	欠測	○	○
1997/5/16	136	○	○	○
1997/5/17	137	○	○	○
1997/5/18	138	○	○	○
1997/5/19	139	○	○	○
1997/5/20	140	撤収	撤収	撤収

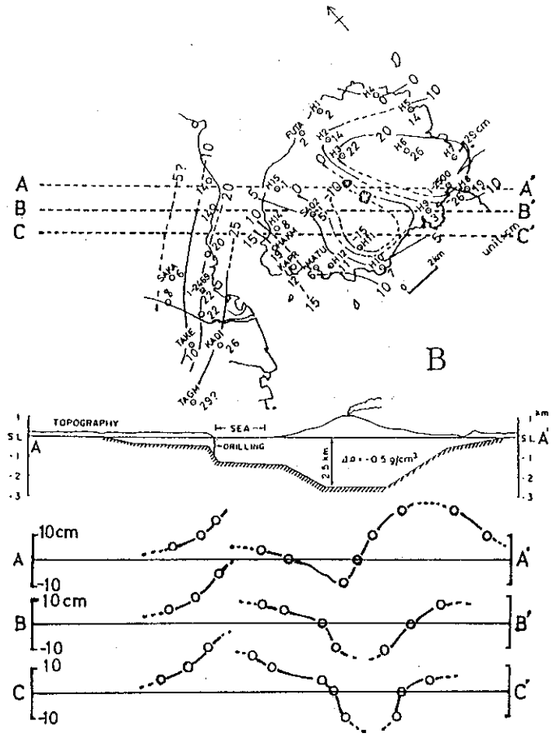
臨時観測

観測日	GPSDAY	観測点		
1996/12/27	96.362	中村4等三角点	日の丸4等三角点	向井原4等三角点
1997/1/4	4	1等水準点2439		
1997/4/5	5	中村4等三角点	日の丸4等三角点	
1997/4/6	6	1等水準点2439	向井原4等三角点	

表2, 鹿児島県北西部地震に関する臨時固定観測スケジュール. 1996年12月～1997年1月の観測はジオイド測量の約４時間である.



A



C

図 21. ジオイド起伏測量から検出した地形不安定地域

A：観測点配置図，概ね260点観測された.

B：桜島とその周辺におけるジオイド起伏（上）A-A'断面に沿った地殻構造（Yokoyama and Ohkawa, 1986）と鹿児島地溝の落ち込み（早坂・大木, 1971）

C：A-A', B-B' C-C' に沿ったジオイド起伏断面図

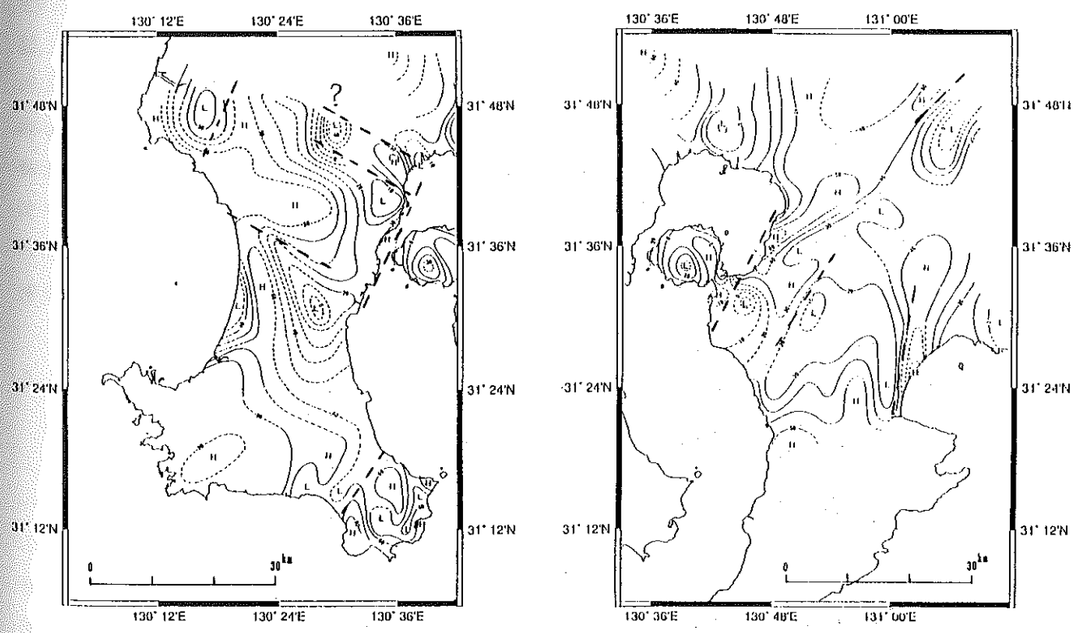


図 22. GPSジオイド測量から検出した短波長ジオイド起伏（黒沢, 1997）と地形不安定箇所（太点線）

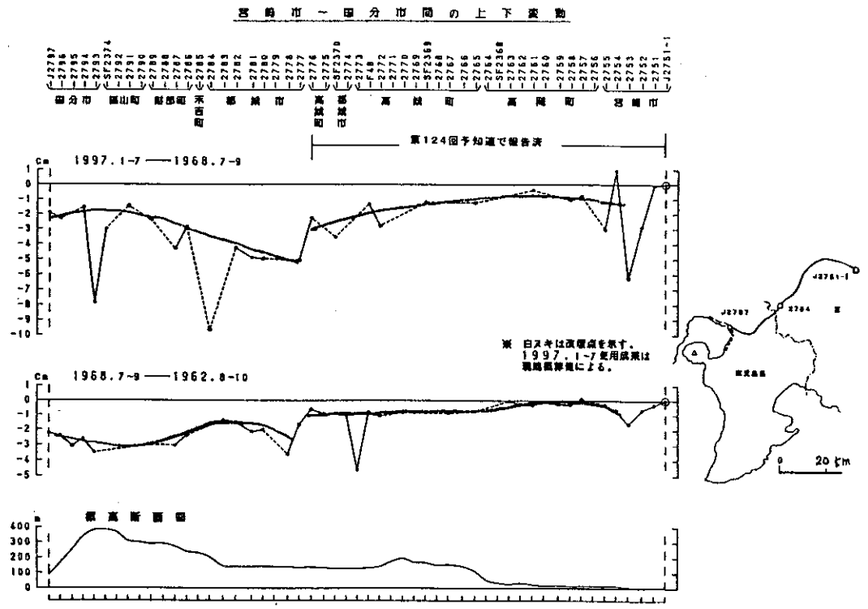


図 23. 最新の宮崎市 － 国分市間の上下変動（国土地理院, 1997）．
都城付近では1899年にM6.4を発生している．ジオイド起伏で落ち込みも見られる．

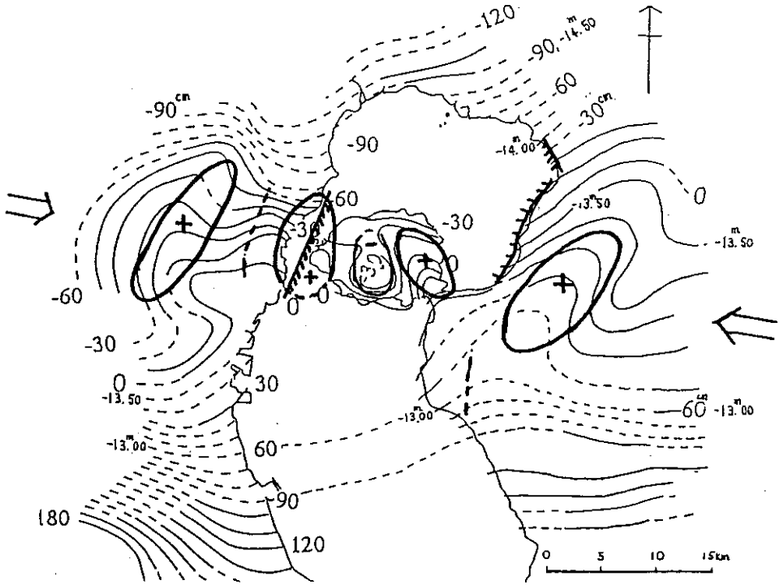


図 24. 鹿児島西縁断層でのジオイドの落ち込み．1914年にM7.1を発生している．

鹿児島県北西部地震と鹿児島市の地盤

鹿児島大学理学部　　大木公彦・深見　聡

1．はじめに

１９９７年３月２６日（M6.3）、５月１３日（M6.2）に発生した鹿児島県北西部地震における地震活動の特徴、地質学的背景、斜面崩壊、地盤災害等について、すでに多くの報告がなされている（鹿児島大学・県北西部地震被害調査研究会・財団法人鹿児島県建設技術センター、1997；赤崎・上園、1997；井村ほか、1997等）。筆者らは、地震直後の３月２７日、３０日、４月２日に現地を訪れ被害の状況を観察した。被害の詳細は他の調査報告に譲るとして、ここでは埋立地や盛土の問題に触れながら、鹿児島市（南部沖積平野部を除く）の地盤にスポットを当て、県北西部地震クラスの地震に対する問題点を指摘してみたい。

2．県北西部地震の地盤災害

３月２６日の地震でとくに被害の大きかった宮之城町、鶴田町、阿久根市を３月３０日、４月２日に訪れた。道路は、井村ら（1997）が指摘したように、路面の亀裂、沈下および陥没のほとんどが盛土部分に集中している（写真１）。宮之城町虎居、甫立集落北方の農業用施設の幹線道路はかなりの損傷を受け、噴砂現象も確認された（写真２）。この農業用施設は、国道328号線と海老川に挟まれた地域を平坦に整地して作ったもので、旧地形をかなり残しているものの、平坦面を造成するために、シラス台地面の一部を削り、そのシラスで谷を埋める工法を採用している。赤崎・上園（1997）は詳細な被害調査を行ない、路面の亀裂、沈下および陥没がやはり盛土部分に集中していると報告している。その状況は、赤崎・上園（1997）の示した農業用施設造成前と後の地形図（図１）から読み取れる。被害の集中した南部の、南へ傾斜した幹線道路は比較的広い旧谷部に相当し、路面のうねり、亀裂、滑りによるアスファルトの盛り上がり（写真３）、側溝蓋の跳ね上がり（写真４）が認められた。阿久根漁港および周辺の埋立地は、液状化による地面の亀裂、沈下、噴砂現象、公園施設の破損などが認められた（写真５～７）。阿久根駅から漁港へ至る、緩く坂になった道路には、明らかに漁港の埋め立て部分との境界と考えられる位置に幅10cm前後の開いた亀裂があり、港側が沈下している（写真８）。

3．県北西部地震による鹿児島市への影響

３月２６日の地震で鹿児島市は震度４を記録した。報道による顕著な被害報告はなかったが、１９９６年１１月に完成したばかりの鹿児島県庁敷地内において、県議会棟と行政棟の間の幅60cm、長さ6m四方に敷いてあった石板が盛り上がった（写真９）。読売新聞によると「埋設したコンクリート水路の上の部分で、この水路を境にして地震の揺れが異なったため、水路の部分に両方からの揺れの力が集まり、モルタルと石板を盛り上げた」と報道されている。５月１３日の地震でも震度４を記録したが、県庁行政棟の３階の壁の塗装に亀裂が入った。県庁舎は、１９９６年の１２月４日に発生した日向灘沖地震でも、鹿児島市が震度３

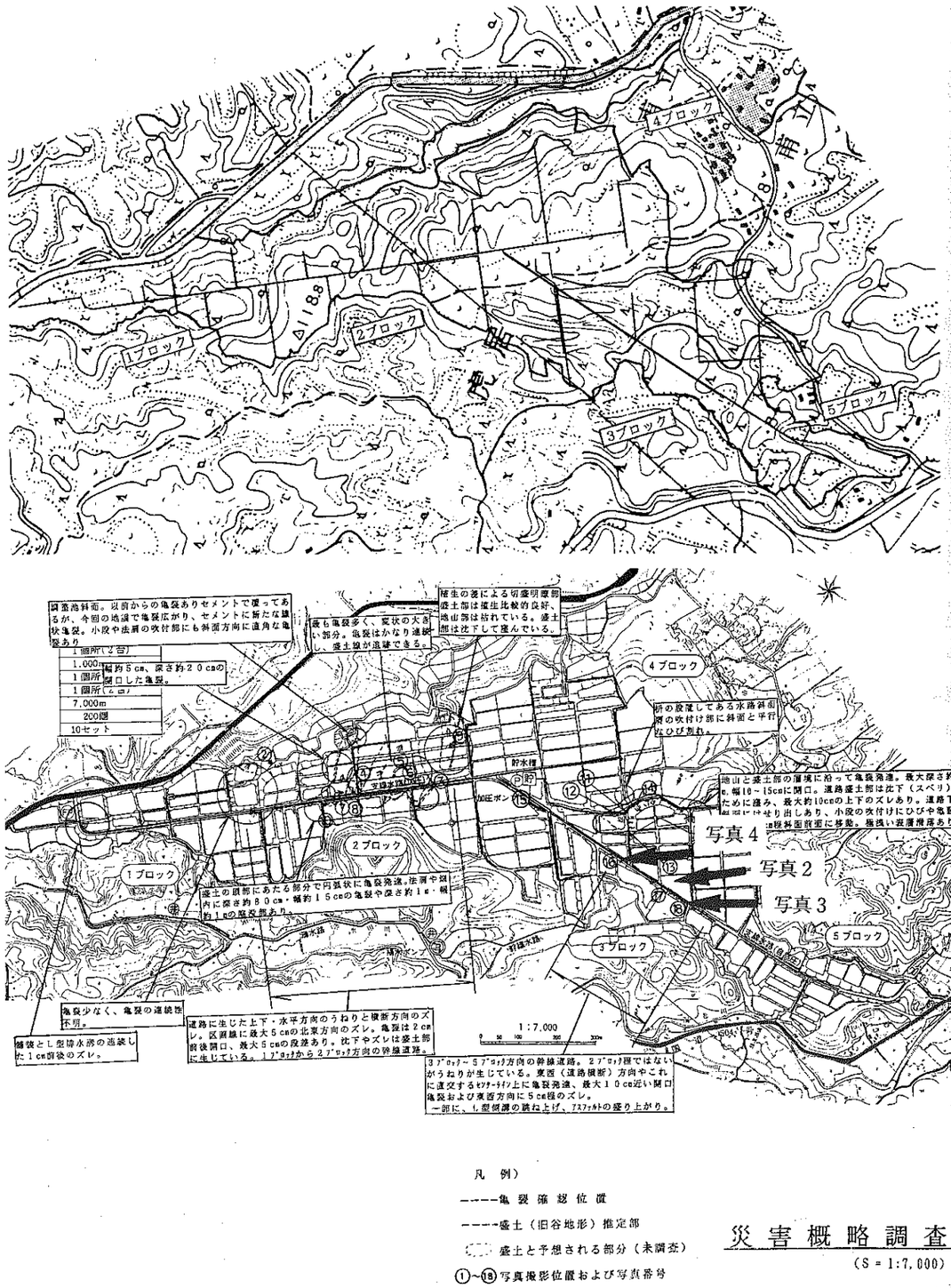


図1. 宮之城町虎居甫立集落北方の旧地形(上)と農業用施設災害概略調査図(下)(赤崎・上園、1997).

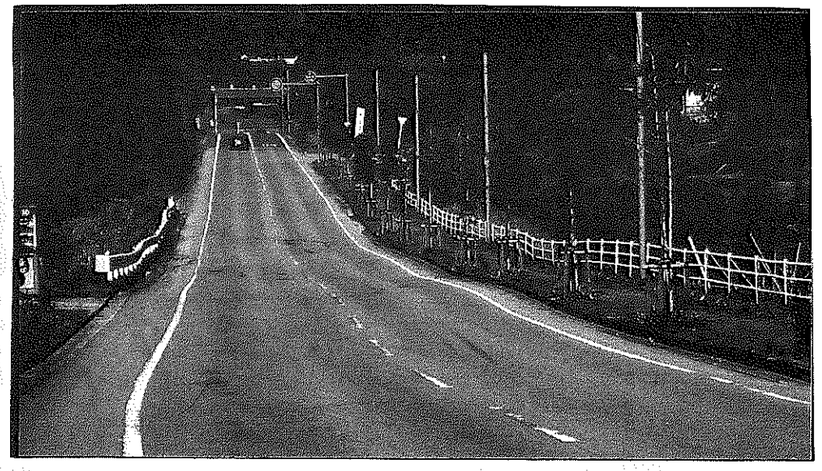


写真1. 宮之城町平川の国道328の盛土部の被害状況(道路が波打って、多数の亀裂が認められる).

写真2. 宮之城町虎居甫立集落北方の農業用施設4ブロックにおける噴砂現象(右は噴出孔).

写真３．　宮之城町虎居甫立集落北方の農業用施設３ブロックの滑りによる
アスファルトの盛り上がり．

写真４．　宮之城町虎居甫立集落北方の農業用施設３ブロックの側溝蓋の
跳ね上がりと亀裂．

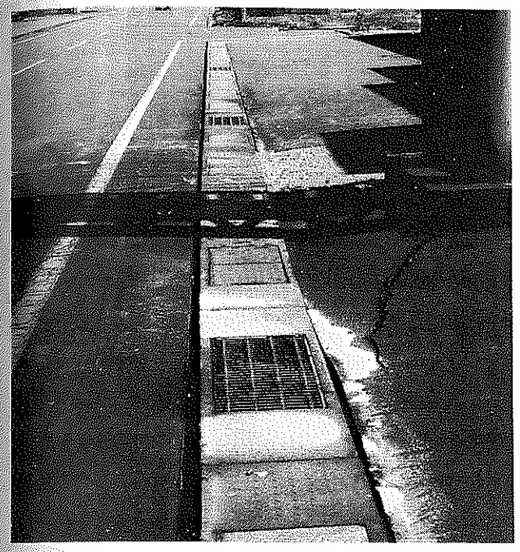


写真５．　阿久根漁港外港事務所付近の亀裂と
噴砂現象．

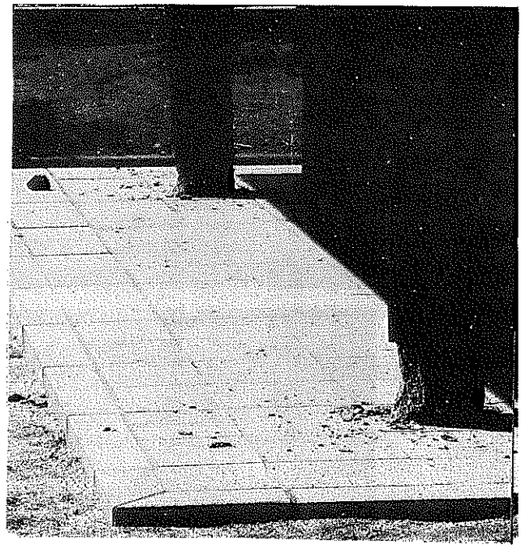


写真６．　阿久根漁港外港の公園施設の破損状況．

写真７．　阿久根漁港外港の公園内の亀裂．

写真８．　阿久根駅前通りの、市街地と漁港の境界
付近に見られる亀裂．

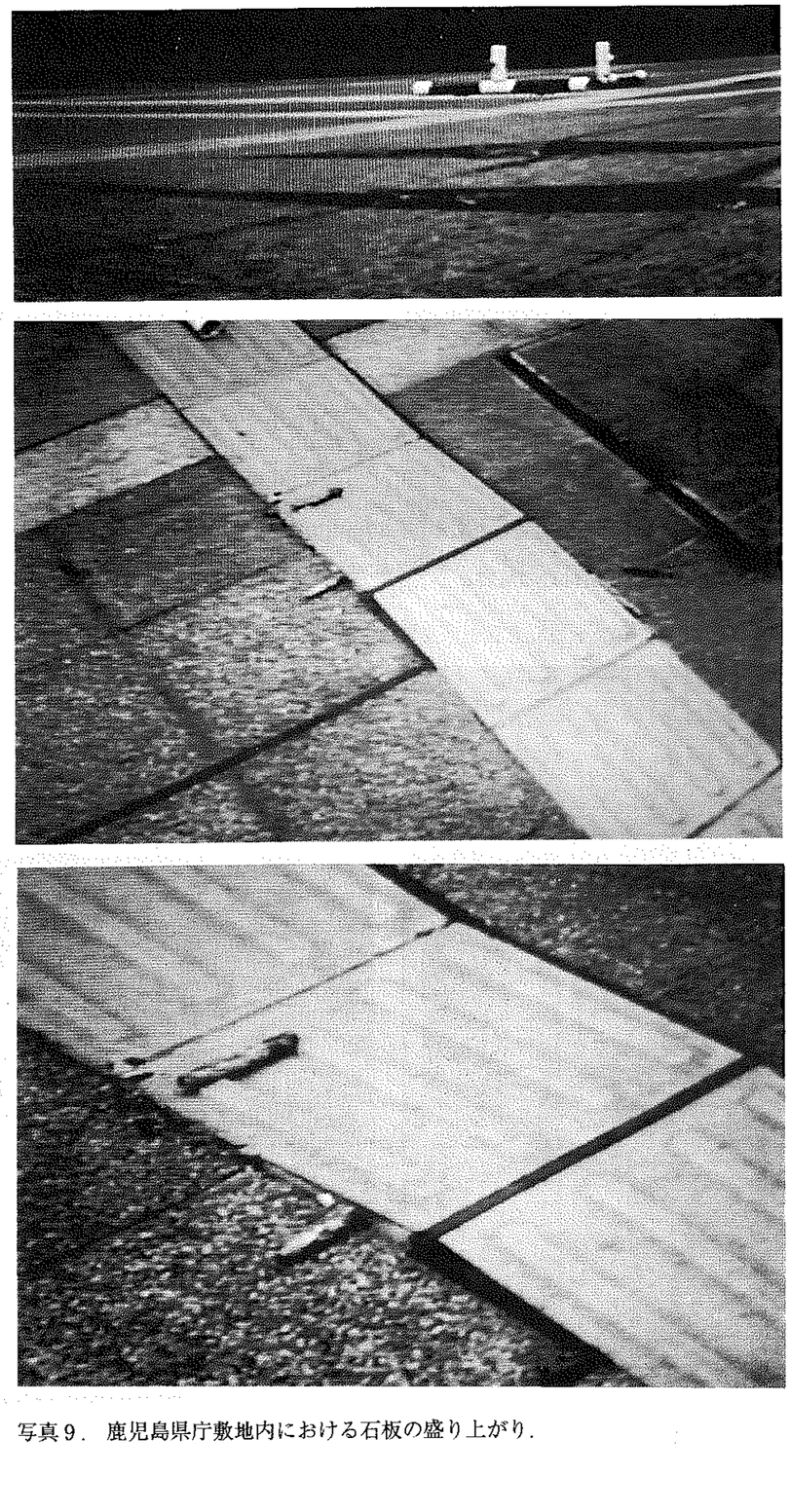


写真９．鹿児島県庁敷地内における石板の盛り上がり．

であったにもかかわらず、外壁の一部がはがれる被害にあっている。県庁所在地の鴨池新町は、旧海軍航空基地として造成された古い埋立地で、１９５７年から１９７２年の１６年間は鹿児島（鴨池）空港として使用されていた。

甲突川河口近くの錦江町では、５月の地震直後の調査で、すでに地盤沈下によって亀裂の入っていた花壇のブロックが６cm程横にずれたり（写真10）、修復したセメントに新たにひびが認められたが、地震以前の調査が１９９６年１１月であるために、地震だけによるものかどうか分からない。この地域は、１９１４年（大正３年）の桜島大噴火前後の写真では、甲突川河口右岸の天保山の埋立地に対応して砂州が発達している。この液状化しやすい砂州の場所が、１９６０年代半ばに、港湾施設の構築にともない浚渫された土砂で埋め立てられ、現在に至っている。

埋立地と同様、団地の盛土部も液状化が発生しやすいと報告されている（宮城県沖地震、千葉東方沖地震など）。しかし、１９７０年代から調査を続けている薩摩団地の地山と盛土境界の亀裂は、地震の前後にあたる１９９７年１月と５月の調査では、変化は認められなかった。

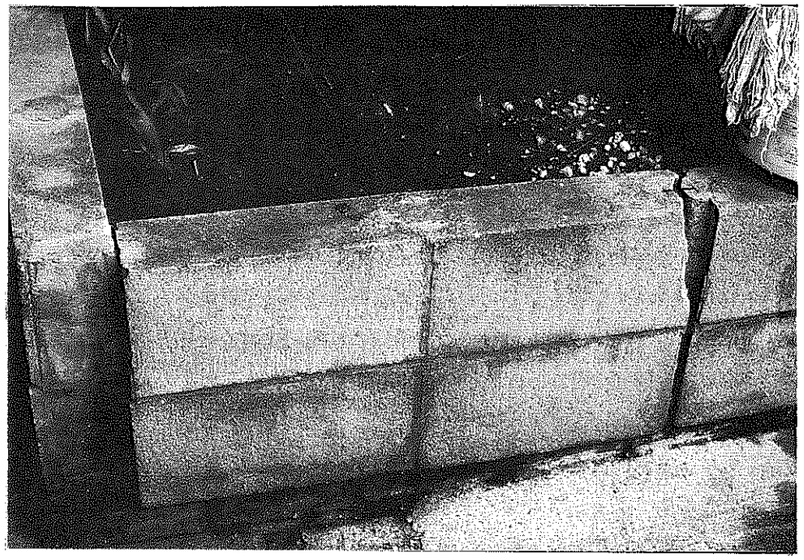


写真10．鹿児島市錦江町における花壇の亀裂とブロックの横ずれ．

４．１９１４年（大正３年）の桜島地震

大正３年の桜島大噴火に伴って、M７.１の地震が発生している。震災予防調査会（1920）の震災予防調査報告書（執筆代表：今村明恒）を参考にして、桜島地震についてその概要をまとめると次のようになる。

『大正噴火の前兆として、１月１０日から噴火当日の１２日午前６時までに、桜島と鹿児島市で４１７回の地震を記録し、そのうちの１０回はM４.９～５.１の強いものであった。噴火開始から８時間後の１２日午後６時２９分にM７.１の最大の地震が発生し、鹿児島市では死者１３名、負傷者９６名、家屋全倒３９棟、

半倒１３０棟、市外では死者１６名（石川、1992：２２名）、負傷者１６名、家屋全倒８１棟、半倒６５棟などの被害が発生した。震度は、鹿児島で烈震、宮崎・熊本・佐賀・長崎で弱震、大分・佐世保・広島・福岡・名瀬で微震であったが、マグニチュードが大きかったにもかかわらず、震域が狭いということが桜島地震の特徴としてあげられる』。

震災予防調査会（1920）の報告した鹿児島県各市郡における噴火地震震災概表を表１に示す。この表には地震の被害だけでなく噴火による被害も含まれているが、桜島および牛根村の２９名の溺死者、桜島の焼失家屋がそれに相当する。また、鹿児島市における被害表を表２に示す。

震災予防調査会（1920）は、表２に示された家屋と石塀の被害から、桜島地震の鹿児島市中心部における震度（現在、使われている震度とは異なる）分布図を作成した（図２上）。現在の地形（図２下）を参考までに付記したが、甲突川左岸以北の現在の市街地と右岸以南の現在の高麗町・荒田町付近（震度Ⅱ）を除く市街地の大半は震度Ⅲを示し、最も被害の大きい震度Ⅳは現在の鹿児島駅から甲突川左岸の甲突町へ至る海岸に近い地域で認められる。震災予防調査会（1920）は震度Ⅳの地域と埋立地の関係について触れ、「ここ最近百年間の埋立地の状況を考えると、ここで震度がもっとも強いということが想像でき、今回の地震では水平加速度が2000mm／s^2（200　Gal）に達した。なお、この区域内には山下町加治木屋敷跡、すなわち200余年前に海底であった土地を含むことを注意しなければならない」と述べている。さらに、震災予防調査会（1920）は、震度がもっとも軽かったのは丘陵部で、次に軽い地域は地蔵角より松原町、新町にいたる一帯、柳町、車町、恵美須町、和泉屋町であると報告し、前者は土地が少々高いので天然の地盤で、後者は稲荷川によって自然に埋め立てられた古い土地と推定している。

５．鹿児島市中心部の沖積層と震災予防調査会（1920）の震度分布

鹿児島市地盤図編集委員会（1995）は、市内の2,000本をこえるボーリング資料（鹿児島大学水産学部敷地内で行なわれたボーリングコア試料を含む）から、鹿児島市の沖積平野地形・地質発達史について論述している。筆者らも、ボーリングコア試料を使って、沖積層の粒度組成および化石群集の垂直変化を調べ、地形・地質発達史について調査研究を行なった。詳細は別の論文で報告するとして、ここでは桜島地震と関連した地形・地質のみに触れる。

鹿児島市の沖積平野は、基本的に入戸火砕流堆積物（約25,000年前）が開析され、その後の海水準上昇によって埋め立てられた場所である。アレレード海進（約18,000～10,000年前）の始まる前の鹿児島市地域は深い谷部で、入戸火砕流堆積物より下位の地層（花倉層・吉野火砕流・城山層など）にまで浸食がおよんでいる（早坂・大木、1971；鹿児島市地盤図編集委員会、1995）。6,000年前後をピークに縄文海進が起こったが、最大時には現在の市街地の大半は海に没し、当時の海岸線は草牟田付近にまで後退したことが、草牟田で得られたボーリング試料に含まれる貝化石から明らかになった。この当時の市街地は、内湾浅海域の堆積環境にあり、内湾泥が堆積している。鹿児島市地盤図編集委員会（1995）の資料でも、ほぼ現在の海水準の高度まで貝化石を多く含む泥層が広く分布していることが報告されている。

5,000年以降、海水準は徐々に低下し、鹿児島市地盤図編集委員会（1995）も述べているように甲突川や旧田上川から供給される粗粒な氾濫原堆積物が浅くなった内湾を埋め立てたと考えられる。このことは鹿児島大学工学部、理学部の工事現場において、斜交葉理を持つ淘汰良好な海浜砂堆積物を河川の氾濫原堆積物

表２．桜島噴火地震鹿児島市被害表（震災予防調査会、1920）

町名	全潰 住家	全潰 その他	潰 計	半潰 住家	半潰 その他	潰 計	破損 住家	破損 その他	計	罹災戸数
川	0	3	3	1	5	6	131	30	161	147
荒田東	0	2	2	0	9	9	144	56	200	179
荒田水	0	3	3	0	10	10	212	71	283	296
荒田	0	2	2	2	0	2	215	30	245	216
荒田原	0	0	0	0	4	4	163	9	172	171
荒田原	0	5	5	0	0	0	154	2	156	171
荒田	0	3	3	0	1	1	384	23	407	432
新屋敷	0	0	0	2	3	5	170	35	205	377
常盤	1	1	2	0	0	0	218	1	219	222
武	0	0	0	1	0	1	173	0	173	167
高麗	0	0	0	4	7	11	361	7	368	303
上荒田	0	1	1	0	4	4	232	4	236	231
下荒田	1	4	5	4	2	6	552	4	556	268
上竪町	0	0	0	6	4	4	742	4	746	639
下竪町	1	14	15	4	0	4	254	0	254	294
上竪町	0	4	4	4	14	18	210	46	256	280
泡ノ上	0	4	4	6	14	20	208	48	256	241
下屋敷	3	1	4	2	5	7	181	56	237	459
山之口	2	0	2	1	2	3	408	51	459	681
甲突町	1	9	10	0	0	0	237	12	249	319
生見	2	1	3	2	0	2	54	11	65	63
六反	3	0	3	0	6	6	25	4	29	66
堀江	0	0	0	2	3	5	23	5	28	46
松原	0	3	3	6	0	6	102	20	122	211
泉見	0	0	0	3	0	3	180	30	210	285
吉野	1	4	5	1	0	1	98	25	123	466
汐入町	0	0	0	5	0	5	166	35	201	162
浜町	1	0	1	1	0	1	110	36	146	65
千石	1	2	3	1	3	4	150	40	190	183
中	3	4	7	3	2	5	20	10	30	30
生麦	2	5	7	6	3	9	425	15	440	460
鹿児島	1	1	2	13	2	15	136	17	153	160
金生	2	5	7	3	0	3	110	38	148	112
大竜	2	1	3	8	0	8	113	15	128	164
山之口	0	4	4	6	0	6	182	12	194	177
加治木町	0	0	0	0	0	0	97	22	119	119
新照国	0	0	0	0	0	0	262	44	309	548
西千石	0	0	0	0	0	0	270	45	315	554
之園	2	1	3	0	0	0	216	41	257	307
小鹿美須	2	0	2	0	0	0	198	12	210	273
和泉屋	2	0	2	0	0	0	117	7	124	124
東	0	0	0	0	0	0	229	13	242	472
向江	0	0	0	2	1	3	200	11	211	463
武田	0	1	1	0	0	0	340	35	375	633
永水	0	0	0	0	0	0	150	15	165	178
合計	26	94	120	94	111	205	6,744	1,000	7,744	10,000

（注２）表中の百分率とは、家屋の全潰数と半潰数の二分の一との和の、総戸数100に対する割合である。つまり、半潰家屋２棟＝全潰１棟として数えてある。

表１．桜島噴火地震震災概表（震災予防調査会、1920）

	死亡	負傷	震災戸数	全潰	住家半潰	破損	その他半潰	備考（震災概況など）
鹿児島市	13	96	0	39	130	0	0	6	震災総戸数＝吉野＋谷山＋鹿児島市＋桜島
鹿児島郡（旧三郡）	15	9	0	18	23	0	0	0	
谷山村	1	6	3	0	8	0	10	5	震災総戸数（旧郡）
東桜島村	24	0	677	3	12	0	0	0	鹿児島市
西桜島村	1	1	1467	21	14	0	0	0	谷山町
喜入村	0	0	0	1	0	2	0	0	喜入町
瀬生村	0	0	0	0	1	0	0	0	鹿屋町
国分村	0	0	0	1	0	6	0	0	国分市
東国分村	0	0	0	0	0	4	0	0	国分市
西国分村	0	0	0	2	1	19	0	0	隼人町
清水村	0	0	0	0	0	1	0	0	国分市隼人
西襲山村	0	0	0	0	0	1	0	0	隼人町（旧加治木）
岩川村	0	0	0	7	0	0	0	0	大隅町
牛根村	4	0	1	16	6	2	0	0	垂水市（牛根）
松山村	0	0	0	2	0	0	0	0	松山町
百引村	0	0	0	9	0	10	0	0	鮫島村
垂水村	0	0	0	1	0	0	0	0	垂水市
合計	58	112	2148	120	195	45	3	39	11

図２．桜島噴火地震（1914）の震度分布（上）と現在の地形（下）（震災予防調査会、1920）．
国土地理院2万5千分の1地形図「鹿児島市北部・南部」を使用.

が覆っていることからもよく分かる。理学部の工事現場で観察された氾濫原堆積物から多くの弥生時代の彩色土器が産出している。江戸時代初期には図３に示す位置まで海岸線が前進したと考えられる。

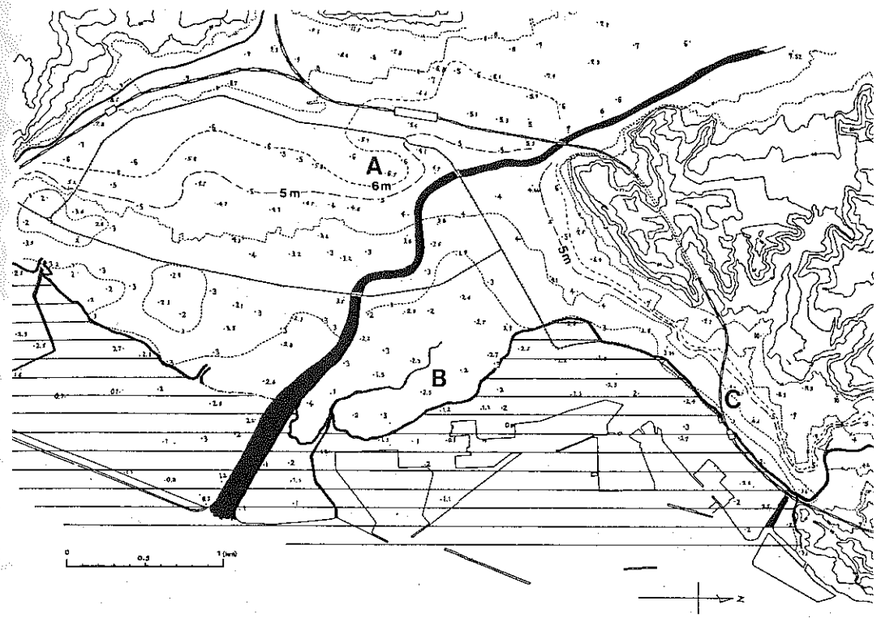


図３．鹿児島市地域の江戸時代初期（埋め立てまえ）の海岸線と地形（横線部は海域）．
A：上之園町・加治屋町地域；B：松原町・南林寺町地域；C：柳町・上本町地域

以下、震災予防調査会（1920）の震度分布域と地下地質との関係について述べる。

5-1．震度Ⅰ～Ⅱの地域

すでに述べたように、震度Ⅰは丘陵部で、約60～13万年前に堆積した花倉層・吉野火砕流・城山層などから構成される基盤岩を覆って入戸火砕流堆積物が分布している地域に相当する。

震度Ⅱは、上之園町・加治屋町（上荒田町・下荒田町・新屋敷町の一部を含む）地域、松原町・南林寺町にいたる地域、および柳町・上本町地域である。高麗町・荒田町は、震災予防調査会（1920）の図には表示がないのでここでは触れない。

鹿児島市地盤図編集委員会（1995）の示した沖積層基底面の等高線図（図４）によると、上之園町・加治屋町（荒田町）地域の基底面は周辺に比べて高く、標高が－30mから－40m前後と浅くなっている。鹿児島市地盤図編集委員会（1995）は、沖積層堆積以前には城山から南へ伸びる半島の存在を示唆している。現在の地形でも、上之園町から荒田町一帯の標高が５mをこえ、周辺域に比べてやや高くなっている。

松原町・南林寺町にいたる地域は、沖積層基底面の等高線が－40～－50mの間にある。現在の地形は、震災予防調査会（1920）も指摘したように周囲に比べ標高が高く（2.5～3m）、浸食からまぬがれた低位の海岸段丘の可能性もある。

柳町・上本町地域がパッチ状に被害の少ない理由はよく分からないが、沖積層基底面の等高線図（図４）や周辺の地質（大木・早坂、1970）を参考にすると、基盤にあたる入戸火砕流およびその下位の地層の浸食面が浅く、周囲に比べて高くなっている可能性がある。

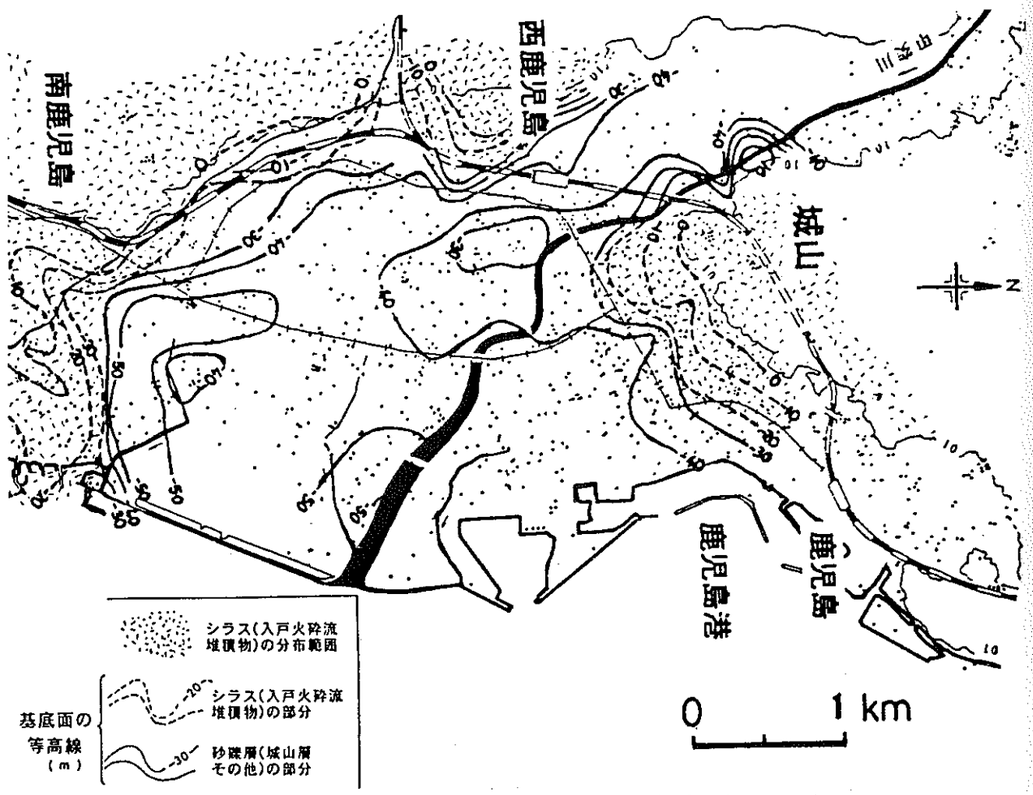


図４．鹿児島市の沖積層基底面の等高線図（鹿児島市地盤図編集委員会、1995）．

5-2．震度Ⅲの地域

震度Ⅲの分布域は、西鹿児島駅以西の、城西・西田・武から上荒田町へ至る、ほぼ南北にのびる帯状の地域、上之園町・加治屋町（荒田町）地域の震度Ⅱの地域を取り囲む市街地、照国町から稲荷町へ至る市街地、および甲突川沿いの草牟田町の地域である。

城西・西田・武から上荒田町へ至る地域は、鹿児島市地盤図編集委員会（1995）によれば、沖積層堆積前には標高－40mより深いチャネル地形（図４）を呈しており、当時の甲突川はこの谷底を流れていたと報告されている。

上之園町・加治屋町（荒田町）地域の震度Ⅱの地域を取り囲む市街地は、沖積層の厚さが50m前後と厚い地域に相当する。

照国町から稲荷町へ至る市街地は、鹿児島市北部に広がる吉野台地と鹿児島湾（江戸時代以降の埋立地を除く）に挟まれた幅500m前後の帯状の地域である。吉野台地南縁辺部には、一部を除いて城山層以前の地層が露出している（大木・早坂、1970）。これらの地層（花倉層・磯火砕流・城山層）の浸食面が地下浅

部に存在する吉野台地縁辺部に海抜高度10m前後の段丘が発達している（清水町、春日町、大竜町、城山町、照国町、平之町；早坂・大木、1971）。基盤岩が比較的浅いにもかかわらず、この地域の被害が比較的大きかった理由として、段丘面を構成する未固結の段丘堆積物の存在が考えられる。鹿児島市地盤図編集委員会（1995）の示した、この地域の地質断面図からも基盤の上を沖積層（段丘堆積物）が場所によっては10m程の厚さで覆っていることが読み取れる。この段丘を構成する堆積物は、約6,000年前の縄文海進によって海水面が現在より５m前後上昇し、海岸線が内陸へ移動した時に稲荷川、甲突川から供給され、台地縁辺部の狭くなった当時の沖積平野に厚く堆積し、その後の海水準低下によって段丘として取り残されたと考えられるが結論は今後の調査を待たなければならない。

甲突川沿いの草牟田町付近は、この地域が天保以前の甲突川の流路（定まっていなかった）あるいは湿地であったことと調和的である。当時の被害報告でも、国道沿いや甲突川べりでは幅10～20cm、長さ約百メートルを越す地割れや無数の大きな亀裂を生じたと記述されている。

5-3．震度Ⅳの地域

震度Ⅳの分布域は、１９１４年（大正３年）当時の海岸に沿った地域に限られる（図２、３）。震災予防調査会（1920）が指摘したように、この地域は江戸時代以降の埋立地に相当する。

江戸時代（1650年頃）から明治時代（1906年）の間に埋め立てられた地域と時期は、木脇（1976）によって以下の様にまとめられている（町名は旧地名）。

1650年頃～1703年（元禄頃）：中町、船津町、浜町、向江町

1818年～1872年（文政～明治）：大黒町、小川町、易居町、堀江町、金生町、泉町、住吉町、汐見町、築町、行屋堀、生産町

1906年（明治）：洲崎町

これらの町は全て震度Ⅳの地域に含まれており、埋立地の揺れの大きさを物語っている。

6．まとめ

１９９７年３月２６日（M6.3）、５月１３日（M6.2）に発生した鹿児島県北西部地震の被害状況は都市防災を考える上で示唆に富んでいる。また、１９１４年（大正３年）の桜島地震（M7.1）における被害は、鹿児島市で直下型地震が起こった場合の被害を推定する上で重要である。被害拡大の要因を安易に決めつけることはできないが、これまで述べてきたことから、地震の被害が地形・地質、とくに沖積層堆積以前の地形と表層地質、沖積層の性質に大きく影響されることは否定できない。

防災上、地形・地質の立場から、鹿児島市の沖積平野について次のような問題点が指摘される。

1．阿久根漁港や、桜島地震の際の鹿児島市の埋立地の被害状況からも明らかなように、過去、数百年の間に造成された海岸の埋立地は液状化を起こしやすく、建造物が多大の被害を蒙る可能性が高い。とくに１９４０年代以降に造成された鹿児島市沖の埋立地は、鹿児島地溝の内側に位置し、地溝の縁に落差の大きい断層が存在すること（早坂・大木、1971；大木ほか、1990）、入戸火砕流堆積物(いわゆるシラス)を削って埋め立てる水撒工法を採用し、地盤が比較的淘汰の良い細粒砂から構成されていることから液状化が極めて起こりやすいと考えられる。県庁の地震被害も埋立地であることが大きく影響したと思われる。

2．宮之城町虎居、甫立集落北方の農業用施設の被害で明らかなように、道路や住宅地の盛土部も地震に

よって被害が集中する可能性が高い。桜島地震で被害の少なかった丘陵地（入戸火砕流以前の地層からなる）でも、１９６０年代以降に造成された大型団地等では、豪雨、長雨と重なれば被害が増大する可能性が強い。とくに、大木（1988；1994a；1994b）の指摘した、鹿児島市の団地における地山と盛土との境界部の亀裂が拡大しない手だてを講じる必要がある。亀裂を放置し、雨水が流入することによってパイピングが形成された場合、地震による陥没等で多くの住宅が倒壊するおそれがある。

3．鹿児島市地盤図編集委員（1995）が、その詳細を明らかにした沖積層の層相および沖積層基底面の高度分布は、地震の被害に最も関係すると考えられる。しかし、震災予防調査会（1920）の震度分布と地形・地質との関係が、必ずしもうまく説明できない地域には別の要因があると考えられ、沖積層の地震に対する特性が十分に解明されたとは言えない。今後、可能な限り多くのボーリングコア試料を採取し、層位学的、堆積学的、岩石学的手法を駆使して沖積層を三次元的に捉えなくてはならない。この結果をもとに、危険度地図等の作成、市民の防災意識向上のための情報公開が必要であろう。

鹿児島市に分布する、１００万年前以降の地層群には多くの断層やクラスティックダイク（液状化）が認められ、大規模な隆起・沈降運動が確認されている（大木・早坂、1970；早坂・大木、1971；大木ほか、1990；大木、1994a；1994b；大木・岡田、1997）。さらに、約２万５千年前に噴出堆積した入戸火砕流にも断層やクラスティックダイクが存在し、ウルム氷河期以降にも数多くの地震が起きたと推定される（大木、1994a；1994b）。鹿児島市地域の被害を軽減化するためには、地盤の改良、建造物の耐震性を重視する工法の採用などがあげられるであろうが、専門を越えた研究者、技術者が協力して、日頃から対策を考えておくべきであろう。将来の地震に備えて、１９９７年に人口が５５万人をこえた鹿児島市の都市機能を分散させ、周辺の過疎地を視野に入れた都市計画を行なう時期にきている。

謝辞：（株）ユニオン技術コンサルタンツの中山義男、末吉哲也両氏は、宮之城町虎居、甫立集落北方の農業用施設の被害調査の際に貴重な情報を与えて下さった。南日本放送の税所朋子氏は、貴重なビデオ画像の接写を許可していただいた。鹿児島大学理学部付属南西島弧地震火山観測所所長角田寿喜教授には、論文を査読していただいた。これらの方々には心よりお礼を申し上げます。また、本論文発表の機会を与えて下さった鹿児島大学理学部の岩松　暉教授にもお礼を申し上げます。

参考文献

赤崎秀敏・上園純保、1997：鹿児島県北西部地震に伴う農業用施設の被災状況．鹿児島県地質調査業協会、32-43.

早坂祥三・大木公彦、1971：鹿児島市地域のボーリング資料にもとづく地質学的考察．鹿児島大学理学部紀要（地学・生物学）、no. 4、15-29.

井村隆介・岩松　暉・隈元幸司、1997：１９９７年３－５月に発生した鹿児島県北西部の地震被害．鹿児島県地学会誌、no. 76、29-35.

石川秀雄、1992：桜島 - 噴火と災害の歴史　．共立出版、211pp.

鹿児島大学県北西部地震被害調査研究会・財団法人鹿児島県建設技術センター、1997：１９９７年鹿児島県北西部地震被害調査報告書、153pp.

鹿児島市地盤図編集委員会、1995：鹿児島市地盤図．鹿児島大学地域共同研究センター・社団法人鹿児島県地質調査業協会、131pp.

木脇　栄、1976：鹿児島市史こばなし．南日本新聞開発センター、199pp.

大木公彦、1988：宅地造成と地質　鹿児島市を例にして．鹿児島県地学会誌、no. 61、1-6.

大木公彦、1994a：鹿児島市の地質と豪雨災害（その１）．鹿児島県地学会誌、no. 69、1-10.

大木公彦、1994b：８・６豪雨災害と鹿児島市の地質．1993年豪雨災害鹿児島大学調査研究会「1993年豪雨災害の総合的調査研究」報告書、61-73.

大木公彦・舟津俊宏・早坂祥三、1970：鹿児島市南部の地質・とくに伊作火砕流と照国火砕流との関係について．浦島幸世教授退官記念論集「地球のめぐみ」、125-133.

大木公彦・早坂祥三、1970：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.

大木公彦・岡田博有、1997：第四紀における姶良カルデラ周辺地域の構造発達史．月刊地球、vol. 19、no. 4、247-251.

震災予防調査会、1920：震災予防調査報告、no. 92、55-65.

1997年3-5月に発生した鹿児島県北西部の地震被害と地質

鹿児島大学理学部　井村隆介・岩松　暉・隈元幸司

1　はじめに

1997年3月26日17時31分頃，鹿児島県北西部の紫尾山付近を震央とするマグニチュード（M）6.5，深さ12kmの地震が発生した．この地震で鹿児島県の阿久根市，川内市，宮之城町では，震度5強を観測した（表1）．その後，余震活動は沈静化していくように見えたが，5月13日14時38分頃，3月26日の地震の震央から南西に約5km離れた地点を震央とするM6.3，深さ9kmの地震が再び発生（一般には第2鹿児島県北西部地震と呼ばれている）して，川内市で震度6弱，宮之城町で震度5強，阿久根市でも震度5弱を観測した（表1）．

これらの一連の地震活動によって鹿児島県北西部の広い地域では，さまざまな地震被害が生じた．筆者らは，地震直後からその被害の状況と地盤の関連について調査を行ってきた．本報告では，これまでに明らかとなった被害の状況と地質の関連について紹介する．

2　震源域の地形と地質

2．1　地形の概要

今回の地震の震源域は，鹿児島県北西部にあたり，紫尾山（1067m）を最高峰とする出水山地がその主部を占める．出水山地は，紫尾山周辺を除くと標高600m程度の定高性を持った峰が東北東-西南西に連なっている山地である．

出水山地の北側には，八代海へとそそぐ米ノ津川や高尾野川などによって形成された大きな扇状地と沖積平野（出水平野）が広がっている．出水山地と出水平野の境界は，活断層である出水断層によって分けられ，その地形境界は明瞭である．八代海に面した地域では，古くから干拓が行われており，広い干拓地がある．

一方，出水山地の南側は，標高100ないし300m程度の火砕流台地や北薩火山岩類からなる丘陵が広がり，その間の盆地をぬうように川内川やその支流が東から西へと流れている．鶴田町から東郷町にかけては，川内川沿いに浸食性の河成段丘がよく発達している．また，川内市街地付近から川内川河口にかけては，沖積平野が発達する．

2．2　地質の概要

北薩地域の地質（図1）は，およそ以下のようにまとめることができる．

この地域に分布するもっとも古い岩石は，川内川河口域に局所的に分布する，川内古生層と呼ばれる地層である．これは主として頁岩からなるが，砂岩・礫岩なども含む．化石が未発見のため，この層を古生層とする直接の証拠はないが，いわゆる秩父古生層の岩石に酷似しているため，川内古生層

表 1　鹿児島県北西部の地震の概要

発生日時	3月26日17時31分47.9秒		5月13日14時38分27.5秒	
震央	鹿児島県薩摩地方 北緯：31° 58.7' 東経：130° 21.6'		鹿児島県薩摩地方 北緯：31° 56.9' 東経：130° 18.1'	
深さ	12km		9km	
マグニチュード	6.5		6.3	
震度	気象台	鹿児島県	気象台	鹿児島県
6強		鶴田町		鶴田町
6弱		東郷町，阿久根市	川内	東郷町，祁答院町
5強	川内，阿久根，宮之城	祁答院町，樋脇町，薩摩町，菱刈町	宮之城	樋脇町，入来町
5弱		牧園町，高尾野町，金峰町，加治木町	阿久根	牧園町，高尾野町，金峰町，市来町，松元町，吉松町，大口市，日吉町，阿久根市，横川町，姶良町，野田町，栗野町，菱刈町
4	枕崎，大口，隼人，鹿児島	伊集院町，吹上町，里村，鹿児島市，東町，知覧町，上甑村，松元町，末吉町，市来町，東市来町，財部町，溝辺町，郡山町，霧島町	鹿児島市東郡元，枕崎，鹿児島市下福元，大口，隼人	伊集院町，吹上町，鹿児島市，東町，霧島町，上甑村，末吉町，喜入町，加世田市，川辺町，東市来町，郡山町，枕崎市，加治木町，桂島，鹿島村，吉田町，頴娃町，開聞町，大浦町，溝辺町，長島町，財部町

震源要素は鹿児島地方気象台，震度まとめは鹿児島県消防防災課による

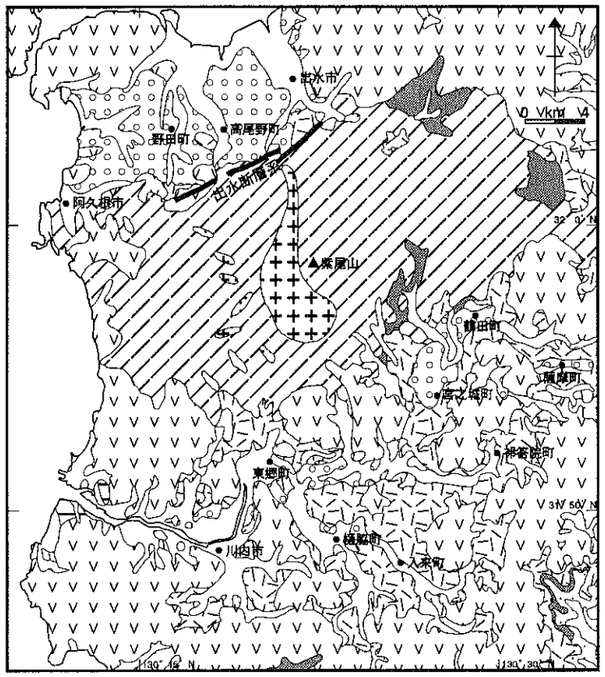


図1　北薩地域の地質略図

と呼ばれている．

川内古生層に次いで古いのは，出水山地を構成する，白亜系の四万十層群である．主として砂岩・頁岩・砂岩頁岩互層・玄武岩質溶岩などからなる．

四万十層群を貫いて中新世の紫尾山花崗岩類が貫入している．花崗岩は風化してマサとなり，浸食されやすいために，実際には花崗岩分布域は地形的凹地になっている（たとえば，宮之城町泊野地域）．紫尾山の山頂部は，この花崗岩類の貫入によって熱変成を受けてホルンフェルス化した四万十層群からなっている．

北薩地域では，鮮新世から前期更新世にかけて広い範囲で火山活動が起こり，これによって北薩火山岩類と呼ばれる多量の火山岩が噴出した．北薩火山岩類は，出水平野の北東部に位置する矢筈岳のように比較的大きな火山体を残しているものもあるが，大部分は解析されて，丘陵あるいはメサ状の地形を呈している．

中・後期更新世には，加久藤火砕流，入戸火砕流などの大規模火砕流が北薩火山岩類の谷間を埋めるように堆積し，広い火砕流台地を形成した．

今回，鹿児島県北西部で起こった地震の震源域は，地質学的には「北薩の屈曲」（橋本，1962）と呼ばれる地域で，四万十層群がその走向を西南日本弧に沿った北東－南西方向から琉球弧に沿った南北方向へと大きく変える位置にあたる．地震の余震分布はこの屈曲の軸部にほぼ沿っているようにも見えるが，この北薩の屈曲をもたらした構造運動は，紫尾山花崗岩類の貫入時（15±4Ma：Miller *et al.*, 1962）にはすでに終了していたとされており（米田・岩松，1987），今回の地震の直接の原因をこれに求めるのは難しいと考えられる．震源域の北側には，東北東-西南西にのびる出水断層系が存在する．出水断層系は，右横ずれ成分を持つ逆断層からなり，その活動度は B～C 級と推定されている（活断層研究会編，1991）．余震域に活断層の存在を示唆するような変位地形やリニアメントは認められない．

3　地震被害の特徴

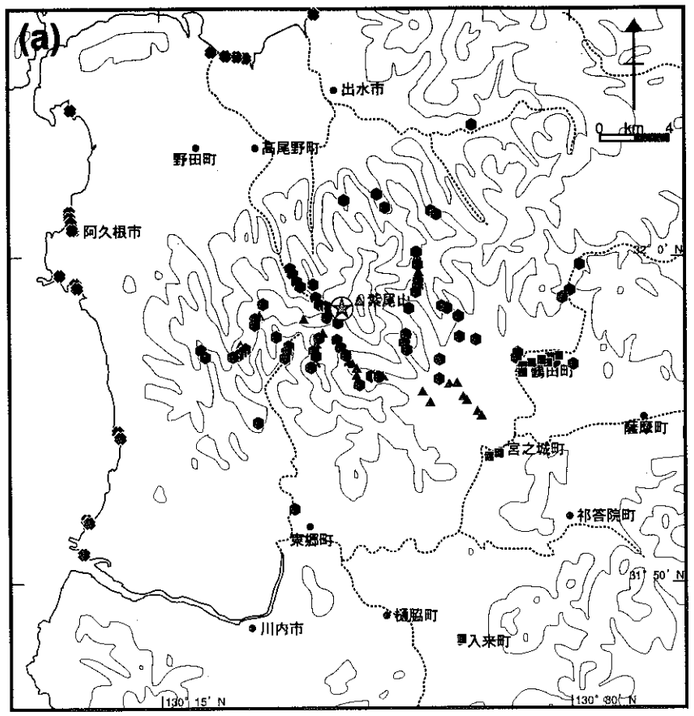
地震動による顕著な被害を斜面崩壊，建物被害，道路被害，液状化被害に分けた（図 2）．この図から，3月 26 日，5月 13 日のいずれの地震でもほぼ同じところで同じような被害が生じていることがわかる．

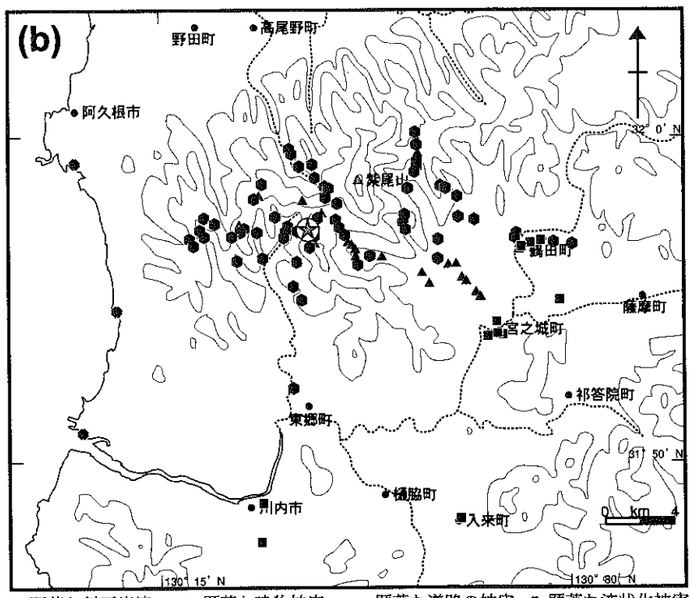
3．1　斜面崩壊

斜面崩壊は，震央に近いほど多く発生しているが，その発生場所の地質によって以下の 5 つのタイプに大きく分類できる．

1) 四万十層群の崩壊
2) 紫尾山花崗岩類の風化部（マサ）の崩壊
3) 北薩火山岩類の崩壊
4) 非溶結火砕流堆積物（シラス：主として入戸火砕流）の崩壊
5) 溶結凝灰岩（主として加久藤火砕流）の崩壊

四万十層群，紫尾山花崗岩類の風化部，非溶結火砕流堆積物の崩壊は，ほとんどの場合，表層の不





● 顕著な斜面崩壊　■ 顕著な建物被害　▲ 顕著な道路の被害　✹ 顕著な液状化被害

図2　地震動による顕著な被害の分布
(a)は3月26日の地震(M=6.5)，(b)は5月13日の地震(M=6.3)．
星印はそれぞれの地震の震央．等高線間隔は200m．

安定な部分が滑り落ちる形で発生した，浅い表層崩壊である．ただし，震央に近い地域では，四万十層群の厚い砂岩のブロックや径2mにもおよぶ花崗岩のコアストーンの崩落が認められた．一方，北薩火山岩類，溶結凝灰岩の崩壊は，冷却節理で区切られた大きなブロックが崩落するような形で発生した．いずれのタイプの崩壊も，道路あるいは住宅裏の法面や伐採・植林後間もないところなど，人間の手の加わったところで多く発生しているように見える．

3．2　地震動による建物被害

今回の地震活動では，屋根瓦の落下あるいは壁や塀にひびが入るというような被害を除けば，地震動そのものによって“全壊”といった被害を受けた建物は特定の地域に集中した．震央に近い山間部の集落では，古い木造住宅が多いにも関わらず，ゆれそのものによって倒壊するなどの壊滅的な被害を受けた住家はなく，敷地裏の斜面崩壊によって被害を受けた住家が目立った．これに対して，震央からやや離れた特定の地域で顕著な建物被害が多く生じた．3月26日の地震では，鶴田町鶴田・神子地区と宮之城町湯田・屋地地区に建物被害が集中した．5月13日の地震では，宮之城町屋地地区および川内市役所周辺で特に顕著な建物被害が生じた．3月26日の地震による鶴田町鶴田小学校の鉄筋2階建校舎の1階部分の柱の破損，5月13日の地震による宮之城町宮之城高校の鉄筋2階建校舎の1階部分の倒壊など，外見からは比較的堅牢に見える鉄筋建物で大きな被害が生じたのが今回の地震の特徴といえるかも知れない．

3．3　道路被害

ここでいう道路被害とは，斜面崩壊等による道路施設の埋没などをのぞく，路面の亀裂，沈下，陥没，橋梁等との取り付け部の沈下などをさす．路面の亀裂，沈下および陥没は，ほとんど盛り土部に集中しており，断層変位にともなうものは皆無であった．このような道路の被害は，近年になって拡幅，建設された主要道や広域農道あるいは林道に数多く見られ，その被害の規模も地形に沿って建設された古い道路に生じたものよりも明らかに大きいという傾向があった．

3．4　液状化被害

震源域に近い阿久根市，川内市，出水市の漁港や埋め立て地では，液状化による被害が発生した．阿久根漁港では，これまでにも港湾施設が徐々に沈下するという現象が認められていたが，今回の地震でさらに数cmから10cm程度沈下した．一方，阿久根新港の埋め立て地では，液状化にともなう地割れや噴砂が多数見られた．この埋め立て地は阿久根新港のしゅんせつ土砂によって埋め立てられたものであり，噴出した土砂には，白い貝殻片が含まれているものもあった．地割れは液状化にともなう地盤の側方移動によって生じたものであり，岸壁に平行な開口割れ目が多数見られたほか，局所的な圧縮にともなうプレッシャーリッジも認められた．

4　住民アンケートによる震度分布

3月26日および5月13日の地震によって被害を受けた地域の詳細な震度分布を把握するために，周辺住民に対してアンケートによる震度分布調査を行った．アンケートの質問項目，解析方法は太田ほか（1979）にしたがった．

アンケートは，震源に近い，川内市・阿久根市・宮之城町・鶴田町・東郷町・祁答院町・薩摩町・

樋脇町の2市6町の44小学校に協力をいただいて，3月26日の地震については保護者の方々に，5月13日の地震については教職員の方々に記入していただいた．3月26日の地震については，震源域の小集落ごとに震度が算出できるようにするために，1校あたり20部程度の回答が得られるように各校にお願いし，計910部の回答を得た．5月13日の地震については，各校における震度が推定できるように各校5部の回答をお願いし，計200部の回答を得た．アンケート調査による震度分布を図3に示す．

4．1　3月26日の震度分布

3月26日の地震に対するアンケート用紙の配布は，5月9日から5月12日に行い，配布後1週間以内に回収した．地震後1ヶ月以上の時間が経過していたが，アンケート配布時の聞き取り調査で多くの住民が地震時の状況をよく記憶していたので震度の算定には問題ないと判断した．住民が当時の状況をよく覚えていたのは，大きな地震に初めて遭遇したことによるものであろう．アンケートによって得られた震度は，気象庁によって観測された各地の震度と大きな差がないので，このアンケートによる震度分布（図3（a））を3月26日の地震の震源域における震度分布と考えてほぼよいと思われる．

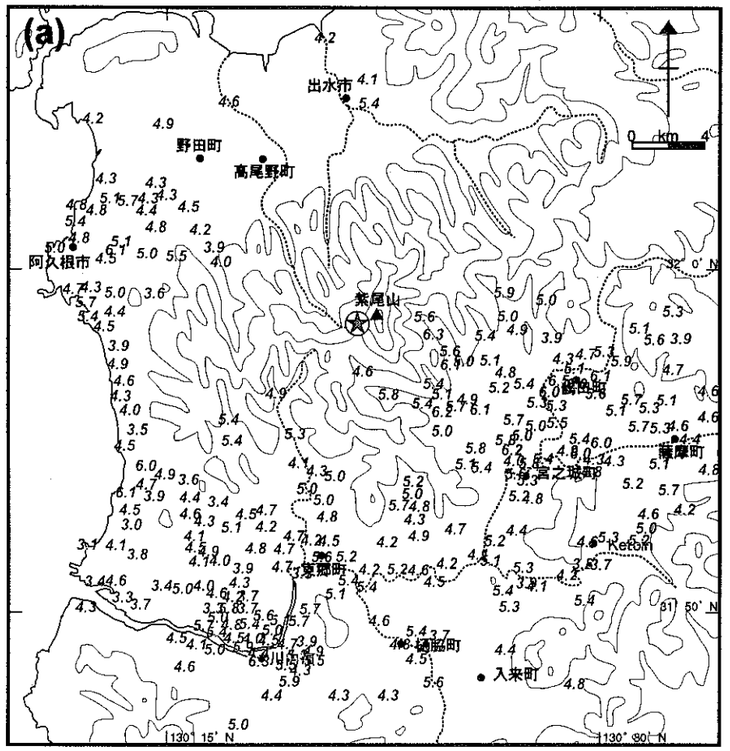
アンケートによって得られた震度で最大のものは，宮之城町湯田の6.7であり，同地域では平均しても6.5という大きな値となった．そのほか震度6を超えた地域は，鶴田町役場周辺，宮之城町平川地区，宮之城町広瀬・屋地・虎居地区の一部，川内市役所周辺，阿久根市山下地区の一部などであった．3月26日の地震で気象庁から発表された最大震度は阿久根市・川内市・宮之城町の震度5強であったが，鹿児島県独自の震度ネットワークは鶴田町役場で震度6強を観測していた．アンケートによる鶴田町役場周辺の大きな震度は，それを裏付けるものとなった．

震度6以上のゆれに限らず，アンケートによって得られた震度全体の分布を見てみると，震源に近い方が必ずしも大きなゆれを感じているとは限らないことがよくわかる．このことは，地震のゆれの大きさが震源からの距離よりもその場所の地形や地質条件によって大きく左右されることを強く示唆している．

4．2　5月13日の震度分布

5月13日の地震に対するアンケート用紙の配布は，地震直後の5月16日から19日にかけて行い，およそ1ヶ月以内に返送していただいた．地震直後の震源域では若干の混乱が見られたので，3月26日の地震のアンケートのように多くの保護者の方々にお願いするのではなく，小学校の教職員の方々に回答をお願いした．複数得られたアンケート震度を各校ごとに平均化したものを図3（b）に示す．アンケートによって得られた震度で最大のものは，川内市立可愛小学校の5.8であった．5月13日の地震で気象庁から発表された最大震度は川内市の震度6弱であったから，図3（b）を5月13日の地震の震源域における震度分布と考えてほぼよいと思われる．

可愛小学校のほか，川内市立平佐西小学校，宮之城町立盈進小学校の5.7，川内市立吉川小学校，東郷町立藤川小学校の5.6というのが，震度5強に相当するゆれを感じた小学校であった．授業時間中で，たくさんの児童がいたにも関わらず大きな被害に至らなかったことは幸いであった．3月26日の地震同様，震源からの距離とは関係なく，川内市や宮之城町市街地にゆれの強い場所があることが図3（b）から明らかである．



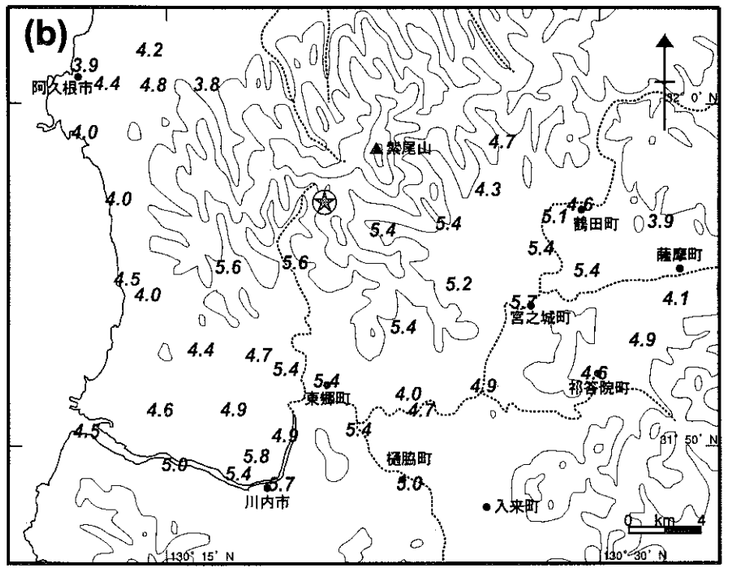


図3　アンケート調査によって求められた震度分布
(a)は3月26日の地震(M=6.5)，(b)は5月13日の地震(M=6.3)．
星印はそれぞれの地震の震央．等高線間隔は200m．

5 考　察

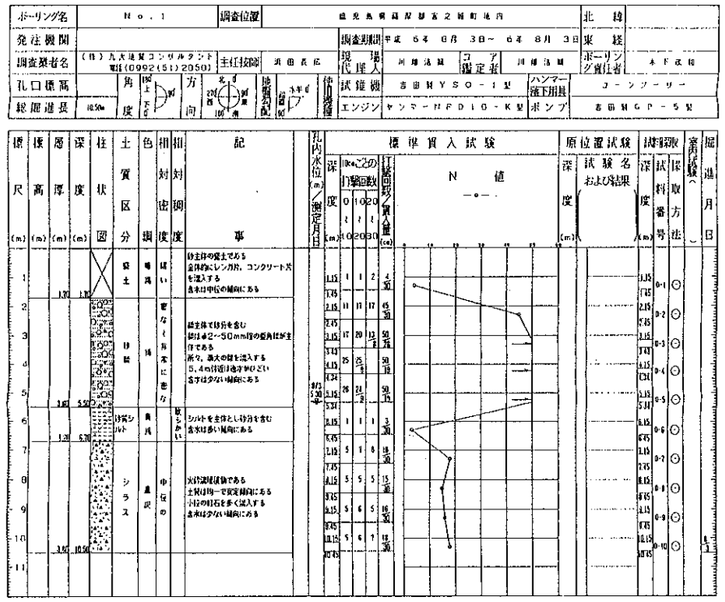
今回の地震によって顕著な建物被害を受けた鶴田町鶴田・神子地区，宮之城町湯田・屋地地区および川内市街地は，アンケートによる震度分布（図3（a, b））から，3月と5月のいずれの地震でも大きなゆれがあったことがわかる．

川内市街地は，川内川がつくった沖積低地であり，この付近での大きなゆれや建物被害の集中は，いわゆる軟弱地盤によるものと解釈できる．しかし，鶴田町鶴田・神子地区，宮之城町湯田・屋地地区は沖積低地ではなく，一般に沖積低地に比べて地盤条件がよいとされる広い段丘上に位置する．このような地域で大きなゆれを感じたり，地震動による建物被害が顕著であったのはどうしてであろうか？

建物被害が顕著であった鶴田町鶴田および宮之城町屋地地区にある小学校敷地内のボーリングデータ（図4）を見ると，いずれも段丘構成礫層の直下に厚さ1ないし数mの風化して粘土化した入戸火砕流堆積物（風化シラス層）が存在する．地盤の硬軟，締まりぐあいを知る指標の一つであるN値に注目してみると，段丘構成礫層と段丘の基盤をなす入戸火砕流堆積物（非溶結）のN値がいずれも10程度以上の値を示すのに対し，この風化シラス層は表土より小さい2〜5のN値を示していることがわかる．一般的には地震動には強いとされる段丘上で被害が生じたのは，含水率が高くて軟弱な，この風化シラス層の影響である可能性が強い．一方，宮之城町屋地の県立宮之城高校では，顕著な建物被害が生じただけでなく，平坦なグラウンドに多数の亀裂が3月26日の地震でも5月13日の地震でも生じた（写真1）．これらの亀裂はすべて開口割れ目で，南の山側から北側の低い川内川方向に滑るように円弧上に分布していた．5月13日の地震による校舎建物の柱の倒壊も亀裂の生じたグラウンド側でより顕著であった．その後のボーリング調査の結果，これらの亀裂は10m近い厚い盛り土部分に生じていることがわかった（図5）．宮之城高校での建物被害やグラウンドの亀裂は，強い地震動だけでなく，広い敷地やグラウンドを確保するために行われた厚い盛り土のために生じたものと考えられる．

千田ほか（1997）は，3月26日の地震による墓石の回転方向の分布から，東郷町本俣，宮之城町泊野，同町平川，同町湯田，鶴田町上手を結ぶ線の付近に地表地震断層が存在する可能性を指摘した．筆者らも地震の直後から墓石の転倒率，転倒方向および回転方向などを測定したが，千田ほか（1997）が指摘するような顕著な傾向は認めることができなかった．また，筆者らは千田ほか（1997）の推定断層付近を精査したが，断層変位にともなう地表面の段差や亀裂などを認めることはできなかった．アンケートによる震度分布（図3（a））でも，その付近に特に大きなゆれが集中するなどの変化はみられない．千田ほか（1997）で推定された断層の位置は，精密に観測された余震分布の列（震源断層）から南に約2kmずれている．震源断層の最浅部が海面下約1kmにあること（宮町氏，私信）から，千田ほか（1997）の指摘する位置に地表地震断層を出現させるには，かなり低角の断層を考えなければならない．しかし，地震観測によって求められた今回の震源断層はほぼ鉛直の左横ずれであり，千田ほか（1997）によって推定された断層と観測から求められた震源断層を結びつけるのは困難である．以上のことを総合すると，今回の一連の地震活動では地表地震断層は出現しなかったと結論づけることができよう．

(a)



(b)

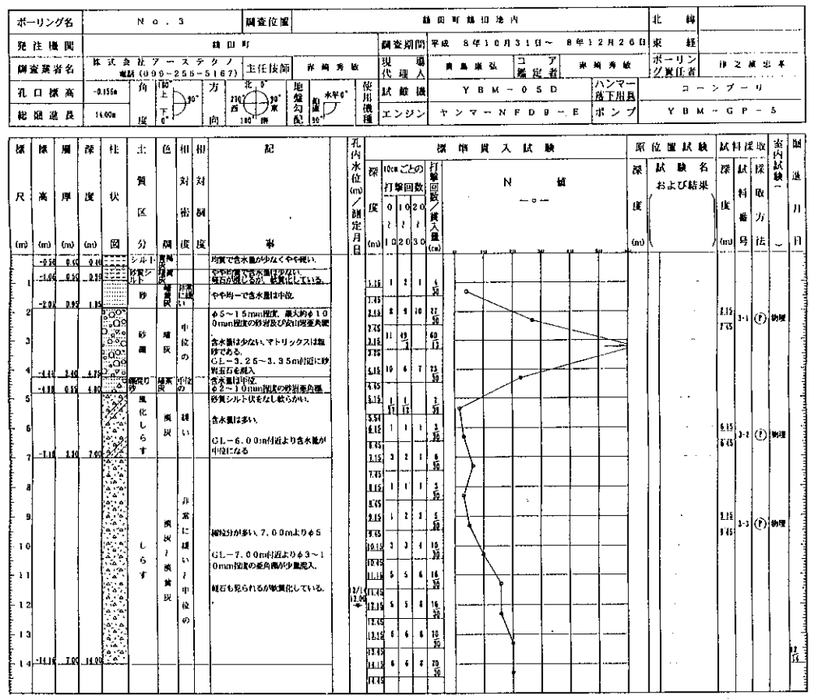


図4　顕著な建物被害のあった小学校敷地内のボーリングデータ
(a)は宮之城町屋地にある盈進小学校，(b)は鶴田町鶴田にある鶴田小学校．

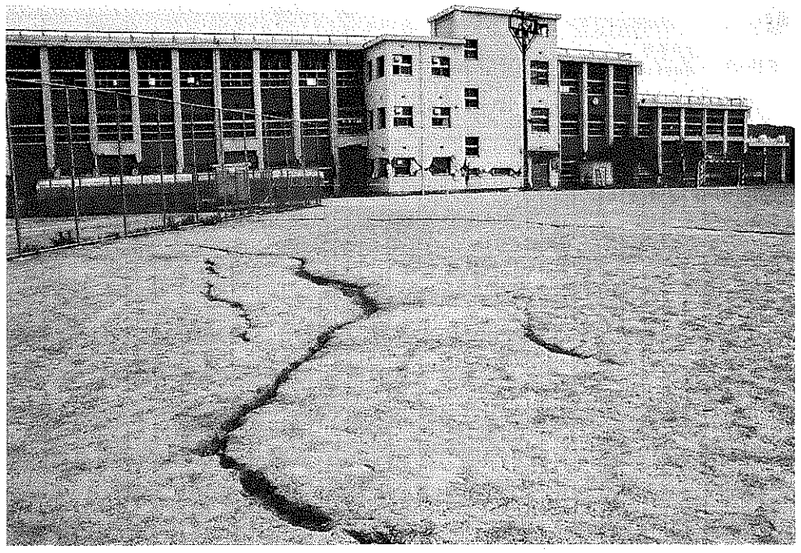


写真1　鹿児島県立宮之城高校のグラウンドに生じた亀裂
1997年5月22日撮影.

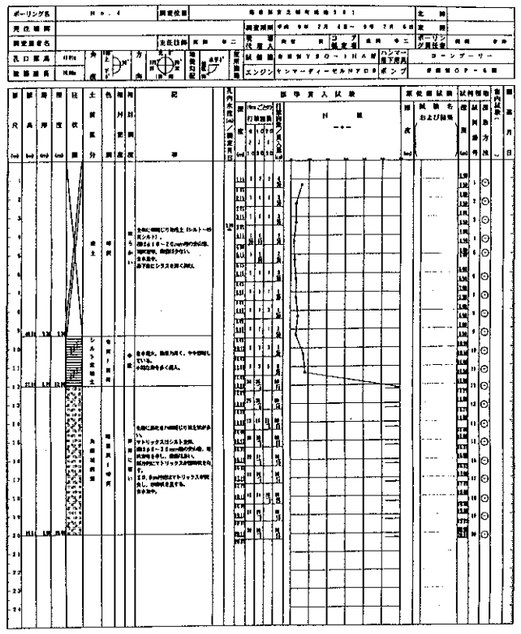


図5　鹿児島県立宮之城高校のグラウンドにおけるボーリングデータ

謝辞

震度アンケートに御協力下さった2市6町44校の小学校*の教員の方々，保護者の方々に深く御礼を申し上げます．小学校・中学校・高等学校のボーリングデータは，鹿児島県学校施設課，宮之城町教育委員会，鶴田町教育委員会に提供していただいた．地震活動の状況，アンケート震度の算出などについては鹿児島大学理学部の角田寿喜教授にいろいろとご教示いただいた．地質調査所の衣笠善博氏には，墓石を用いた地震被害調査について議論していただいた．鹿児島大学理学部宮町宏樹助教授には今回の震源断層について議論していただいた．深く御礼を申し上げます．

なお，本研究の一部に鹿児島大学教育研究学内特定研究経費および（財）鹿児島県建設技術センターからの助成金を使用した．

引用文献

橋本　勇，1962，鹿児島県北薩地方の時代未詳層群の層序と構造．九大教養部地学研報，**8**，47-62.

米田茂夫・岩松　暉，1987，鹿児島県北薩地域の四万十累層群の層序と地質構造．地質雑，**93**，881-895.

活断層研究会，1991，新編日本の活断層-分布と資料-．437p，東大出版会.

千田　昇・遠田和典・上田勤子，1997，1997年鹿児島県北西部地震の被害調査報告（速報）．大分地理，**11**，1-6.

Miller, J.A., Shibata, K. and Kawachi, Y., 1962, Potassium-argon ages of granitic rocks from the Outer Zone of Kyushu, Japan. *Bull.Geol. Surv.Japan*, **13**, 712-714.

太田　裕・後藤典俊・大橋ひとみ，1979，アンケートによる地震時の震度の推定．北大工学部研報，**92**，117-128.

***アンケートによる震度推定調査に協力していただいた小学校一覧（順不同）**

川内市立：可愛小学校，平佐西小学校，平佐東小学校，育英小学校，亀山小学校，滄浪小学校，峰山小学校，西方小学校，城上小学校，高来小学校，八幡小学校，吉川小学校，陽成小学校，水引小学校，湯田小学校

阿久根市立：阿久根小学校，西目小学校，大川小学校，尾崎小学校，田代小学校，鶴川内小学校，山下小学校

東郷町立：藤川小学校，南瀬小学校，東郷小学校，鳥丸小学校，山田小学校

樋脇町立：樋脇小学校，倉野小学校

宮之城町立：盈進小学校，平川小学校，柊野小学校，佐志小学校，白男川小学校，泊野小学校，山崎小学校，流水小学校

鶴田町立：柏原小学校，紫尾小学校，鶴田小学校

薩摩町立：求名小学校，中津川小学校

祁答院町立：大裏小学校，黒木小学校

衛星データによる北薩の地形と震源域の検討

木下紀正・前田利久／教育学部
磯貝浩一／資源・環境観測解析センター調査研究部

1．はじめに

様々な自然災害の実態を把握して対策や予防策を検討する上で、人工衛星からの地表のリモートセンシングによる研究は重要な課題となっている[1]。災害直後の現地調査や航空写真が個々の詳細な状況を明らかにし、その積み上げによって全体像が浮かび上がるのに対し、衛星データでは数十mの分解能という制約はあるが、瞬時に広域の調査ができることや、限られた観測日ながら数カ月おきの変化のデータが得られ、災害前後の比較を長期・広域にわたって行えるという特徴がある。また、可視・赤外領域の電磁波やマイクロ波による観測で人間の視覚を越えた地表面状態のスペクトル情報が得られ、画像解析による定量的な比較検討が可能である。1993 年夏の鹿児島豪雨災害についても、衛星データによる災害状況の検出や豪雨災害の背景をなす都市開発に伴う土地被覆状態の長期的変化についての解析検討がなされた[2]。

今回の鹿児島県北西部地震については、宇宙開発事業団の研究チームでは衛星から放射したマイクロ波の地表面からの反射波を同じ衛星が受信する合成開口レーダー(SAR＝Synthetic Aperture Radar)のデータを用い、1997 年 3 月 28 日前後の 3 月 2 日と 4 月 15 日に観測した 2 枚の画像と国土地理院の国土数値情報を使用して、差分干渉法によって震源の南北における最大 8cm の左横ずれを検出することに成功している[3]。なお、この解析法は 1995 年 1 月 17 日の阪神淡路大震災についても用いられ、数 cm という SAR の単独の画像での分解能をはるかに越える微小な変位を検出している[4]。衛星画像データではないが、人工衛星を用いた地理情報システム（GPS＝ Global Positioning System）によっても地殻の変位が検出され、SAR データによる結果を支持している[5]。また、震源地に近い出水市針原地区で 1997 年 7 月 10 日に土石流災害が発生し、21 名の犠牲者と家屋の全半壊 18 戸という惨事となったが、土石流の痕跡は 7 月 13 日の観測による空間分解能 20m（multi-band），10m（パンクロ）の SPOT データに捉えられ、インターネットで公開されている[6]。

我々は、地震現象の背景となる地形・地質構造を理解する一助として、衛星画像により様々なスケールで西日本や九州中南部の地形を概観し、さらに震源付近の詳しい様子の画像をインターネットで公開した[7]。また、鹿児島大学震災調査団のホームページ[8]にも震災地域の衛星画像を提供した。ここでは、上記の検討を要約して報告する。なお、公開画像のリストを次節の末尾に挙げる。

2．衛星画像でみる広域・狭域の地形

2．1　画像処理の方法

森林に覆われた山岳地帯の地形は、衛星データの様々な観測波長帯のうち特に近赤外バンドの濃淡

画像で見ることが出来る。これは太陽放射のうち植物による近赤外線の強い反射を利用し、陰影の出来方によって地形を表すものであり、太陽高度と方位の違いによって見え方が異なる[9]。地球観測衛星の観測時刻は午前 10 時から 11 時過ぎまでの間で衛星の種類によって大体定まっているが、太陽高度の低い時期のシーンを選択することによって陰影の深い画像を作成することができる。なお、フルスケールの衛星画像と対比するには国土地理院発行の 20 万分の 1 地形図が適当な縮尺であるが、これはなぜか北西からの照射光による陰影がほどこされている。

モノクロの近赤外画像では水域が黒く、都市などの裸地は暗く表示されるが、カラー画像では近赤外バンドを緑に、複数の可視バンドを青と赤に配色する natural color 表示の方法で山岳地帯を緑主体にして地形を分かりやすく表すことができる。他方、LANDSAT/TM データでは人間の視覚での光の 3 原色 B,G,R に対応する TM-1,2,3 バンドのカラー合成ができる。これは視覚やカラーの航空写真と同様であるため地表の状態の判定には有用であるが、近赤外バンドを利用した画像と比べて土地の起伏は分かりずらい。以下に示す図 1、 2 はインターネットで公開しているカラーの原画をモノクロ印刷したものであるが、地形は主に近赤外バンドによって表されている。

高分解能センサーによる広い領域の画像データを縮小して表示する場合、画素の単純な間引きではザラザラした画質の悪い結果となる。そこで、ここではフィルター処理で平滑化したデータから間引きによって縮小したものを用いた。もう一つの方法は出力した処理済み画像を画像処理ソフトの機能によって平均化縮小することが考えられるが、コンピュータのハードとソフトによって扱える画像サイズの制約がある。

衛星データの地形解析によって、これまで断層構造の手がかりとしてのリニアメント（線状構造）の抽出が行われてきた[10-12]。分解能 80mの LANDSAT MSS データによる南九州の線状構造の研究や[11]、航空機搭載 SAR による日本全域の観測と解析[12]もなされている。ここでは、より広域の NOAA/AVHRR データや、より高分解能の LANDSAT/TM, JERS-1/OPS 及び SAR データを用いて様々なスケールで地形構造を検討する。

2．2　西南日本の地形

広域の地形は観測幅 185km の LANDSAT の異なる観測日の膨大なデータのモザイクによって作成されて来た。他方、気象衛星 NOAA は可視・近赤外センサーを搭載しているので、その観測幅 3000km にわたる広域性を生かした地形画像を容易に作成することが出来る。問題は太陽高度が低めのシーンで広域が快晴であり、対象領域が観測範囲の中央近くに位置しているケースの選択である。NOAA シリーズの２つの衛星が毎日 8 時, 14 時前後に日本付近を観測しているが、適当なシーンは非常に少ない。ここでは、気象衛星 NOAA の AVHRR データを、鹿児島大学連合大学院農学研究科のノア受信装置で得られたデータの中から選んだ。ＮＯＡＡのデータは東西の観測幅 3000km にも及ぶので、好天のもとでは日本列島を一望することが出来る。但し、分解能は軌道の直下で 1.1km であり、高度 870km からの観測のため端に行くほど悪くなる。

図 1 は 1996 年 10 月から翌年 3 月までのシーンの中から西南日本に雲の少ない, 1996 年 12 月 29 日 13 時 58 分に撮影されたノア 12 号の可視光線 (AVHRR-1, 0.58-0.68 μ m) と近赤外線 (AVHRR-2,

0.725-1.10 μ m) のバンドで受信した生データを幾何補正なしで組み合わせて表示した。太陽高度は、鹿児島で 30 °, 東京で 23 °, 太陽の方位は、鹿児島で南から西へ 26 °, 東京で 34 ° である。このシーンでは、九州の西海上が軌道直下に当たり、画面の右ほど粗くなっている。画像が少し歪んでいるのは、受信システムの粗い補正データを切り出したまま用いたからである。

この画像では中部日本から紀伊半島、四国を横切る中央構造線と、その南側の地質構造による線状構造がはっきりと確認できる。中央構造線は九州の臼杵から八代にかけてのびていると推定されるが、阿蘇・九重の火山のためにはっきりしない。鹿児島県北西部は中央構造線の南側(西南日本外帯)に位置する。

2．3　九州中南部の地形

地球観測衛星 LANDSAT のデータは宇宙開発事業団地球観測センターで受信処理されたものである。図 2 は、1993 年 3 月 5 日 10 時 06 分に Path 112-Row37,38 で撮影された LANDSAT-5 による画像である。また、LANDSAT データとしては太陽高度が最も低くなる時期のデータとして、1989 年 1 月 5 日に撮影された震源域付近の画像も作成した。LANDSAT-5 では、東西 185km の観測幅で、昼間の軌道 Path112 では、西部を除いて、九州の広い範囲が観測できる。TM センサーの画素 28.5m の原画像データは大き過ぎるので、フィルター処理で平滑化して縮小した。画像は可視(TM-1, 0.45-0.52 μ m, TM-2, 0.52-0.60 μ m)と近赤外(TM-4, 0.76-0.90 μ m)バンドのカラー BRG 合成で、地形は太陽光線の陰影の明瞭な近赤外バンドによって強調されている。このシーンの太陽高度は 39 °、方位は南から東へ 47 ° である。

1993 年 3 月 5 日の九州は、図の南にあたる Row39 の屋久島なども含めて快晴であり、九重山などに冠雪が見られた。九州山地は北東-西南方向に山の稜線と谷が幾つも平行にあり、北縁の中央構造線と同じ走向である。その中の大きな陥没地形として、画面中央の人吉盆地が存在し、そこから球磨川の急流が下り、八代平野に出て不知火海に注いでいる。九州山地と八代平野・不知火海は日奈久断層でほぼ直線状に分けられている。西側の天草諸島には日奈久断層にほぼ平行して九州山地と同様な稜線と谷の地形が見られ、古生代・中生代の堆積岩からなる共通の起源であることと合致する。

2．4　北薩地域の JERS-1/SAR 画像

日本の地球資源衛星 JERS-1(ふよう 1 号)は、鋭い分解能の光学センサー (OPS) と、マイクロ波放射による合成開口レーダー(SAR)を搭載している。合成開口レーダー(SAR)は、JERS-1 衛星軌道から西下方に向けてマイクロ波を放射し、その反射波を観測するので、その波長 24cm で見て滑らかな海面や平坦な裸地は黒く、建物の多い市街地は明るく見える。山地は東斜面が明るく西斜面が暗く見えるので、画像では南北方向の山の稜線と谷が強調される。

図 3 は 1995 年 11 月 12 日に得られた 79-247 の鹿児島県北西部の SAR 画像で、九州山地に見られた北東-西南方向の地形の走向が、北薩で南北方向に向きを変えている様子がはっきり現れている。なお、JERS-1/SAR 画像では衛星軌道から西下方に向けてマイクロ波を放射するため高い山は実際よりも東側に寄って見える。また、マイクロ波の照射方向にそった東西方向の線状構造は検出しにく

いが、航空機搭載の SAR では南方から照射したデータも得られている[12]。はじめに述べたように、宇宙開発事業団では、3 月 26 日の地震前後でＳＡＲデータの interferometry によって、地震による数 cm の地殻変動を検出している。

JERS-1/OPS データでは、LANDSAT/TM センサーより若干高分解能の可視・近赤外画像が得られるが、1995 年 11 月 12 日などのデータを検討したところでは TM データとの質的差異はそれほど見られなかった。

２．５　インターネット公開画像のリスト

全体としてフロッピーに収納できる 1.2MB 程度の容量であり、HTML 言語で編集してあるので、インターネットに接続していなくてもパソコンにブラウザが組み込んであれば説明文と画像を閲覧することが出来る。教育・研究用に配布可能であるので、著者に連絡されたい。

リストにはタイトル，ファイル名，サイズ，横＊縦の画素数，間引き率，（備考）を示す。

２．５．１　西日本の地形と 1997 年鹿児島県北西部地震地域

（衛星画像ネットワーク鹿児島グループの一般向けＦシリーズ）

Ｆ１．日本列島の概観（NOAA-12/AVHRR，96.12.29．13:58）

九州から関東まで　n96c-sc.jpg　58KB　667*345　2x

西日本　n96c-l1c.jpg 63KB　730*385　1x　(Fig.1)

Ｆ２．九州の地形（LANDSAT-5/TM，1993.3.5，10:06，Path112-Row37,38）

南北九州全景　tm-qshu.jpg　57KB　300*647　17.54x　(Natural color)

九州中南部　qsanchi.jpg　85KB　503*450　9x　(Fig. 2)

川内川流域の地形　rt933seg.jpg　138KB　650*510　4x　(TM4 gray)

川内川流域と震源付近の地名　rt933seh.jpg　112KB　650*510　4x

震源の周辺（北薩）　rt933se2.jpg　127KB　620*520　2x (True color)

Ｆ３．鹿児島県北西部と震源域（JERS-1，Path79-Row247）

SAR 画像，1996.1.31：

鹿児島県北西部　s961-9l.jpg　132KB　640*510　9x　(Fig. 3)

川内川の中・下流域　s961-3c.jpg　173KB　700*570　3x

OPS 画像，1995.11.12：

震源域付近　j95hor2d.jpg　130KB　700*520　2x

地形に見られる線状構造　linea.jpg　(Fig. 4)

２．５．２　鹿大震災調査団のホームページの速報

(a)　北薩の地形　a-hokusa.jpg　70KB　440*420　3x　(TM4 gray)

(b)　震源地周辺　b-singen.jpg　143KB　830*500　1x　(TM357=BGR)

図１　西南日本の地形概要(NOAA-12/AVHRR，96.12.29　13:58)

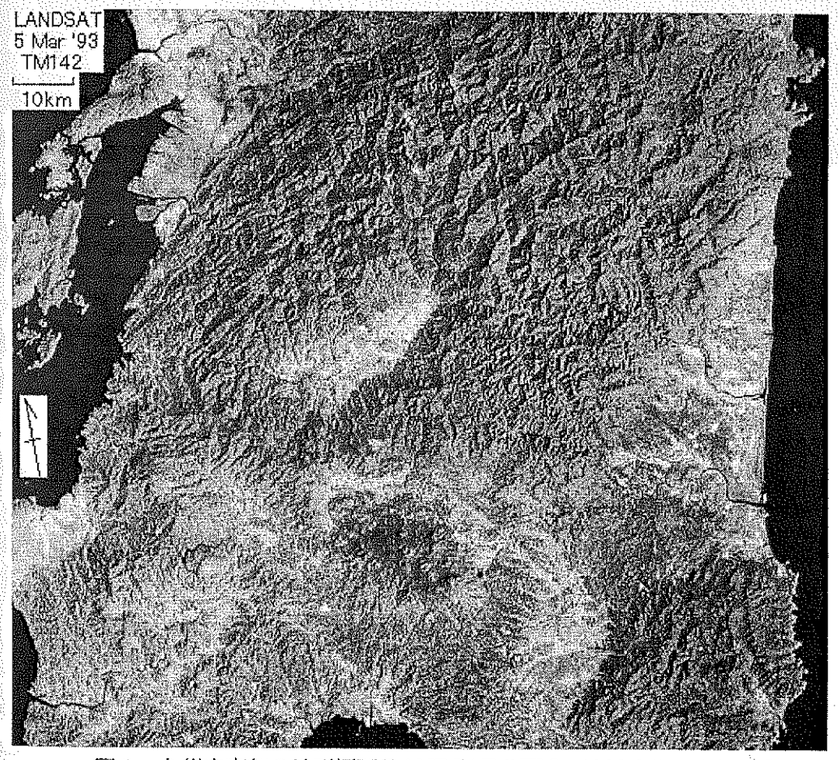


図２　九州中南部の地形概要(LANDSAT-5/TM，1993.3.5，10:06，Path112-Row37,38)

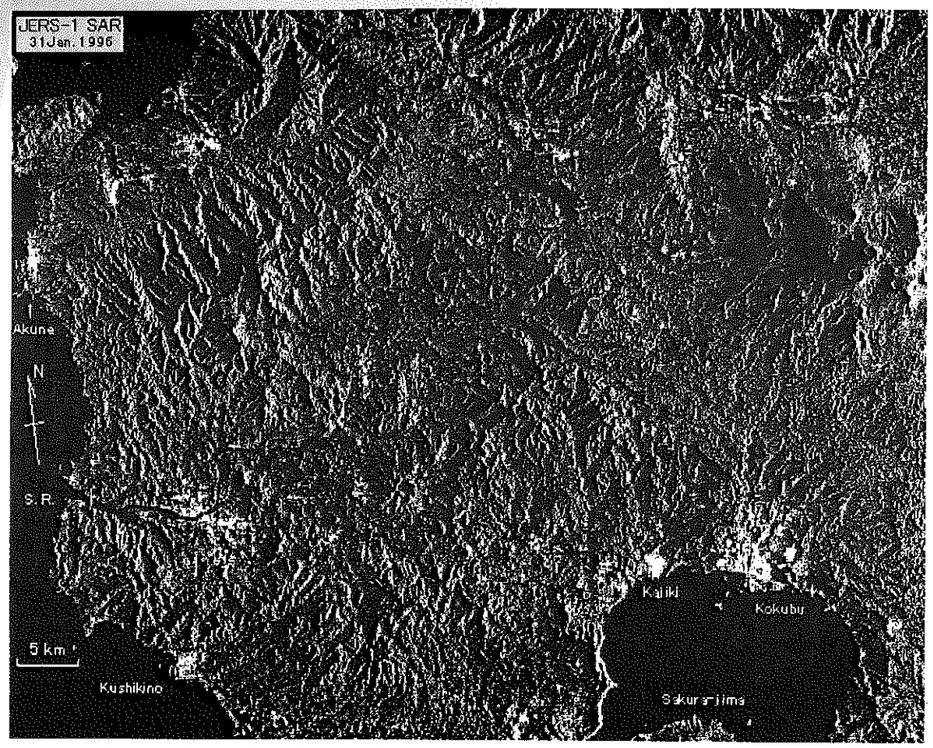


図３　鹿児島県北西部の地形概要 (JERS-1/SAR,1996.1.31,Path79-Row247)

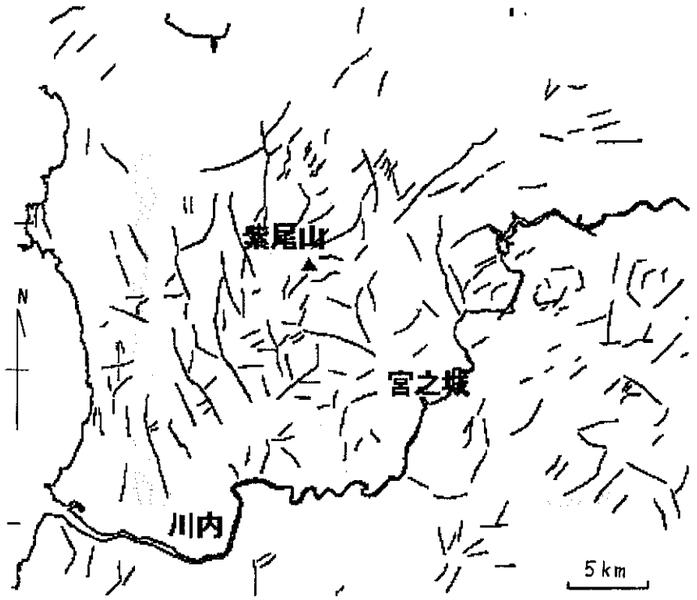


図４　鹿児島県北西部の線状構造の分布(LANDSAT-5/TM データから抽出)

３．震源地域に見られる線状構造の解析

３．１　解析方法

地震を引き起こす活断層は、地表に繰り返し現れると特徴的な地形を残す。たとえば、断層に沿った窪地や池、河川の系統的な屈曲、尾根の三角末端面などであり、直線的に現れることから線状構造(リニアメント)と呼ばれる。線状構造の中には古い断層や地層の走向によるものもあり、それを活断層と認定するためには、さらに詳細な現地調査などによる検討が不可欠である。しかし広い範囲を概観できる衛星画像では、活断層の候補である線状構造(リニアメント)を抽出することにより、現地調査の効率化を促すことができる。

今回は 1990 年 3 月 13 日 10 時 08 分に Path 112-Row38 で撮影された LANDSAT-5 による近赤外画像(band 4)から線状構造の抽出を試みた。この画像撮影時の太陽の仰角は 42 °，方位は南から東へ 50 ° であった。太陽の高度が低いと地形の凹凸に影が付き、地形の判読が容易になる。とくに太陽光線と垂直にのびる地形は強調される。地形判読に用いた画像はカラープリンター(EPSON MJ-3000CU)で A2 版の大きさに出力し、前田が地形図や地質図と比較しながら線状構造を抽出した。

３．２　解析結果

抽出された線状構造の分布を図４に示す。紫尾山の北側では北東－南西方向、西側では南北方向の線状構造が卓越している。この部分の地質は四万十層群の延長であり、九州中部から紫尾山北側までは北東－南西方向の走向をもっているが、紫尾山付近で南北方向の走向に変化しており、地質的には北薩の屈曲とよばれている。線状構造の向きの変化は、この地質構造を反映していると思われる。なお、紫尾山の山体は花崗岩が四万十層群に貫入したものである。

３月２６日の地震の震源は紫尾山山頂の南側斜面の地下であり、震源域は東西方向にのびている。地下の地震断層を反映した地表の線状構造が期待されたが、衛星画像でみる限り震源域の延びと一致する線状構造は認められなかった。現地調査でも地表に活断層が現れていないということである。

５月１３日の地震の震源域は南北方向にのびている。南北方向の線状構造は何本かあり、地質の走向とも一致している。

４．おわりに

太陽光の可視・近赤外線の反射光を捉えるパッシブセンサーと、マイクロ波のアクティブセンサーによる様々なスケールの衛星画像を作成し、地形構造を検討した。震源地域について抽出した線状構造は、大局的には従来の得られた傾向に沿っているが[11-13]、今回の地震の震源と直接対比できる詳細なものである。これらは目視によって求めたが、画像データのフィルター処理をコンピュータによって行う自動抽出の方法がある。しかし、普通の等方的フィルター処理では谷地形も山稜地形も同等に扱われるので、断層線に結び付く線状構造を抽出するにはむしろ近赤外画像の陰影から目視によって求める方が簡便で確実であることが分かった。自動抽出を進めるには太陽の照射方向を配慮した

異方性のあるフィルターによる検討が重要であると思われるが、これは今後の課題である。

謝辞：気象衛星 NOAA の AVHRR データは、鹿児島大学連合大学院農学研究科のノア受信装置で得られたものである。地球観測衛星 LANDSAT のデータは宇宙開発事業団地球観測センターで受信処理され、1993.3.5 のデータは宇宙開発事業団から、1989.1.5 のデータは(財)資源・環境観測解析センターから、ともに研究用に提供されたものである。JERS-1/OPS (1995.11.12, Path79-Row247)と JERS-1/SAR (1996.1.31,Path79-Row247)のデータ所有権は通産省・宇宙開発事業団にあり、データ提供は(財)資源・環境観測解析センターによるものである。各機関の御理解と御協力に感謝致します。

参考文献

[1] 小特集：防災とリモートセンシング，日本リモートセンシング学会誌,9-4，1989.
瀬戸島　政博，リモートセンシングを用いた地盤調査，土木技術，42,4,43,1987.
[2] 木下紀正・塚田公彦・矢野利明・平田賢志，鹿児島豪雨災害の衛星データによる解析，日本リモートセンシング学会，第 16 回学術講演会論文集，1994；衛星データによる豪雨災害の検討，１９９３年夏鹿児島豪雨災害鹿大調査研究会報告書（下川悦郎編），1994，13.
石黒悦爾・難波直彦・三輪晃一・若松千秋，リモートセンシングによる１９９３年豪雨被災地の検出，１９９３年夏鹿児島豪雨災害鹿大調査研究会報告書（下川悦郎編），1994，115.
矢野利明・木下紀正・塚田公彦・細山田三郎，衛星データによる鹿児島市近郊の土地利用変化の解析と豪雨災害，同報告書 第２集，1995，15.
[3] 宇宙開発事業団，地球資源衛星１号「ふよう１号」に搭載された合成開口レーダ(SAR)の 解析により判明した鹿児島地震に伴う地殻変動について，NASDA ホームページ，お知らせ(平成９年６月 10 日)，http://yyy.tksc.nasda.go.jp/Home/Press/pressindex_j.html
[4] 村上亮・藤原智・斉藤隆，干渉合成開口レーダーを使用した平成 7 年兵庫県南部地震による地殻変動の検出，国土地理院時報 83(兵庫県南部地震特集号)，24.
[5] 国土地理院，測地測量と地殻変動，http://www.gsi-mc.go.jp/CRUST/index.html
[6] [3]の中の最新情報 1997 年７月
[7] 木下紀正・前田利久・磯貝浩一，西日本の地形と 1997 年鹿児島県北西部地震地域，衛星画像ネットワークグループ鹿児島，http://www-rk.edu.kagoshima-u.ac.jp/sing/index.htm
[8] 鹿児島大学震災調査団ホームページ，http://earth.sci.kagoshima-u.ac.jp/oyo/shinsai/index.html
[9] K.Kinoshita, S.Ikebe, K.Isogai, Satellite Observation of Volcanic Phenomena in Kyushu, Japan, 鹿児島大学教育学部研究紀要，43，37，1997.
木下紀正，衛星画像にみる九州の火山噴煙，平成３年度報告書「宇宙科学技術と開発に関する研究」，鹿児島大学，1992，p.5.
[10] 最近では、例えば 丹羽雄輔・山口靖・小川克郎，SAR 画像判読による中部地方のリニアメントと活断層の比較，日本リモートセンシング学会誌 17,114,1997.
岩下篤 他，活断層地域での ADEOS AVNIR データによる画像解析，日本リモートセンシング学会題 2 回学術講演会論文集，95,1997；断裂頻度の減少率による地殻変動要素の推定，同第 23 回学術講演会論文集，77,1997.
[11] 向山広 他，地形解析による南九州の地質構造の研究，日本リモートセンシング学会誌 3-4, 5,1983.
小川克郎 他，ランドサット MSS 画像のディジタル処理による九州南部の地形・地質構造解析，日本リモートセンシング学会誌 4,322,1984.
向山広 他，リモートセンシングによる阿蘇火山岩類中の活断層の研究，日本リモートセンシング学会誌　5,119,1985.
[12] 陶山淳治他，合成開口レーダーによる日本列島の地熱資源調査，日本リモートセンシング学会誌，2-4，57,1982.
山口靖・長谷紘和，多様な画像によるリニアメント頻度の解析ーレーダー画像の屋久島地域への適用例について，写真測量とリモートセンシング，22-3, 4, 1983,
[13] 活断層研究会編、新編・日本の活断層 － 分布図と資料、東大出版会、1990.
九州活断層研究会編，九州の活断層，東大出版会，1989.

衛星データを用いたハザードマップの作成
—鹿児島県北西部地震による崩壊地ならびに予想危険地帯の抽出—

農学部　石黒悦爾・田畑智廣・兵頭 薫・下川悦郎・地頭薗 隆・平 瑞樹・三輪晃一

1　はじめに

1997 年 3 月 26 日と 5 月 13 日に鹿児島県北西部に生じた M6 以上の地震により、建物の倒壊・農地の亀裂ならびに崩壊・斜面災害等多大の物理的損害を受けるとともに、避難生活等による精神的ストレスなど、本地震による被害は計り知れないものがある。本研究は、1997 年鹿児島県北西部地震鹿児島大学地震調査の一環として行ったもので、衛星データを用いて地震による崩壊地ならびに潜在的な被害地域を抽出は、地震災害の特性を理解するうえでの基礎資料の一つになると考えられる。

衛星データを用いて地表面の情報を解析するリモートセンシングの手法は、①同時に広範囲の地域を解析できる、②同一地域の反復観測、ならびに③肉眼では不可能な現象の観測等が行える特徴を有している [1]。筆者らはこれらの特徴を利用して、台風による山林の倒木地域の推定 [2]や豪雨被災地域の検出 [3]等の研究を行ってきた。地すべりに関する研究は、後藤ら [4]による地すべり箇所の検索が行われている。一方、笠ら [5]によって地すべりの予測、島ら [6]によって法面崩壊発生の予測等の研究が衛星データを用いて行われている。綱木 [7]による地すべりの発生機構、上野 [8]による地形地質調査による地すべりの予知等の研究によると、地すべりを生じる原因は一義的には決定できないと報告されている。

本研究は、ハザードマップを作成する第一段階としてこれらの要因の中から、地震により樹木の活性が変化する点に着目し、地すべりを生じた箇所ならびに予想危険地帯の抽出を試みた。

2　材料ならびに解析方法

2.1 解析材料

2.1.1　分光反射特性

水ストレスを与えたときの植物の分光反射特性の変化を測定し、北薩周辺を衛星データで解析するための指標を作成するために、ホンコンカポックと杉(Japanese Ceader)を供試材料とした。

ホンコンカポックは水ストレスを与えるために潅水は行わず、日当たりの良い常温の室内に放置した。一方、高隅演習林に植林している 30 年生育の樹高 15m の杉を上部から 2.0m で切り取ったまま、鉢植えし、ホンコンカポックと同様に室温で放置した。

2.1.2　衛星データ

鹿児島大学連合大学院農学研究科に設置している NOAA(米)受信・解析装置は、一日に 4 回から 6 回 NOAA/AVHRR データを受信している。しかし、この衛星のデータの空間分解能は 1.1km となっており、陸域の詳細な解析には不向きである。一方、宇宙開発事業団(NASDA)宇宙観測センター(埼

玉県鳩山町)で受信・処理された Landsat-5(米)、SPOT(仏)、MOS-1(日)と JERS-1(日)等の衛星データは、(財)日本リモートセンシング技術センター(RESTEC)から配布されている。これらの衛星は、16 日から 18 日間隔で観測しているが、空間分解能は 20m から 50m と NOAA/AVHRR データと比較して空間分解能は格段に優れている。

本研究では、空間分解能が優れている Landsat-5/TM と SPOT のデータを解析に用いることとし、これらの衛星が観測した 1997 年 3 月 26 日前後のデータで、北薩周辺に雲がないデータを検索した。地震前のデータとして 97 年 3 月 5 日に観測した SPOT データ(Path-Row:314-286)を、また地震後のデータとして 97 年 4 月 1 日に観測した Lansat-5/TM データを(Path-Row:112-38)用いた。

2.2 解析方法

2.2.1 分光反射特性

ポータブルフォトメータ(Model 2706、(株)阿部設計)を用いて、これらの鉢の分光反射特性を求めた。この機器の測定波長領域は 400nm から 1,050nm であり、測定間隔は可視領域では 25nm 間隔で、また近赤外領域では 50nm である。

窓際に鉢を置き、太陽光からの反射が最大となるようにして測定した。この機器は対象物の相対反射率を測定するため、対象物の横に標準白色板(酸化マグネシウムを塗布)を置き、各波長毎に対象物と白色板を交互に測定した。

対象物と反射板からの太陽光の反射エネルギーをそれぞれ $E_{O\lambda}$ と $E_{W\lambda}$ とすると、それぞれの波長における相対反射率(RR_λ)は以下のようになる。

$$RR_\lambda = 10^{\wedge(E_{O\lambda} - E_{W\lambda})} \times 100$$

2.2.2 解析指標

水ストレスを与えた供試材料の分光反射特性の変化から得られた知見を衛星データに適用して画像解析を行うための解析指標を考案した。その後、人工衛星のデータを用いて植物の活性ならびにバイオマス量を調査するための様々な指標が提唱されている。これらの指標は衛星の観測波長領域(バンド)に対応した平均分光反射特性をもとにしている。ここで、Landsat-5/TM では、Band-1:450～520nm、Band-2:520～600nm、Band-3:630～690nm と Band-4:760～900nm となっており、SPOT では、Band-1:500～590nm、Band-2:610～680nm、Band-3:790～890nm と衛星によって観測波長領域がわずかに異なっている。そこで、分光反射特性の値を用いてバンドの平均反射率を求めた後、以下の指標に適用した。

NDVI=(Band-4－Band-3)/(Band-4＋Band-3)

RVI=Band-4/Band-3

DVI=Band-4－Band-3

DVIw=2.4*Band-4－Band-3

2.2.3 グランドトルース

3 月 26 日の地震後の 4 月 25 日に、鹿児島県川内耕地事務所の春岡誠二係長と東上床寛技師の案内で、農地・農道の被害状況を調査した。また、5 月 10 日には、山林内の亀裂ならびに崖崩れの状況を調査した。これらの調査は、国土地理院の地図を参考にし崩壊箇所を地図上に記入するとともに、

崩壊の原因を調査するとともに、状況を 8mm カメラならびにデジタルカメラに収録した。

2.2.4 衛星データ

画像解析ソフト EARDAS IMAGINE(ERDAS™ 製)を用いて、Landsat-5/TM と SPOT データを以下の手順で解析した。

1) 幾何補正

幾何補正を行うためには、Ground Control Point (GCP)を設定する必要がある。航空写真ならびに現地調査の野帳を参考に、国土地理院発行の 1/25,000 の地形図から 36 個の GCP を設定した。これらを緯度・経度に変換し、衛星画像にこれらの座標を入力した。GCP の組み合わせにより幾何補正の精度が異なるので、Total Root Mean Square (TRMS)が 0.5 以下となるような GCP の組み合わせで、近隣内挿法で幾何補正を行った。

2) 解析対象地域の切出し

Landsat-5/TM と SPOT の衛星データについて、北緯 32°00'00"、東経 130°19'30"から北緯 31°55'00"、東経 130°28'00"の矩形地域を切出し、これらの地域を解析対象地域とした。

3) 土地被覆分類

市街地、水域、水田、農地、道路ならびに山林のカテゴリを設定した。道路と山林は斜面の日向と日陰で衛星における反射輝度が異なることが予測されることから、それぞれを日向と日陰に分類し、合計 8 個のカテゴリによる教師付き分類の最短距離法を用いて土地被覆分類を行った。これらのカテゴリは、現地調査結果ならびに航空写真を基に設定した。

4) 画像演算ならびに精度の検討

土地被覆分類を行って抽出した日向と日陰の山林に対し、分光反射特性の測定結果より導き出した解析指標を適用し、崩壊地域を抽出しその抽出精度を検討するとともに、崩壊危険箇所の予測を行った。抽出精度の検討は共同研究者の下川研究室で作成した被害調査結果と照合して行った。

3 結果ならびに考察

3.1 分光反射特性

散水せずに放置(水ストレスを与える)したホンコンカポックの経過日数と分光反射特性の関係を図 1 に示す。400nm から 700nm の可視領域では放置日数による変化は認められなかったが、近赤外領域では放置日数が多くなるにつれて反射率は次第に減少する傾向を示した。一方、図 2 に示した杉の場合は、ホンコンカポックのような明確な傾向は認められなかったが、可視領域と近赤外領域ではいずれも分光反射率は変化した。ホンコンカポックと杉で分光反射特性にわずかな差異が見られたのは、ホンコンカポックは水ストレスに強い植物であることと、杉の場合は幹を切断して観察したため放置日数が多くなるにつれて葉が褐色化したためだと考えられる。

植物は水ストレスを受けると分光反射特性が変化することが明らかとなった結果、人工衛星データを用いた崩壊予想地帯の検出の可能性が示唆された。

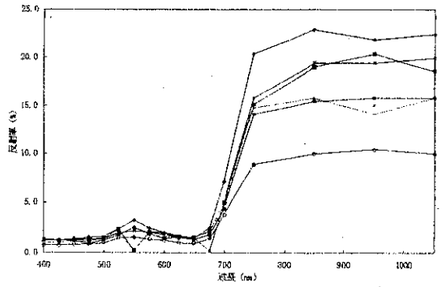


図1　カポックの分光反射特性

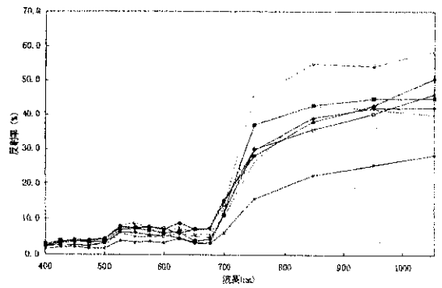


図2　杉の分光反射特性

◆：1日目、　■：3日目、　▲：5日目、　×：7日目、
＊：9日目、　○：11日目、　●：13日目

3.2　解析指標

結果の一例として、杉の分光反射特性の結果より導いた各指標と経過日数の関係を図 3、図 4、図 5 と図 6 に示す。

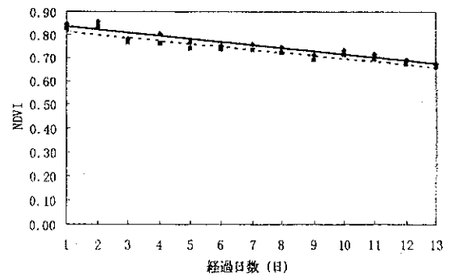


図3　NDVI と経過日数

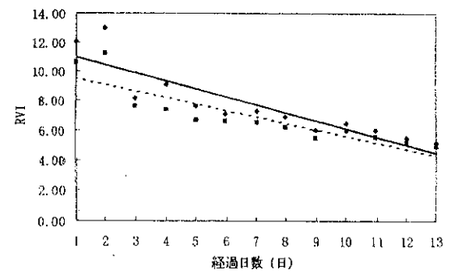


図4　RVI と経過日数

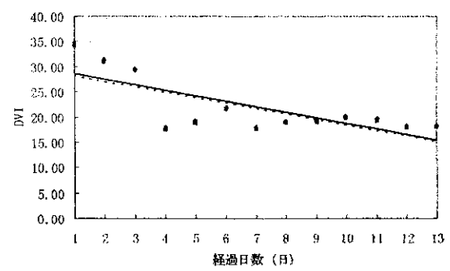


図5　DVI と経過日数

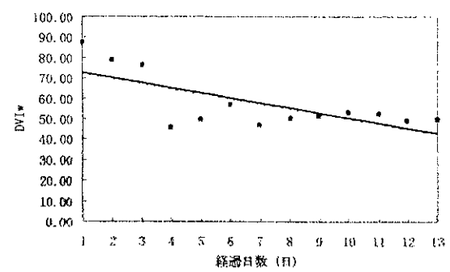


図6　DVIw と経過日数

これらの結果を纏めると、以下の回帰直線となった。

	Landsat-5/TM	SPOT	
NDVI	-0.0135x+0.8516 (R^2=0.9109)	-0.013x+0.8264	(R^2=0.9013)
RVI	-0.5446x+11.526 (R^2=0.7805)	-0.4408x+9.9962	(R^2=0.7690)
DVI	-1.1027x+29.766 (R^2=0.5531)	-1.0893x+29.325	(R^2=0.5426)
DVIw	-2.4929x+75.158 (R^2=0.4969)	-2.4795x+74.717	(R^2=0.4923)

いずれの指標も経過日数、換言すれば水ストレスを良く観察できる指標だと考えられるが、特に NDVI は相関係数が最も高く、しかも Landsat-5/TM と SPOT で回帰式がほぼ同じ直線となったことから、以後の衛星データに対して NDVI を解析指標として画像処理を行った。

3.3　幾何補正

図 7 と図 8 に幾何補正を行った SPOT と Landsat-5/TM の画像を示す。

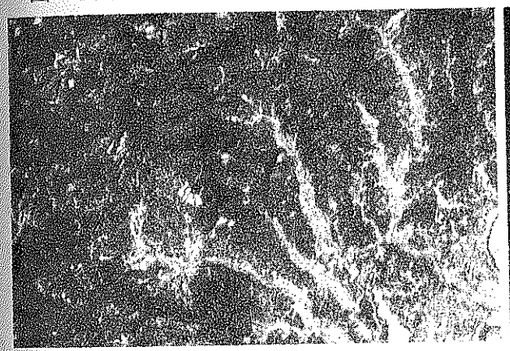


図7　幾何補正後の SPOT 画像('97 3/5)

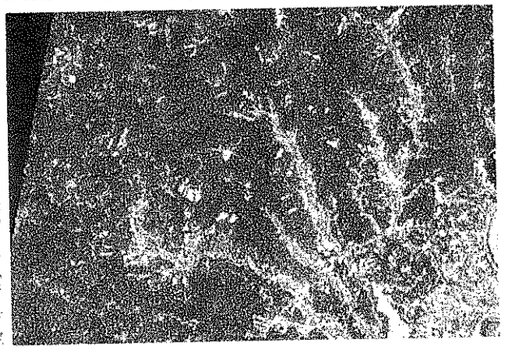


図8　幾何補正後の Landsat-5/TM 画像('97 4/1)

これらの補正結果は SPOT で(X:0.13pixel, Y:0.45pixel, Total:0.46pixel)、Landsat-5/TM で(X:0.46pixel, Y:0.38pixel, Total:0.46pixel)となり、所定の幾何補正の精度であることが確認された。この結果、地震前の SPOT 画像と地震後の Landsat-5/TM 画像の overlay が可能となった。

3.4　被災地の抽出

土地被覆分類より抽出した山林の日向と日陰の一例として SPOT を用いた画像を図 9 と図 10 に示す。

SPOT と Landsat-5/TM データから抽出した日陰と日向の山林の各領域に NDVI 演算を行った。SPOT と Landsat-5/TM の観測時刻が異なるため、これらの画像で日陰と日向部が異なる。NDVI 値は日向は日陰よりも高い値となることが知られていることから、単純に比較することはできない。そこで、日向部と日陰部の健全林をトレーニングエリアとして抽出し、これらの地域の NDVI 値を比較した。それぞれをもとに日陰と日向の輝度補正を行って山林部の NDVI 画像を SPOT と Landsat-5/TM について作成した。

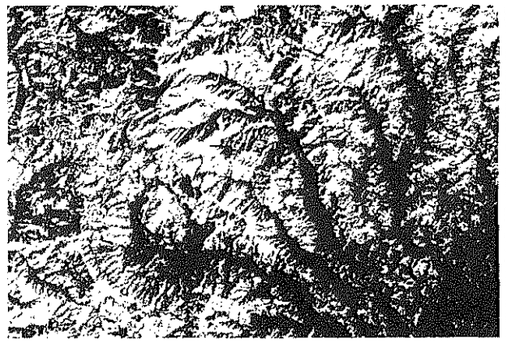


図9　日向の山林

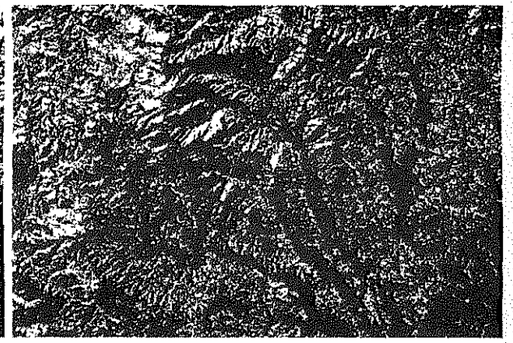


図10　日陰の山林

地震前後の NDVI を比較することにより、山林、すなわち樹木の受けた水ストレスによる活性度の変化が検出できると考えられる。そこで、これらの値を定量的に表示するため、活性度の低下率という概念を以下のように定義した。

活性度の低下率＝(地震前の活性度－地震後の活性度)x100／地震前の活性度

$$=(NDVI_{Before}-NDVI_{After})x100/NDVI_{Before}$$

ただし、$NDVI_{Before}$ は地震前の SPOT より得た NDVI、$NDVI_{After}$ は地震後の Landsat-5/TM より得た NDVI である。図 11 に活性度の低下を濃淡画像で示す。

基礎実験の結果、活性度の低下率が 50%以上の箇所はほとんど樹木が倒壊していると考えられることから、50%以上の地域を崖崩れの箇所と定義した。図 12 に、崖崩れの地域を抽出した結果を、SPOT の Band-2 画像に重ねて示す。現地調査の結果と同様に、左上方部(紫尾山周辺)に、崖崩れ箇所が多く点在している。

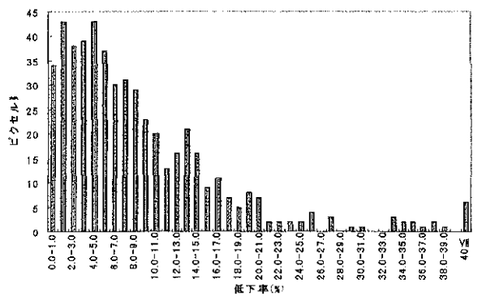


図13　ヒストグラム

3 月 26 日の地震後の 4/26 から 5/9 にかけて撮影した航空写真の崩壊箇所と活性度の低下率との関係を表すヒストグラムを図 13 に示す。航空写真の崩壊箇所と一致した画素数は活性度が低下するに伴い低下率が 30%までは指数関数的に低下した。しかし、30%以上の低下率からは別の曲線の傾向を示した。これらのヒストグラムは一般に確立分布を表すと考えると、30%までは一般の確立分布曲線と考えることができる。しかも、30%以上の曲線は何らかの原因により生じた新たな確立分布曲線と

考えると、以下のことが考えられる。すなわち、対照に用いた航空写真は上記のように、Landsat-5/TM の観測日とタイムラグがあった。しかも、この間の大雨により、航空写真には地震後の大雨による崖崩れの箇所も含まれていた。したがって、活性度の低下率が 30%以上に生じた新たな確立分布は、3 月 26 日地震の余震や大雨により新たに崩壊した箇所を示す可能性が高いと考えられる。したがって、本研究では活性度の低下率が 32%から 39%の範囲を危険箇所と定義し、この輝度範囲を抽出したハザードマップを図 14 に示す。図 12 と同様に SPOT の画像に重ねて表示した。画像左半分(宮之城町全体)に多く点在する。

4　まとめ

同時に広範囲の地域を解析でき、同一地域の反復観測、ならびに肉眼では不可能な現象の観測等が行える特徴を有するリモートセンシングの手法を用いて地震による崩壊地ならびに予想危険地帯の抽出を試みた。

本研究では、地震前後の樹木の活性度の変化を検討することにより、衛星データを用いるとある程度の精度で崩壊地ならびに危険地帯の抽出が可能であることを示すことができた。

しかしながら、綱木 [7]、上野 [8]らによって地すべりの予知には地形、地質等が大きく関与することが報告されているように、樹木の活性度の変化という一面からのみでは必ずしも充分ではないことは明らかである。今後は、国土地理院の Digital Elevation Map (DEM)ならびに地質図等の Geophysical Information System (GIS)を併用することにより、本調査団の一員が報告する地質の影響や斜面の肩部等の要因を加味したハザードマップを作成し、より精度を上げていく必要があると考えられる。

謝辞：本研究を行うに当たり、地震復旧で忙しい中、時間を割いて案内していただいた鹿児島県川内耕地事務所の春岡係長と東上床技師に深甚の謝意を表します。また、本研究で解析に用いた SPOT と Landsat-5/TM データは、いずれも(財)日本リモートセンシング技術センターの研究者配布により購入した。

参考文献

1. 秋山 侃・福原道一・斎藤元也・深山一弥：農業リモートセンシング－環境と資源の定量的解析、養賢堂、東京、(1996)
2. 石黒悦爾・岩崎浩一・守田和夫：Landsat-5/TM データによる森林被災地域抽出の可能性－台風 9119 号による日田市周辺部の被害について、農業機械学会誌、57(5):65-73 (1995)
3. 難波直彦・石黒悦爾・長 勝史・若松千秋・三輪晃一：衛星データとカラー航空写真データを用いた 1993 年豪雨被災地の検出、農業土木学会論文集、177:1-8 (1995)
4. 後藤恵之輔・八百山 孝・鬼童 孝：ランドサットデータを用いた地すべり箇所の検索．土と基礎、33(7):13－16 (1985)
5. 笠 博義・黒台昌弘・大林成行・小島尚人：地すべりの予測への衛星リモートセンシングデータの

応用可能性について．日本リモートセンシング学会誌 Vol.12(1) p5－15 (1992)
6. 島 重章・吉国 洋・神谷 誠・小川隆一．衛星リモートセンシングを利用した法面崩壊発生の予測．地盤工学会誌[土と基礎]、45(6):23-25 (1997)
7. 上野将司：地形地質調査による地すべりの予知．地盤工学会誌[土と基礎]、45(6):5-8 (1997)
8. 網木亮介：地すべりの発生機構．地盤工学会誌[土と基礎]、45(6):9-12 (1997)

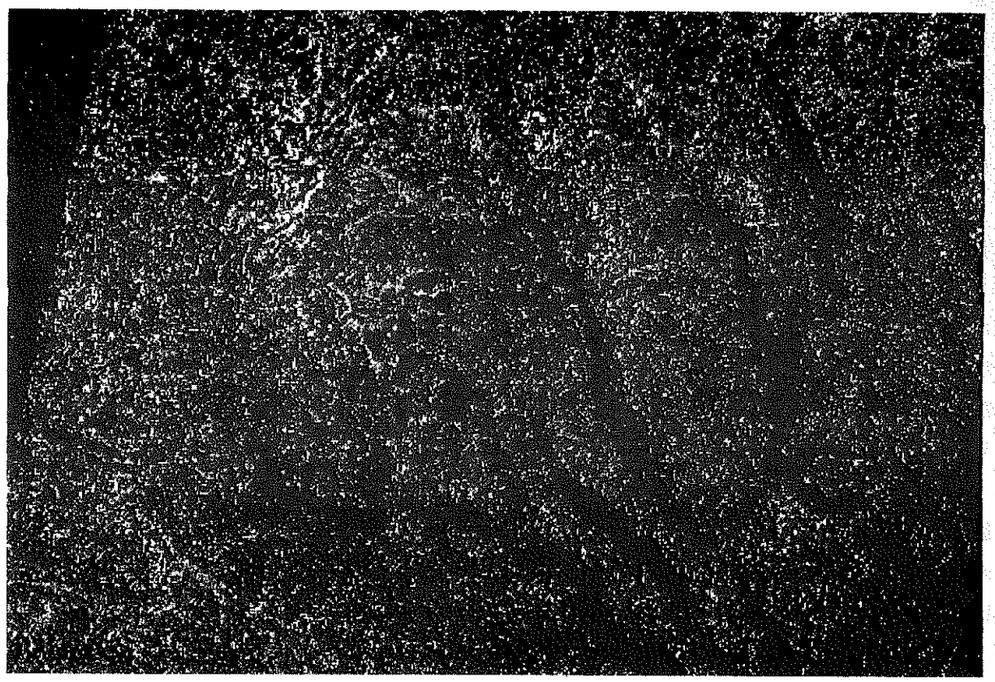


図 11　活性度の低下

図 12　崖崩れを生じた箇所の抽出

図 14　ハザードマップ

地震による斜面崩壊の分布

農学部生物環境学科　地頭薗隆・下川悦郎・小藤葉月・寺本行芳
大学院連合農学研究科　松本舞恵

1　はじめに

鹿児島県北西部では1997年3月26日17時31分にマグニチュード（M）6.3の地震が発生した。この地震の後は活発な余震活動が続き、震度４を超す地震が４回発生した。一連の地震により人的被害や家屋、公共施設関係の被害が多数発生した。今回の一連の地震が紫尾山直下の15kmより浅い場所で発生したために、山地では斜面崩壊が多発した。さらに、5月13日14時38分に前回の震源地の近くでM6.2の地震が発生した。この地震により斜面では前の地震で生じた崩壊地が拡大する一方、新たに崩壊が発生した。

一連の地震による斜面崩壊に関しては速報的に報告している（土屋ら，1997；地頭薗ら，1997）。ここでは、その後に行った現地調査や空中写真判読の結果を追加して地震による斜面崩壊の分布と特徴について述べ、さらに地震後の斜面崩壊発生の降雨条件について検討する。

2　調査区域の地形・地質

調査区域は、3月26日の地震の震源地となった鹿児島県の北西部（北薩地域）に位置する出水山地とその周辺域である（図１）。出水山地は北東から南西に連なり北薩地域を二分しており、山地の最高峰は標高1067mの紫尾山である。地質は中生界、四万十層群に属する砂岩・頁岩を主とする堆積岩類である。この地域の四万十層群の走向は東部でN40～80°E、中央部でN20°E～NS、西部でN10°E～30°Wを示し、延岡－紫尾山構造線の北薩の屈曲がみられる（鹿児島県，1990）。屈曲部の中心には花崗岩体がほぼ南北に細長く分布し、その範囲は最大幅約２km、延長約11kmである。岩体の表層部には風化物であるマサが発達しており、その厚さは20～30m、厚いところでは40～50mに達している。

出水山地の南東部には川内川が南西に流れており、低地、台地、丘陵地が混在している。川内川の本支流に沿って分布する低地は谷底平野を形成し、低地の両岸には河岸段丘が発達している。河床や段丘崖には溶結凝灰岩（加久藤火砕流堆積物）が露出しているところもある。台地は主に入戸火砕流堆積物の非溶結部であるシラスからなる。出水山地の南東部に点在する山地は主に安山岩からなる火山性の山地である。

出水山地の北西部には扇状地堆積物や段丘堆積物が分布し、さらには沖積層が広がり、出水平野を形成している。

3　震源域と斜面崩壊地の空間的分布

鹿児島県は、強い揺れに見舞われた北薩地域を対象に、今後の大雨に対する防災対策の資料として崩壊地分布図を空中写真から作成し、公表した（鹿児島県，1997）。この分布図の作成に使用された空中写真は4月25日から5月9日にかけて朝日航洋株式会社が撮影したものである。斜面崩壊の位置は25,000分の１地形図（阿久根、出水、宮之元、大口、大川、紫尾山、湯田、永野、西方、東郷、宮之城、羽島、川内）に記載されている。図中には2,600箇所余りの崩壊地がプロットされている。筆者らの現地調査や空中写真判読による確認作業によると、プロットされた崩壊地には今回の地震による崩壊地だけでなく、旧崩壊地、人工的な切取斜面、森林内の倒木による裸地なども含まれている。したがって、一連の地震による崩壊地は上記の個数より少ないと思われる。しかし、この崩壊地分布図は、地震後の崩壊地を広い範囲にわたって把握している唯一のものである。この崩壊地分布図を利用して一連の地震の震源域と斜面崩壊の位置との関係を解析する。

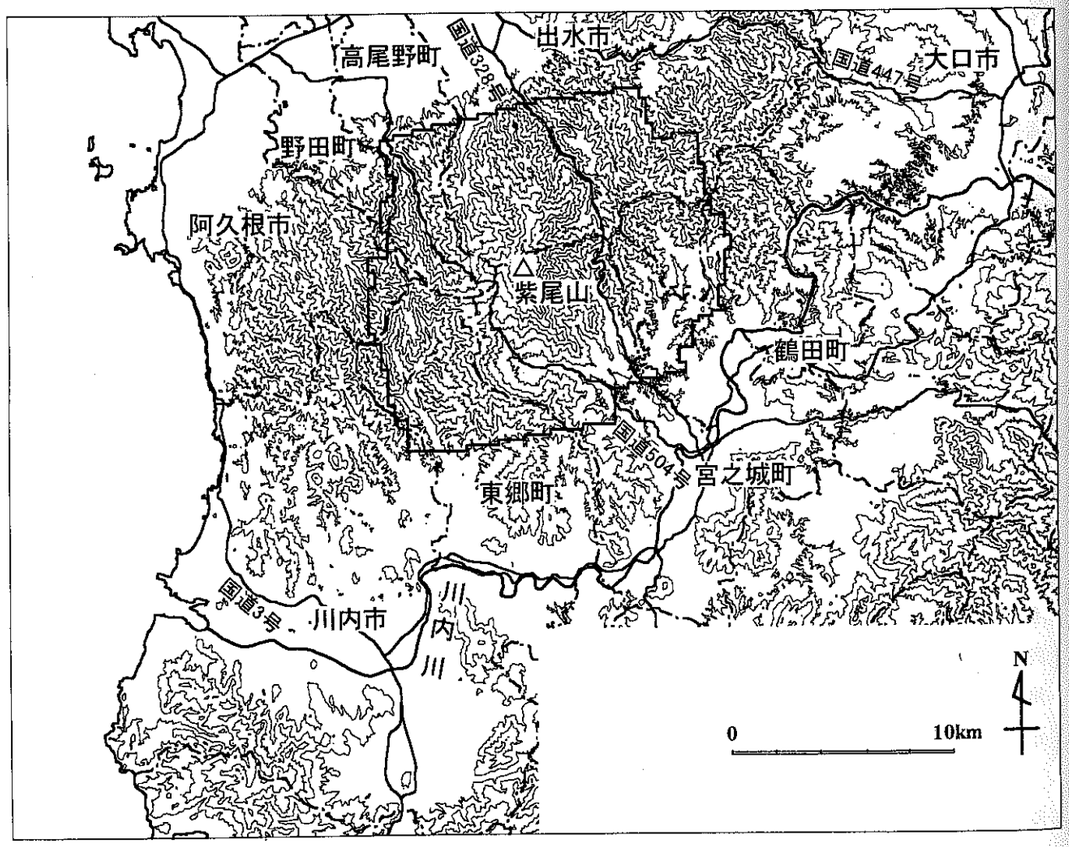


図１　調査区域の地形
実線枠は空中写真判読区域

図２は、13枚の25,000分の１地形図に記載された崩壊地の位置座標をデジタイザによって読取り、全てを結合して出力したものである。図中には3月26日の本震とその余震の震源域（鹿児島地方気象台，1997a）も示している。震源域は紫尾山を中央に南北方向約４km、東西方向約20kmの範囲に分布している。3月26日の地震は紫尾山直下で東西方向にできた左横ずれ断層が原因とみられており、断層面を境に北側が西に、南側が東にずれたとされている（角田ら，1997）。崩壊地は震源域を取り囲むように分布している。図中の震源域の長軸方向の中心線から各崩壊地までの最短距離を計算し、そのヒストグラムを作成した（図３）。震源域から離れるに従い、崩壊地の個数が減少しており、震源域の中心線から８km以内の範囲（震源域を取り囲む南北方向16km、東西方向36kmの範囲）に全崩壊地の約90％が含まれる。しかし、図２を詳細にみると、震源域からの距離に関係なく崩壊地が集中している所がある。これには地形・地質が関係しており、これについては後述する。

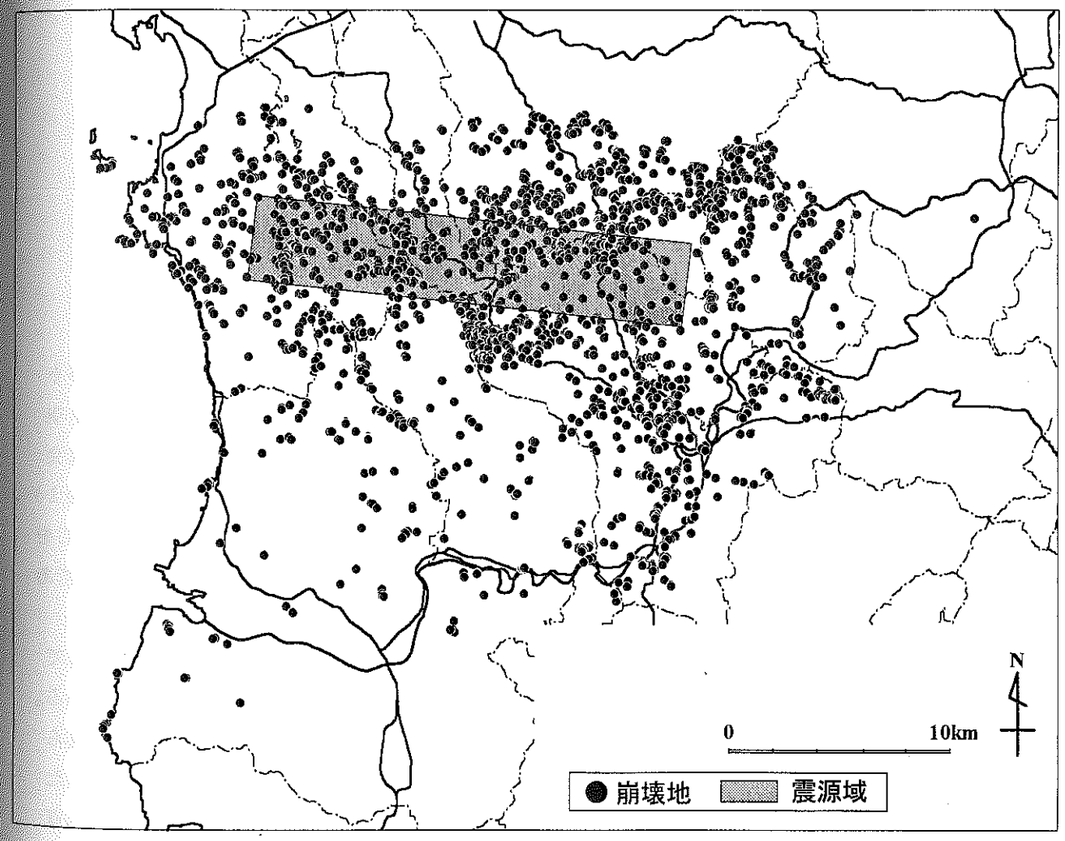


図２　3月26日の本震およびその余震の震源域と斜面崩壊地の分布

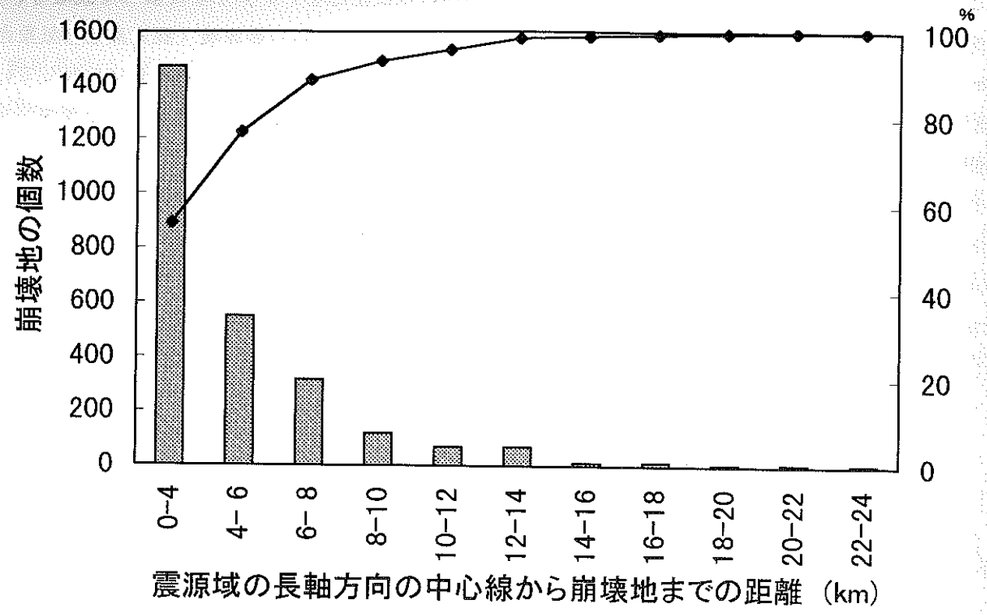


図３　震源域から斜面崩壊地までの距離のヒストグラム

4　斜面崩壊地の空間的分布とその推移

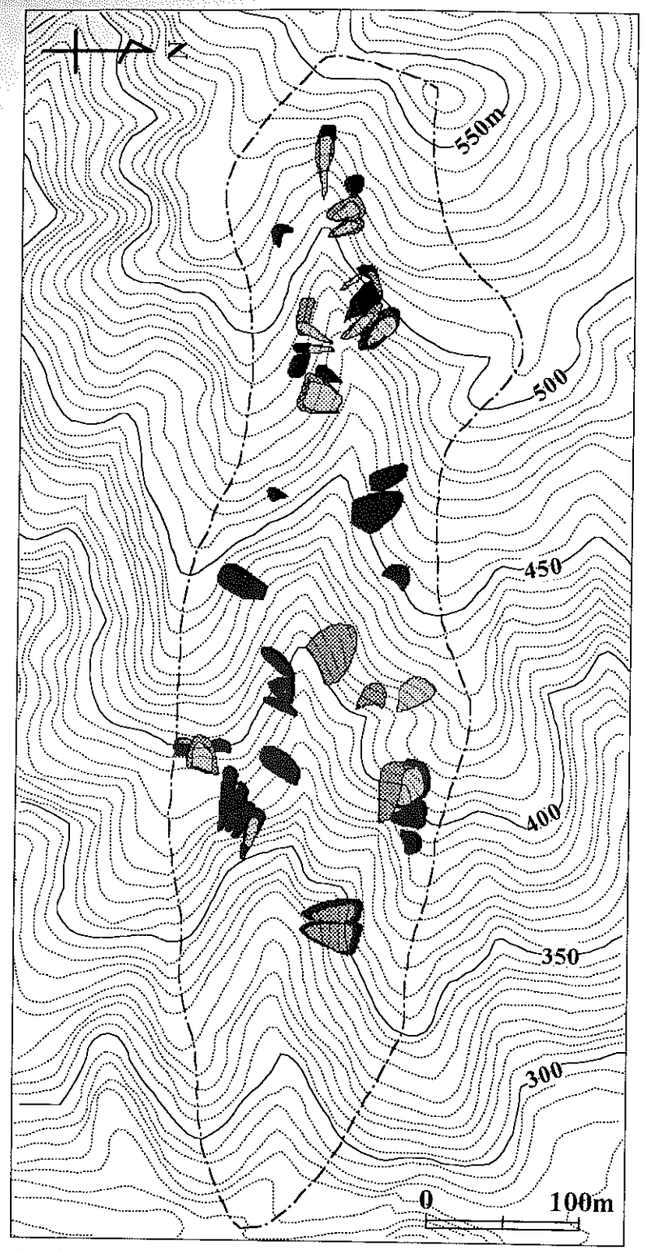
地震やその後の雨による斜面崩壊地の空間的分布やその時間的推移を調べるために、本震およびその余震の震源地となった区域（紫尾山を中心とする半径約８kmの範囲、図１）を対象にして４組の空中写真の判読を行った。４組の空中写真は、地震発生約１年前の1996年3月5日（国際航空写真株式会社、縮尺約15,000分の１）、３月の地震後の4月25日～5月9日（朝日航洋株式会社、縮尺約8,000分の１）、５月の地震後の5月27日（国際航空写真株式会社、縮尺約10,000分の１）、さらに調査区域のすべてを対象にしていないが、8月24日（国際航空写真株式会社、縮尺約15,000分の１）に撮影されたものである。これらの作業により、現地調査で確認した崩壊地と合わせて詳細な分布図を作成した。

図４は、４組の空中写真の判読から得られた斜面崩壊地の分布図の例である。地震前から存在していた崩壊地は、３月の地震によって崩壊地の上部あるいは側部の不安定土塊が崩落し、拡大している。また、この地震によって新規に発生した崩壊も多数見られる。５月の地震によっても拡大崩壊が見られる一方、新規崩壊も多数見られる。５月の新規崩壊の中には３月の地震によって山腹斜面に生じたクラックが崩壊に至った箇所も見られる（写真１）。さらに梅雨が明けてから撮影された８月の写真にも拡大崩壊や新規崩壊が見られる。

上述した判読結果を調査区域全域についてそれぞれの写真ごとに崩壊位置図として示した（図５）。ただし、8月24日の写真は調査区域を網羅していないために省略した。図６はそれぞれの写真から判読

された崩壊地の個数の推移をまとめたものである。地震前の1996年3月5月撮影の空中写真から判読された崩壊地は大小合わせて471個である。これらの崩壊の多くは1993年の鹿児島豪雨（地頭薗ら，1995；地頭薗ら，1996）の際に発生したものと思われる。３月の地震後の4月25日～5月9日撮影の空中写真から判読された崩壊地は大小合わせて1,300個であり、この中には新規崩壊が829個、拡大崩壊が109個含まれる。５月の地震後の5月27日撮影の空中写真から判読された崩壊地は大小合わせて1,896個であり、この中には新規崩壊が596個、拡大崩壊が168個含まれる。

写真１　3月26日の地震によりマサ斜面に発生したクラック（1997年5月10日撮影）
5月13日の地震によりクラック付近から崩壊（幅15m、長さ30m、深さ１m）が発生した。



判読した空中写真の撮影日

1996. 3. 5　1997. 4. 25　1997. 5. 27　1997. 8. 24

図４　４組の空中写真判読による斜面崩壊地分布図の例

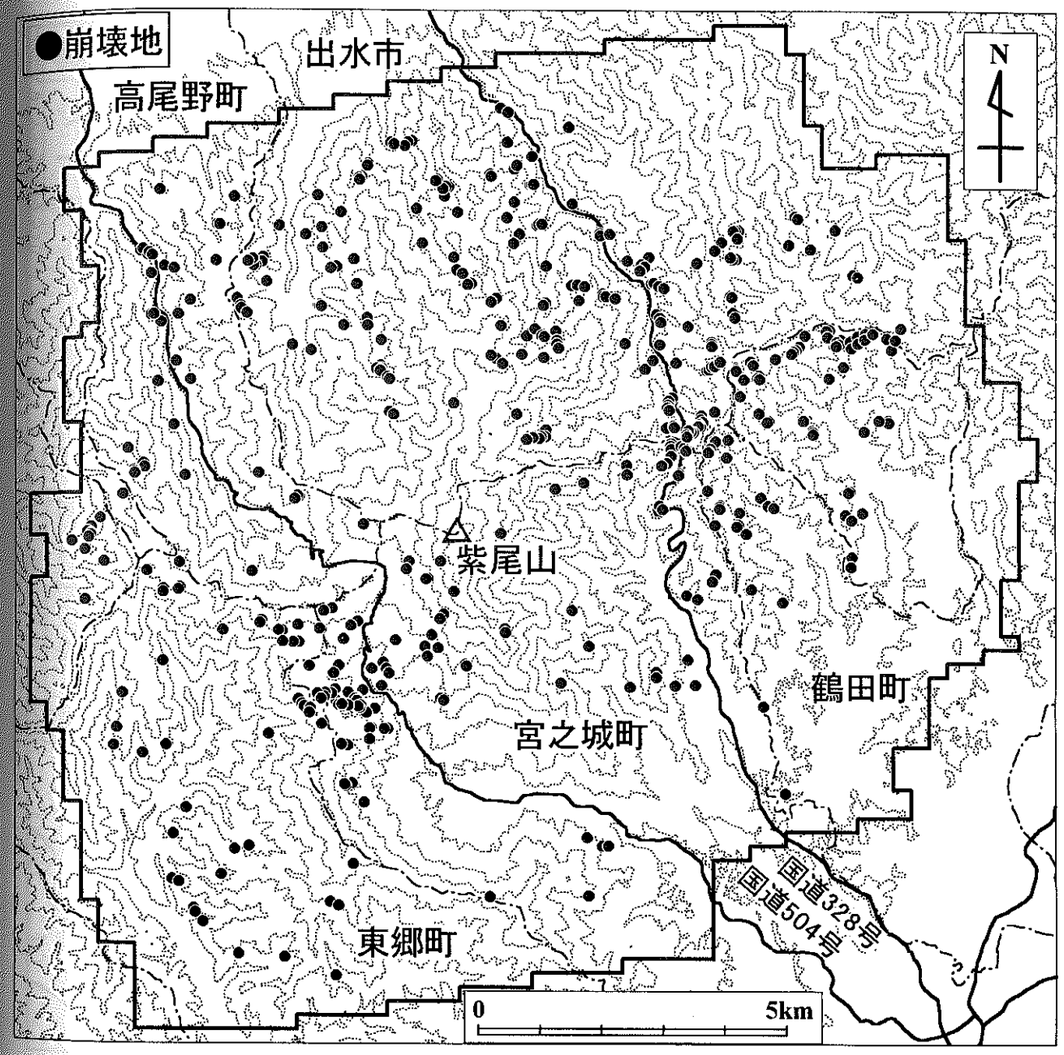


図５(1)　斜面崩壊地の空間的分布（地震前）

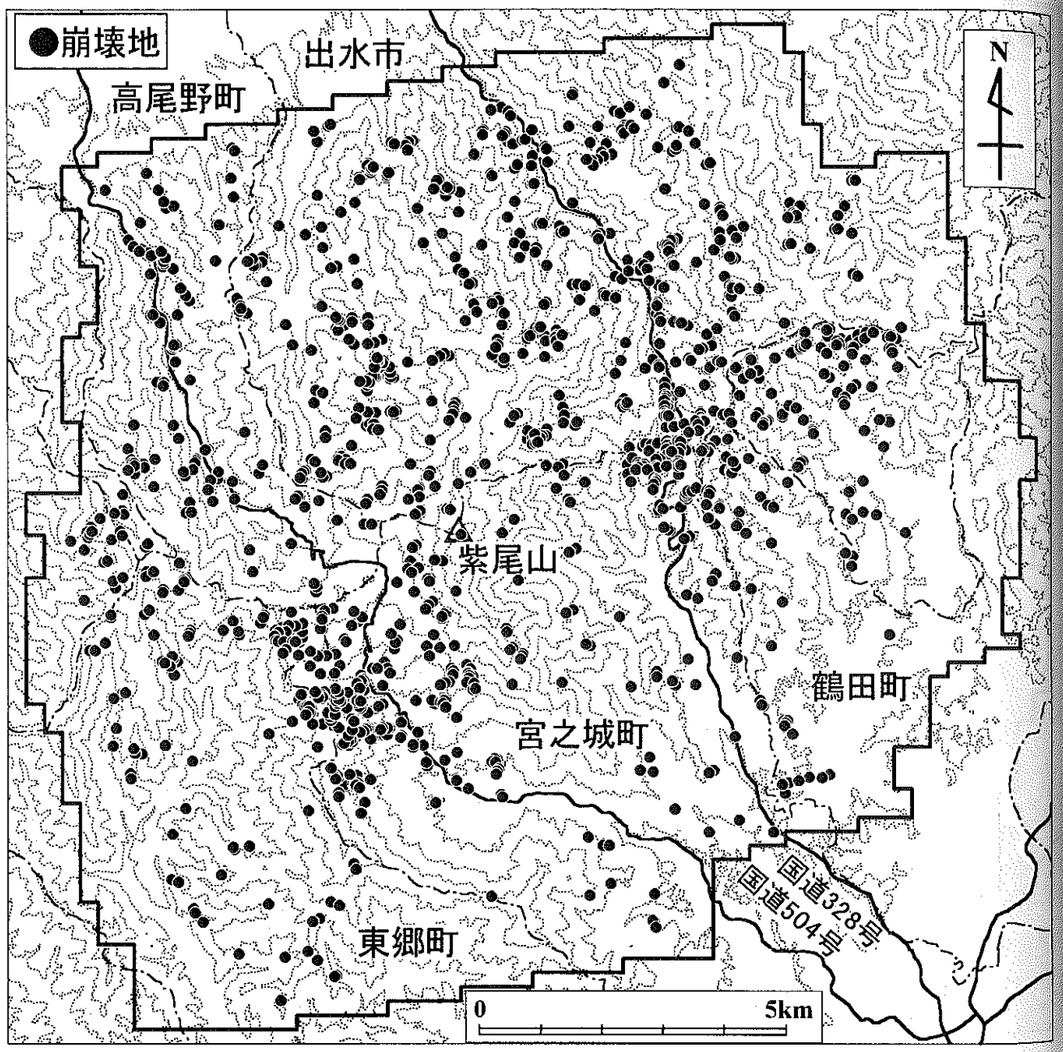


図５(2)　斜面崩壊地の空間的分布（3月26日地震後）

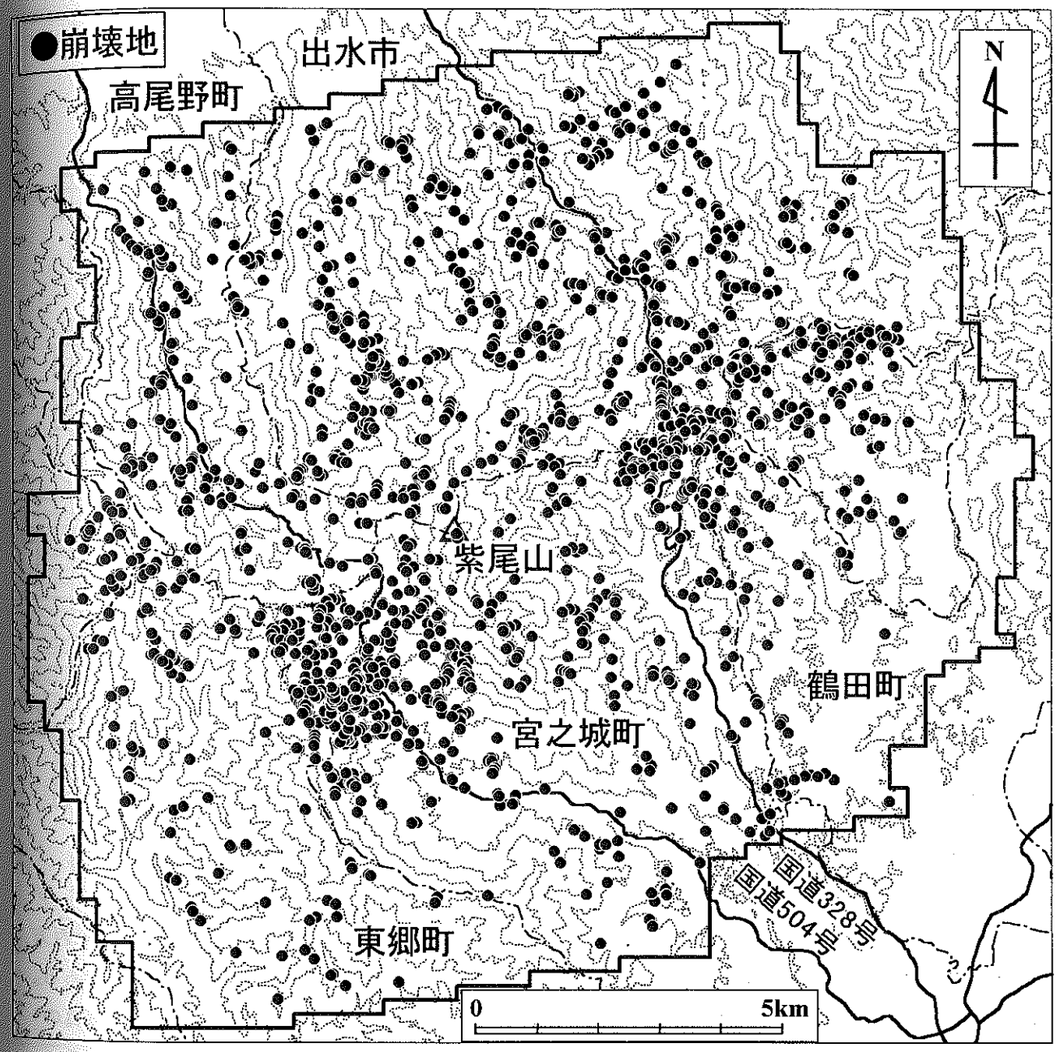


図５(3)　斜面崩壊地の空間的分布（5月13日地震後）

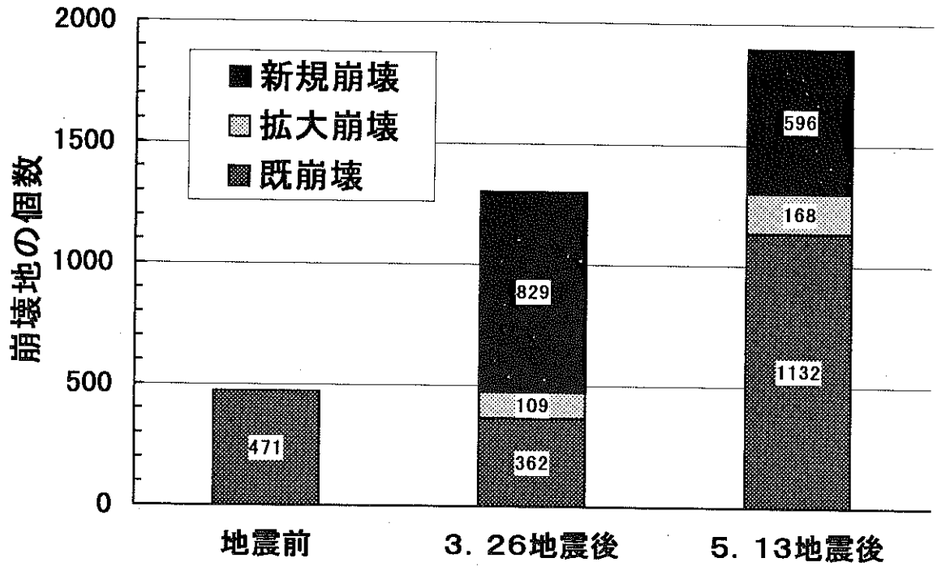


図６　斜面崩壊地個数の推移

５　メッシュ単位での斜面崩壊地の分布

図７は、図５の斜面崩壊地分布図に国土地理院刊行の数値地図250ｍメッシュ（調査区域では東西方向295ｍ、南北方向231ｍ）をかけ、メッシュ内の崩壊地の個数を求めてその分布を示したものである。調査区域に含まれるメッシュ数は3,029個であり、面積は206.41km²である。地震前撮影の空中写真の判読では、斜面崩壊が１箇所以上含まれるメッシュ数は調査区域内の全メッシュの約10%にあたる305個であり、１メッシュ内の崩壊地個数の最大は５個である。３月の地震後撮影の空中写真の判読では、斜面崩壊が１箇所以上含まれるメッシュ数は全メッシュの約21%にあたる643個であり、１メッシュ内の崩壊地個数の最大は12個である。また５月の地震後撮影の空中写真の判読では、斜面崩壊が１箇所以上含まれるメッシュ数は全メッシュの約27%にあたる831個であり、１メッシュ内の崩壊地個数の最大は21個である。

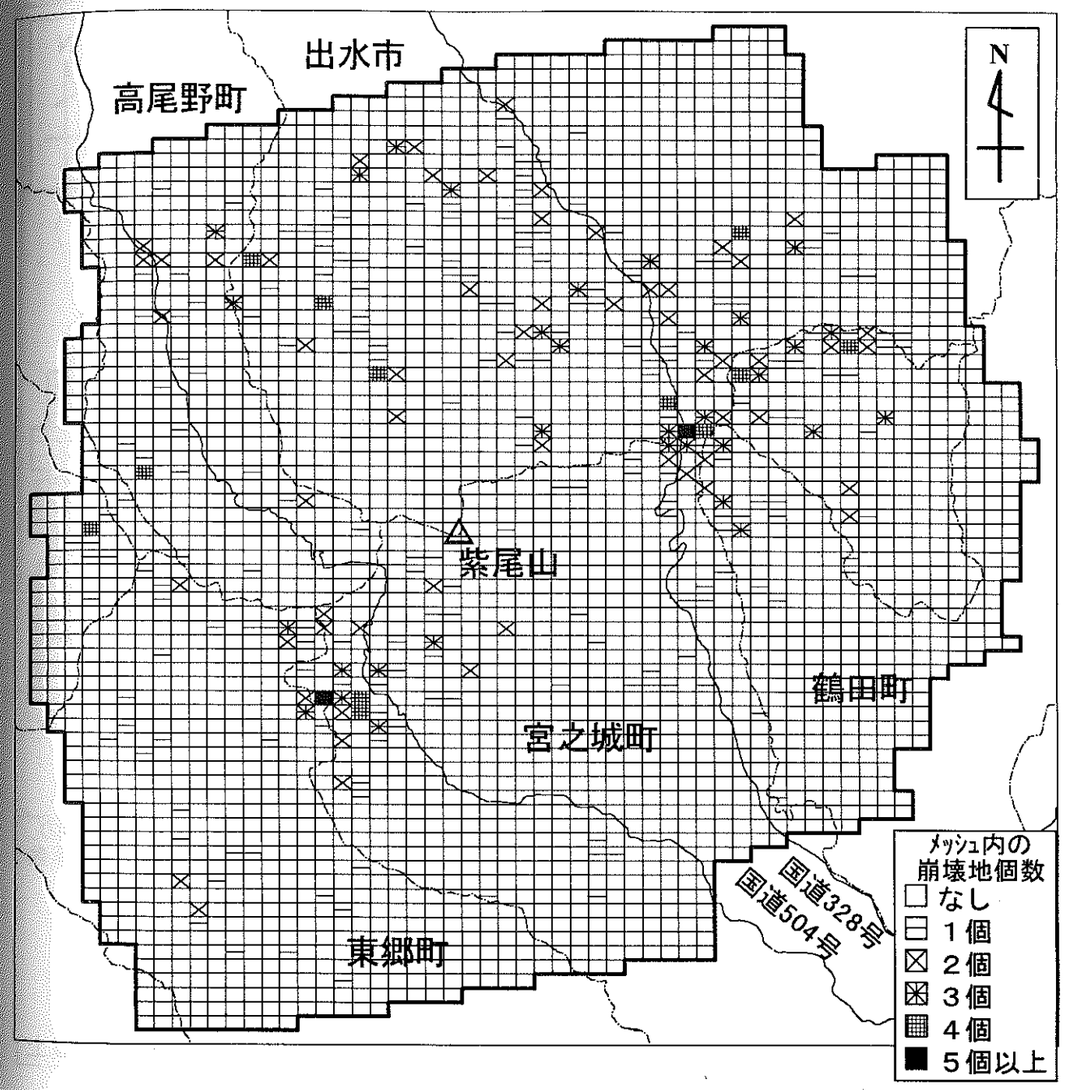


図７(1)　メッシュ単位での斜面崩壊地の分布（地震前）
１メッシュ：231×295ｍ

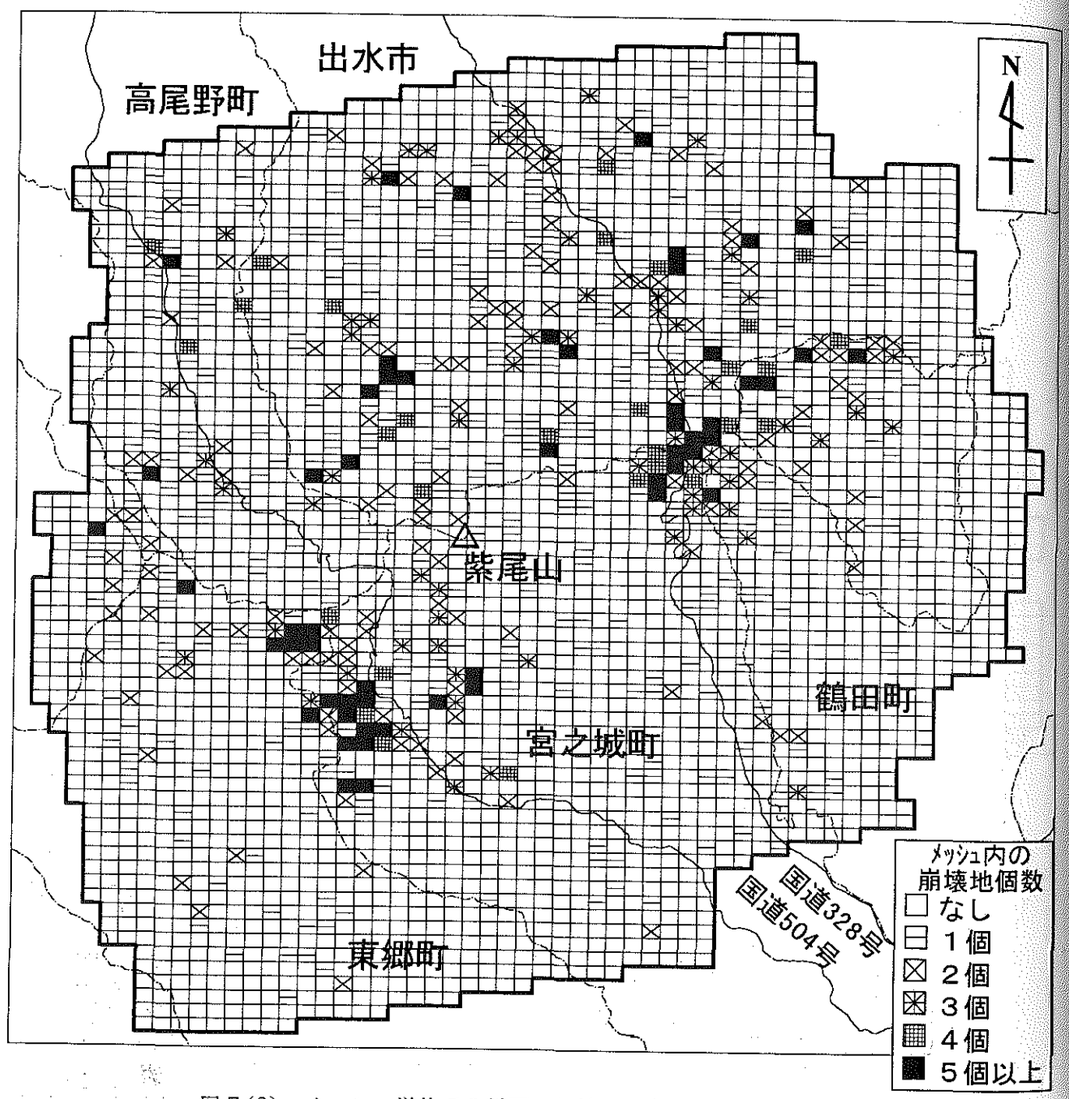


図７(2)　メッシュ単位での斜面崩壊地の分布（3月26日地震後）
1メッシュ：231×295m

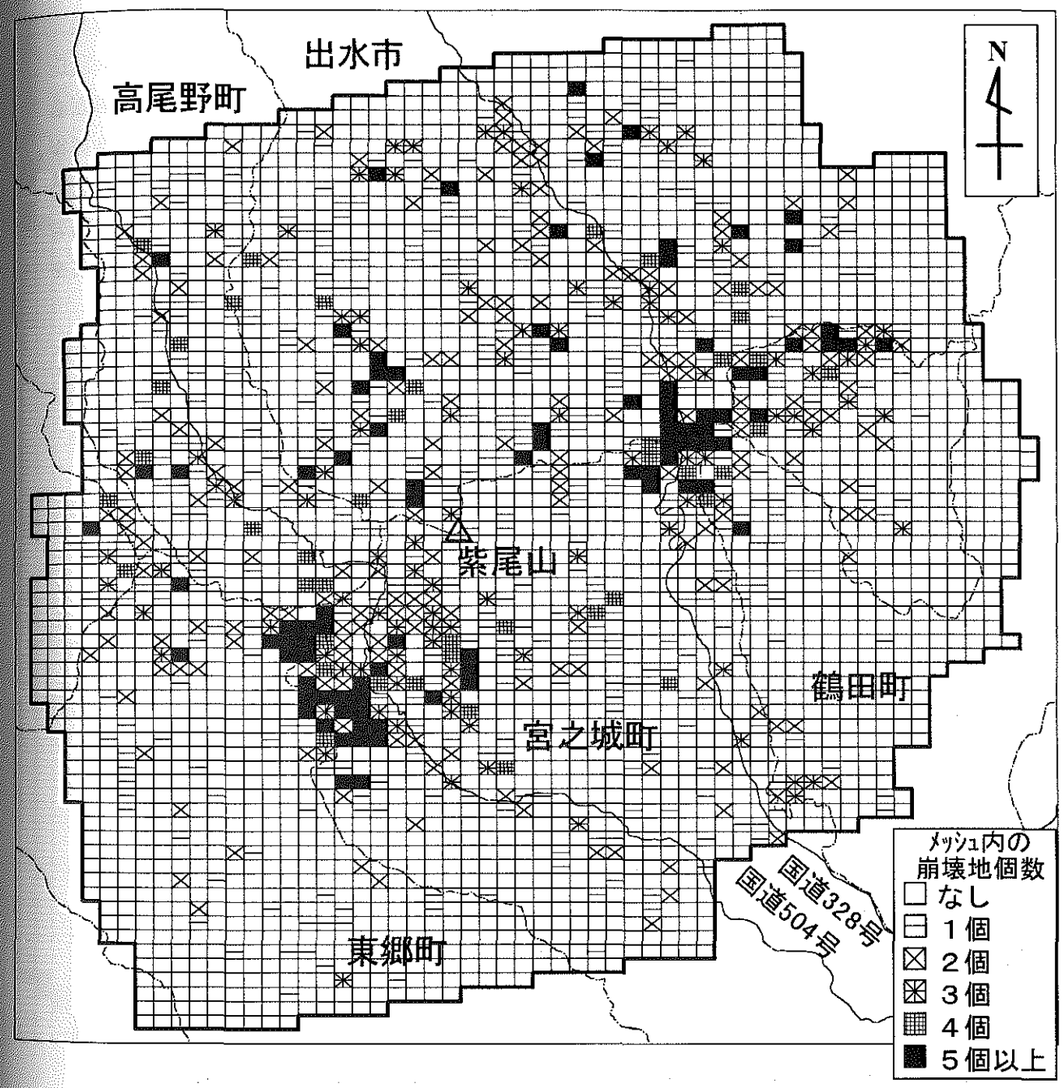


図７(3)　メッシュ単位での斜面崩壊地の分布（5月13日地震後）
1メッシュ：231×295m

6　斜面崩壊と地質

図８は、調査区域の地質を縮尺10万分の１地質図（鹿児島県，1990）を用いてメッシュ単位で区分したものである。調査区域の地質区分ごとのメッシュ数と面積は、砂岩・頁岩を主とする堆積岩類2,629個（179.15km²）、花崗岩類259個（17.65km²）、シラス62個（4.23km²）、土石流堆積物や段丘堆積物など58個（3.95km²）、安山岩などの火山岩類21個（1.43km²）である。図５に示された斜面崩壊地の分布と図８の地質図から地質区分ごとの崩壊地個数を求めた。表１は、地震前、３月の地震後、および５月の地震後について地質区分ごとの崩壊地個数および単位面積当たりの崩壊地個数をまとめたものである。崩壊地の個数は調査区域を広く占めている堆積岩類の区域で最も多く、次いで花崗岩類の区域である。しかし、単位面積当たりの崩壊地個数は花崗岩類の区域で非常に多く、崩壊が高密度に発生していることがわかる。

表１　地質区分ごとの崩壊地個数の推移

地質区分	ﾒｯｼｭ数	面積	地震前の崩壊地		3月26日地震後の崩壊地		5月13日地震後の崩壊地	
	個	km²	個数	個／km²	個数	個／km²	個数	個／km²
堆積岩類	2629	179.15	384	2.1	949	5.3	1334	7.4
花崗岩類	259	17.65	85	4.8	322	18.2	515	29.2
シラス	62	4.23	1	0.2	11	2.6	26	6.1
段丘堆積物	58	3.95	1	0.3	16	4.1	19	4.8
火山岩類	21	1.43	0	0.0	2	1.4	2	1.4
合　計	3029	206.41	471	2.3	1300	6.3	1896	9.2

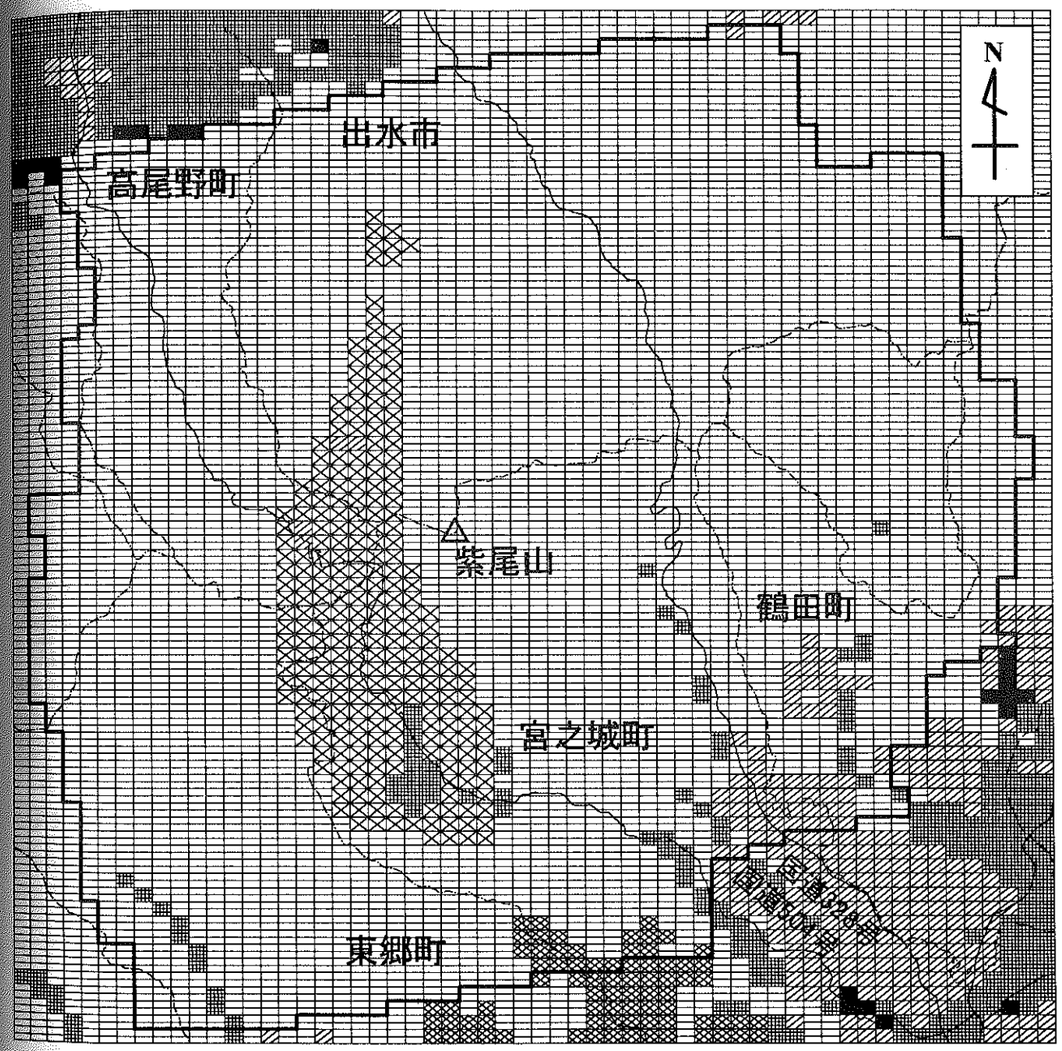


図８　調査区域の表層地質
１メッシュ：231×295m

7　地震後の斜面崩壊発生の降雨条件

3月26日地震の最大余震となった4月3日4時33分の地震発生時には、震源地一帯は大雨洪水警報が出される大雨となった。その結果、特に花崗岩類区域において斜面崩壊に加えて土石流も発生している。出水市小木場地区では、4月3日６時頃に山腹で発生した表層崩壊（崩壊土量約4500m^3）が土石流となって流下し、家屋が壊れる被害が発生した。またこの周辺では他にも斜面崩壊が多数発生している。この時の斜面崩壊発生の降雨条件を紫尾山の雨量観測所（鹿児島地方気象台，1997b）の記録を用いて分析した。

図９は、4月2～6日の紫尾山の時間雨量と24時間半減期で求めた実効雨量の変化を示したものである。実効雨量に関しては複数の定義があるが、ここでは次の定義（小橋，1993）に従って実効雨量を算出した。$D_n = a^{n-1} r_1 + a^{n-2} r_2 + \cdots + a^1 r_{n-1} + r_n$。ただし、$D_n$：ある時点から時間単位で$n$番目の時刻の実効雨量、$r_n$：$n$番目の時刻の雨量、$a$：降雨の効果の逓減係数（$0 < a \leq 1$）である。逓減係数$a$は半減期を$T$（時間）とすると、$a = 0.5^{1/T}$で求められる。上記の実効雨量の定義に従い、1997年4月1日からの実効雨量を時間単位で計算した。

斜面崩壊に伴う土石流が発生した4月3日6時までの連続雨量は85mm、土石流発生直前の最大時間雨量31mm/hr（5～6時）である。この時の実効雨量は110mm程度を示している。これは、これまで南九州で発生した土砂災害における斜面崩壊・土石流発生の降雨条件（地頭薗ら，1996）より低い値であり、地震により山地の崩壊の降雨条件が明らかに低下している。

鹿児島地方気象台は、薩摩地方の地震の被災地に対する大雨注意報・警報の基準値を梅雨前の5月1日から引き下げ、表２に示される目安で運用している。目安の値は現行の基準の約８割の値である。なおこの目安は11月10日に解除された。

大雨注意報・警報の基準値の引き下げに伴い、鹿児島県が避難体制等に対して運用している目安も時間雨量20mmを15mmに、連続雨量100mmを80mmの約８割の値に引き下げられた。4月3日の大雨時に発生した斜面崩壊・土石流は連続雨量は85mmで発生しており、目安雨量の引き下げは妥当な値と思われる。

表２　注意報・警報の現行基準値と当面の目安

		現行の基準	目　安
注意報	１時間降水量	30mm	25mm
	３時間降水量	60mm	40mm
	24時間降水量	100mm	80mm
警　報	１時間降水量	50mm	40mm
	３時間降水量	100mm	70mm
	24時間降水量	200mm	150mm

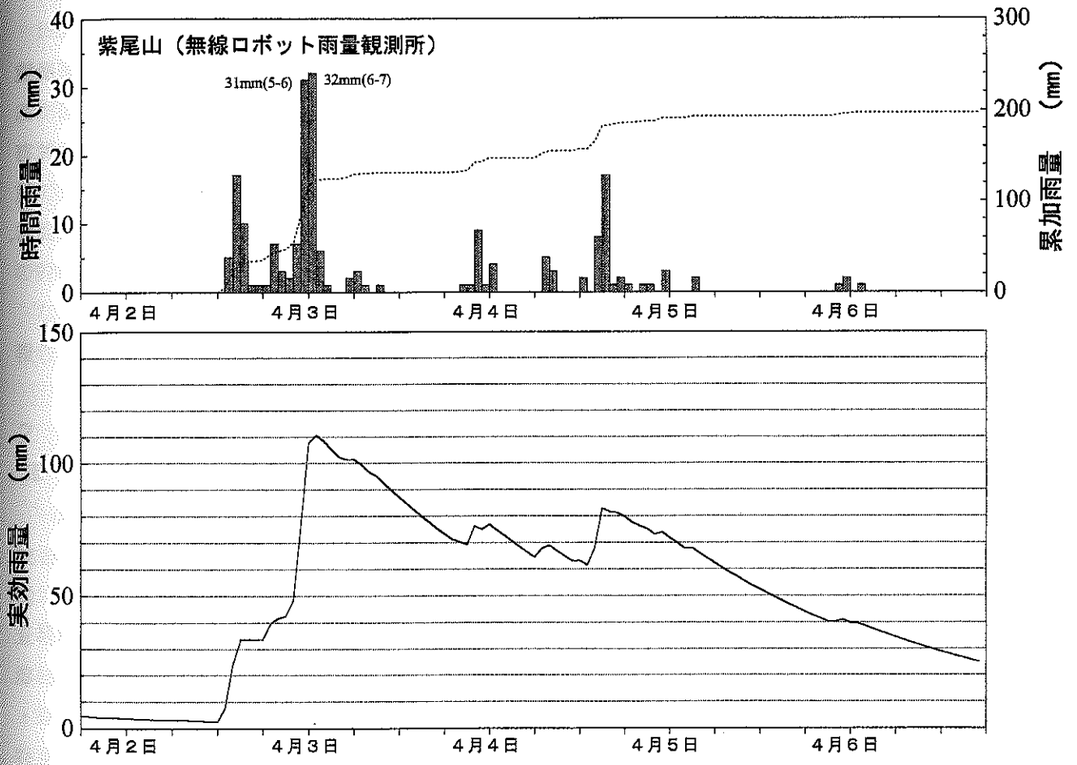


図９　出水市小木場地区における4月3日の斜面崩壊・土石流発生時に降雨

末筆ではあるが、本研究の実施にあたっては、鹿児島県土木部、同林務水産部、(社)鹿児島県治山林道協会、(財)鹿児島県建設技術センターに多大なご協力をいただいた。また、空中写真判読やデータ整理の際は、鹿児島大学砂防学研究室学部生の杉田美由紀、松田重和、黒木利恵の諸氏にご協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

引 用 文 献

地頭薗隆・下川悦郎・松本舞恵・加藤昭一・三浦郁人（1995）：１９９３年鹿児島豪雨による斜面崩壊・土石流の分布と土砂生産，鹿児島大学農学部演習林報告，No.23，pp.33～54

地頭薗隆・下川悦郎・三浦郁人・松本舞恵・加藤昭一（1996）：１９９３年鹿児島豪雨による土砂災害発生と降雨，鹿児島大学農学部演習林研究報告，No.24，pp.69～87

地頭薗隆・下川悦郎・寺本行芳（1997）：１９９７年鹿児島県北西部地震による斜面崩壊，砂防学会誌，Vol.50，No.2，pp.82～86

鹿児島県（1990）：鹿児島県地質図（縮尺100,000分の１）

鹿児島県（1997）：薩摩地方を震源とする地震による土砂崩壊発生箇所図（縮尺25,000分の１）

鹿児島地方気象台（1997a）：鹿児島県の地震活動

鹿児島地方気象台（1997b）：紫尾山雨量観測所資料

角田寿喜・宮町宏樹・後藤和彦・八木原寛・平野舟一郎・福満修一郎・関谷博・金子和弘・岩切一宏・清水力（1997）：地震活動の特徴，平成９年度建設技術講演会，鹿児島県北西部地震について，（財）鹿児島県建設技術センター，pp.1～12

小橋澄治（1993）：山地保全学，文永堂，pp.70～71

土屋　智・下川悦郎・石川芳治・地頭薗隆（1997）：平成９年３月下旬から４月上旬に発生した鹿児島県北西部地震と斜面崩壊（速報），砂防学会誌，Vol.50，No.1，pp.86～88

地震による斜面崩壊の特徴

農学部生物環境学科　寺本 行芳・下川 悦郎・地頭薗 隆

1　はじめに

1997年３月26日、鹿児島県北西部の紫尾山付近を震源とするマグニチュード（M）6.3の大きな地震が発生した。この地震の余震活動は活発で、M5.5（４月３日）とM4.9（４月５、９日）の強い地震が観測されている。この地震により、山地・崖地では多数の斜面崩壊が発生した。さらに５月13日には最初の地震の震源地の南西方向約５km地点を震源とするM6.2の新たな地震が起こり、前回の地震で生じた崩壊地の拡大および新規の崩壊が発生した。地震発生直後の４月から７月にかけて崩壊した斜面の現地調査を行った。ここでは、その現地調査に基づいて一連の地震により発生した斜面崩壊の特徴について報告する。

なお、地震による斜面崩壊の広域の空間的分布および時間的変遷、斜面崩壊の履歴については別に報告されている（地頭薗ら，1997；松本ら，1997）。

2　現地調査および解析方法

一連の地震により発生した斜面崩壊（落石も含む）を対象として、位置、発生日時、発生時の様子、被害状況についての聞き取り調査、崩壊の形態、地盤の地質、崩壊物質、崩壊斜面の縦・横断形状、崩壊斜面の向き・傾斜、崩壊面の長さ・幅・面積、崩壊土量、斜面の植生などの項目について現地調査を行った。その箇所は、堆積岩類区域41箇所（図１の×印）、花崗岩類区域67箇所（図１の●印）、溶結凝灰岩・火山岩類区域15箇所（図１の▽印）、シラス区域19箇所（図１の○印）、土石流堆積物・段丘堆積物区域３箇所（図１の△印）である。以上の調査結果に基づいて、地震による斜面崩壊の特徴について検討した。

3　崩壊の発生状況

今回の地震で発生した代表的な斜面崩壊およびその特徴について、現地調査に基づいて地質ごとに整理して記述する。

3．1　堆積岩類

堆積岩類の斜面崩壊は、東郷町、高尾野町の国道504号沿いおよび出水市の国道328号沿いの紫尾山周辺の急斜面にみられた（図１の×印）。堆積岩類区域で発生した代表的な斜面崩壊の例について以下に記述する。

東郷町藤ノ元では、４月３日の余震により切取斜面肩部の崩落・落石が発生した（図２(a)）。この一帯の砂岩・頁岩は一部ホルンフェルス化している。斜面は60～70度の傾斜をなし、斜面の向きは東で、崩壊した斜面の横断形状は平衡型である。地質構造は受け盤である。崩壊土量は15m^3（高さ５m、幅３m、平均崩壊深１m）であり、斜面脚部に移動した岩塊（大きなもので直径２m）は林道のガードレールを一部破壊した。これ以外にも、出水市武本、阿久根市鶴川内、東郷町本俣林道入り口付近、東郷町森園において同じようなタイプの崩落・落石が発生していた。

出水市武本では、４月３日の余震と大雨によって表層崩壊が発生した（図２(b)）。斜面は45度の傾斜をなし、斜面の向きは北で、崩壊した斜面の横断形状は凹型である。この斜面には植林されたスギ、ヒノキや広葉樹のシイ、カシ類などが生育している。砂岩は一部ホルンヘルス化しており、風化を受けている。崩壊により生成された岩塊は大きなもので１～２mであり、斜面下部の崖錐斜面に堆積し停止した。崩壊した土砂の一部は土留工に達し、その一部を破損した。崩壊土量は300m^3（高さ30m、幅10m、平均崩壊深１m）である。このほかにも、高尾野町平八重、出水市武本、東郷町藤ノ元、東郷町本俣林道内においても同じようなタイプの表層崩壊が発生している。なお、出水市武本では旧崩壊跡地上部の拡大崩壊が多数発生していた。また、高尾野町平八重では表層土だけでなくその下層の風化層も崩れている。

高尾野町平八重や東郷町本俣林道内では林道や斜面上部にクラックが多数発生しており、このクラックはその後の地震によってさらに拡大していた。

以上、堆積岩類区域でみられた斜面崩壊のタイプは、道路切取斜面からの崩落・落石、自然斜面における表層崩壊であった。崩落・落石は、地質構造が流れ盤および受け盤にかかわらず発生していた。また、旧崩壊跡地上部の拡大崩壊もみられた。

３．２　花崗岩類

花崗岩類の斜面崩壊は、紫尾山周辺の花崗岩類区域の急斜面や崖地に多くみられた（図１の●印）。花崗岩類区域で発生した代表的な斜面崩壊の例について以下に記述する。

宮之城町泊野では、３月26日の本震により急傾斜面肩部の崩落・落石が発生した（図２(c)）。斜面は60度の傾斜をなし、斜面の向きは南で、崩壊した斜面の横断形状は平衡型である。崩壊した土砂によって斜面下部の人家は一部破壊した。崩壊土量は５m^3（高さ３m、幅３m、平均崩壊深0.5m）で小規模である。これ以外にも、阿久根市鶴川内、東郷町新谷林道内、東郷町山田本俣林道内、宮之城町竹八重、宮之城町湯ノ山の道路または宅地の切取斜面の肩部で同じようなタイプの崩落・落石が発生していた。

出水市武本では、４月３日の本震と大雨によって表層崩壊が発生した（図２(d)）。斜面は45度の傾斜をなし、斜面の向きは北西で、崩壊した斜面の横断形状は凸型である。この斜面には植林されたスギ、ヒノキや広葉樹のシイ、カシ類などが生育している。崩壊土量は60m^3（高さ10m、幅８m、平均崩壊深0.7m）である。崩壊した土砂は斜面下部の崖錐斜面に堆積し、一部は土留工の下に流出したが、被害には結びつかなかった。このほかにも、東郷町新谷林道内、東郷町山田本俣林道内、宮之城町泊野の自然斜面でも同じようなタイプの表層崩壊が発生している。東郷町本俣林道内では旧崩壊跡地上部の拡大崩壊が多数発生している。

出水市小木場では、４月３日の余震により発生した表層崩壊が大雨によって土石流化して下流に流出した。この土石流は４月３日早朝６時頃発生しており、崩壊斜面の向きは西南西～南西である。土石流の源頭部となった表層崩壊の土量は1,600m^3（高さ80m、幅20m、平均崩壊深1m）である。土石流は源頭部から700～800m下流に流下して堆積したが、被害には至らなかった。

花崗岩類区域では崩壊の発生には至らなかったものの、東郷町本俣林道内および新谷林道内の法面では、地震によるクラックの発生がみられた。また、その後の地震や大雨によってクラックが拡大していた。

以上、花崗岩類区域でみられた斜面崩壊のタイプは、道路または宅地の切取斜面の肩部で発生した崩落・落石と自然斜面における表層崩壊である。また、表層崩壊が土石流化したものや、旧崩壊跡地上部の拡大崩壊もみられた。

３．３　溶結凝灰岩・火山岩類

溶結凝灰岩・火山岩類における落石は、出水市の国道447号沿いや宮之城町の国道328号沿いの急崖で発生が確認された（図１の▽印）。溶結凝灰岩・火山岩類区域で発生した代表的な斜面崩壊の例について以下に記述する。

出水市上大川内の溶結凝灰岩の急崖では、３月26日の本震による落石が発生した（図１(e)）。この斜面は上部の急崖部80度と下部の崖錐部40度からなる。この溶結凝灰岩には鉛直方向の柱状節理と、それと交差する水平方向の節理が発達している。落石は、急崖斜面の肩部から下部にかけての全面で発生している。斜面の向きは東南東で、崩壊した斜面の横断形状は平衡型である。落石量（源頭部）は45m^3（高さ15m、幅３m、平均崩壊深１m）である。生成された岩塊の大部分（大きな岩塊で２×1.4×１m）は急崖直下の崖錐斜面に停止し堆積したが、数個は崖錐堆積物の中腹部と斜面下部の落石防止柵に達し、さらに２個（1.2×1.6×３m、1.2×2.2×1.5m）が落石防止柵を越えて（破壊して）人家に転がり込み、その一部を破損した。急崖部に向かって落石源の左側には今回の地震で10cm程度ずれた岩塊が不安定な形で存在する。その量は12.5m^3（５×２×1.5m）である。これ以外にも、出水市郷田山、川内市陽成町においても急崖での落石が発生している。

以上、溶結凝灰岩・火山岩類区域でみられた崩壊のタイプは、急崖において発生した岩塊の落石と転倒崩壊である。

３．４　シラス

シラスにおける斜面崩壊は、宮之城町の国道328号沿い、鶴田町、野田町において広く分布している（図１の○印）。シラス区域で発生した代表的な斜面崩壊の例について以下に記述する。

東郷町山田では３月26日の本震、４月９日の余震および５月13日の本震によって人家裏斜面肩部の崩落が発生した（図２(f)）。斜面は70度の傾斜をなし、斜面の向きは南南東で、崩壊した斜面の横断形状は凹型である。３月26日の本震では斜面肩部右側半分が、４月９日余震および５月13日の本震

では斜面肩部左側半分が崩壊した。これらにより崩壊した土砂は、斜面に隣接する人家ならびに牛小屋を一部破損させた。崩壊土量は1,000～2,000m³（高さ15m、幅25m、平均崩壊深３m）であり、崩壊は深部にわたって発生している。これ以外にも、宮之城町上平川、宮之城町白男川、川内市城上町の道路または宅地の切取斜面の肩部で崩落が発生していた。

宮之城町平川では３月26日の本震によってシラス斜面の剥離がみられた（図２(g)）。斜面は70～80度の傾斜をなし、斜面の向きは西で、崩壊した斜面の横断形状は凹型である。剥離した土砂量は２m³程度の小規模なものであった。斜面上部には３月26日の本震に伴うクラックがみられ、６月14日の現地調査によると、５月13日の本震によってこのクラックから崩壊が発生していた。崩壊土量は200m³（高さ10m、幅10m、平均崩壊深２m）である。このシラス層斜面中部の指標硬度を山中式土壌硬度計で測定すると24～25mmであり、かなり風化を受けている。

宮之城町虎居甫立では５月13日の本震によってシラス肩部の崩落およびシラス層からの崩壊がみられた。この崩壊は、表層土だけでなくシラス層内部から生じている。崩壊は斜面延長500mにわたり発生していた。斜面の向きは西で、崩壊した斜面の横断形状は凹型である。このシラス層の指標硬度を山中式土壌硬度計で測定すると27～29mmであり、やや風化を受けている。斜面上部は国道になっており、国道からの雨水による侵食も一部みられた。

以上、シラス区域でみられた斜面崩壊のタイプは、道路または宅地の切取斜面の肩部で発生した崩落とシラス急斜面からの崩壊である。なお、堆積岩類および花崗岩類区域で発生していた表層崩壊はほとんどみられなかった。

３．５　土石流堆積物・段丘堆積物

土石流堆積物・段丘堆積物区域における崩壊は、河川沿いの急斜面にみられた（図１の△印）。土石流堆積物・段丘堆積物区域で発生した代表的な斜面崩壊の例について以下に記述する。

川内市田海的場では人家裏斜面における肩部の崩落が発生したが（図２(h)）、人家には被害はなかった。この斜面肩部の崩落は３月26日の本震とその後の余震で発生したものである。斜面は60～70度の傾斜をなし、斜面の向きは西で、崩壊した斜面の横断形状は平衡型、崩壊土量は200m³（高さ５m、幅20m、平均崩壊深２m）である。

４　地震による斜面崩壊の規模と地形的特徴

３月26日の地震およびその後の余震活動に伴い発生した斜面崩壊の規模と地形的特徴を、現地調査に基づき地質ごとに整理すると以下の通りである。

４．１　崩壊面積

図３は、地質ごとに崩壊面積の度数分布図を示したものである。堆積岩類区域の調査箇所数は19箇所であり、その崩壊面積は12～1,200m²である。これを道路切取斜面の崩落・落石（８箇所）と自然斜面の表層崩壊（11箇所）に区分すると、崩壊面積はそれぞれ12～450m²、300～1,200m²である。道路切取斜面の崩落・落石は大部分が100m²未満で小規模であるが、自然斜面での表層崩壊には規模の大きな崩壊も含まれる。花崗岩類区域の調査箇所数は21箇所であり、その崩壊面積は10～1,600m²である。これを道路または宅地の切取斜面肩部の崩落・落石（12箇所）と自然斜面の表層崩壊（９箇所）に区分すると、崩壊面積はそれぞれ10～550m²、75～1,600m²である。道路または宅地の切取斜面の崩落・落石は大部分が100m²未満であり小規模であるが、自然斜面での表層崩壊には1,000m²を超える規模の大きな崩壊も含まれる。溶結凝灰岩・火山岩類区域の調査箇所数は12箇所であり、落石によるものである。その崩壊面積は10～400m²である。落石による崩壊面積は100m²未満が大部分であり、比較的小規模なものが多い。シラス区域の調査箇所数は15箇所であり、その崩壊面積は４～900m²である。これを道路または宅地の切取斜面の肩部で発生した崩落（12箇所）、急斜面からの崩壊（３箇所）に区分すると、崩壊面積はそれぞれ４～900m²、100～375m²である。道路または宅地の切取斜面の肩部で発生した崩落はやや規模の大きなものから崩壊面積が10m²以下の小規模な崩壊も含まれる。シラス急斜面からの崩壊にはやや規模の大きな崩壊が発生している。

４．２　崩壊土量

図４は、崩壊土量の度数分布を地質ごとに示したものである。堆積岩類区域の崩壊土量は６～1,300m³である。道路切取斜面の崩落・落石と自然斜面の表層崩壊による崩壊土量はそれぞれ６～450m³、350～1,300m³である。道路切取斜面の崩落・落石は大部分が100m³未満で小規模であるが、自然斜面での表層崩壊には1,000m³を超える規模の大きな崩壊も含まれる。花崗岩類区域の崩壊土量は５～1,600m³である。道路または宅地の切取斜面肩部の崩落・落石と自然斜面の表層崩壊による崩壊土量はそれぞれ５～550m³、75～1,600m³である。道路または宅地の切取斜面肩部の崩落・落石の大部分が100m³未満で小規模であるが、自然斜面での表層崩壊には堆積岩類区域で発生した表層崩壊同様、1,000m³を超える規模の大きな崩壊も含まれる。溶結凝灰岩・火山岩類区域で発生した落石による崩壊土量は20～2,000m³である。崩壊面積は小規模であったが、崩壊深が大きくなっているために崩壊土量が2,000m³を超える大規模なものも発生している。シラス区域の崩壊土量は２～1,350m³である。道路または宅地の切取斜面の肩部で発生した崩落とシラス急斜面からの崩壊による崩壊土量はそれぞれ２～1,350m³、225～1,100m³である。道路または宅地の切取斜面の肩部で発生した崩落は大部分が100m³以下であり、崩壊土量が10m³以下のものもある。一方、シラス急斜面からの崩壊は、崩壊が深層から及ぶため崩壊土量が大きな崩壊も発生している。

４．３　崩壊斜面の横断形状

図５は、地質ごとの崩壊斜面の横断形状の個数を示したものである。堆積岩類区域でみられた道路切取斜面の崩落・落石と自然斜面の表層崩壊の横断形状は、平衡型や凸型で多く発生している。花崗岩類区域でみられた道路または宅地の切取斜面肩部の崩落・落石と自然斜面の表層崩壊の横断形状は、平衡型や凸型で多く発生している。溶結凝灰岩・火山岩類区域でみられた落石は平衡型が多く、シラ

ス区域でみられた道路または宅地の切取斜面の肩部で発生した崩落とシラス急斜面からの崩壊では凹型や凸型が多くなっている。

4．4　崩壊の斜面方向

図6は、地質ごとの崩壊斜面の方向を示したものである。堆積岩類区域で発生した道路切取斜面の崩落・落石や自然斜面の表層崩壊は、東あるいは西向きの斜面で多く発生している。花崗岩類区域で発生した道路または宅地の切取斜面肩部の崩落・落石や自然斜面の表層崩壊は、崩壊斜面の向きに偏りがみられなかった。溶結凝灰岩・火山岩類区域で発生した落石は、東あるいは西向きの斜面で多く発生している。堆積岩類および溶結凝灰岩・火山岩類区域でみられた崩壊・落石は、東あるいは西向きの斜面に多く発生している。これは地震の主な揺れが東西方向であったことと合致している。一方、花崗岩類およびシラス区域でみられた崩壊は、崩壊斜面の向きに偏りは認められなかった。

5　おわりに

以上、一連の地震により発生した斜面崩壊の特徴について現地調査に基づき検討した。その結果、地震により発生した斜面崩壊の特徴は地質ごとに違いがみられた。今後は、震源地からの距離と崩壊との関係、降雨と崩壊との関係などとあわせて検討したいと考えている。

末筆ではあるが、本研究の実施にあたっては、鹿児島県土木部、同林務水産部、（財）鹿児島県建設技術センター、（社）鹿児島県治山林道協会に多大なご協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

引用文献

地頭薗隆ら（1997）：地震による斜面崩壊の分布，本報告書内
松本舞恵ら（1997）：地震による斜面崩壊発生とその履歴，本報告書内

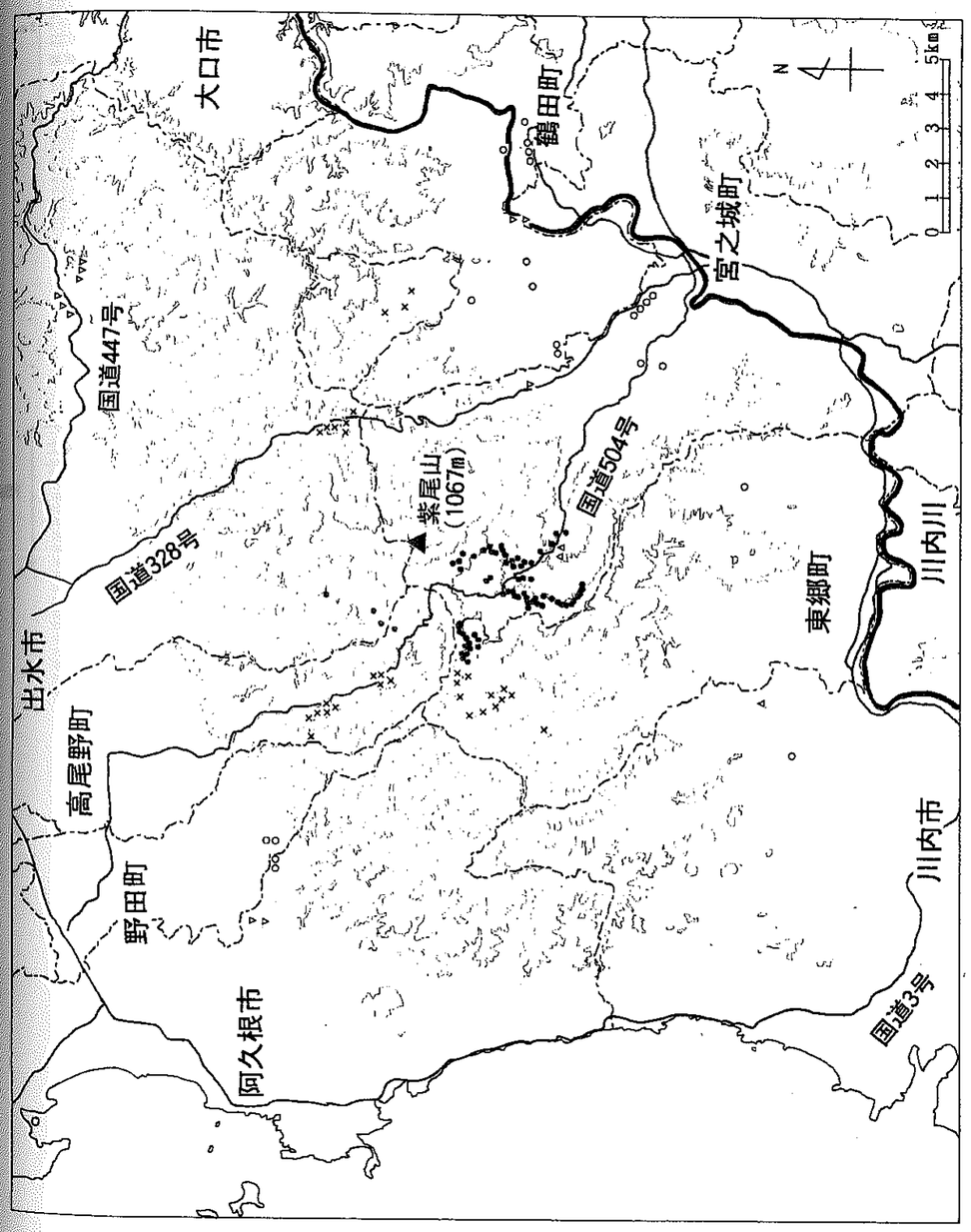


図1　斜面崩壊の現地調査位置

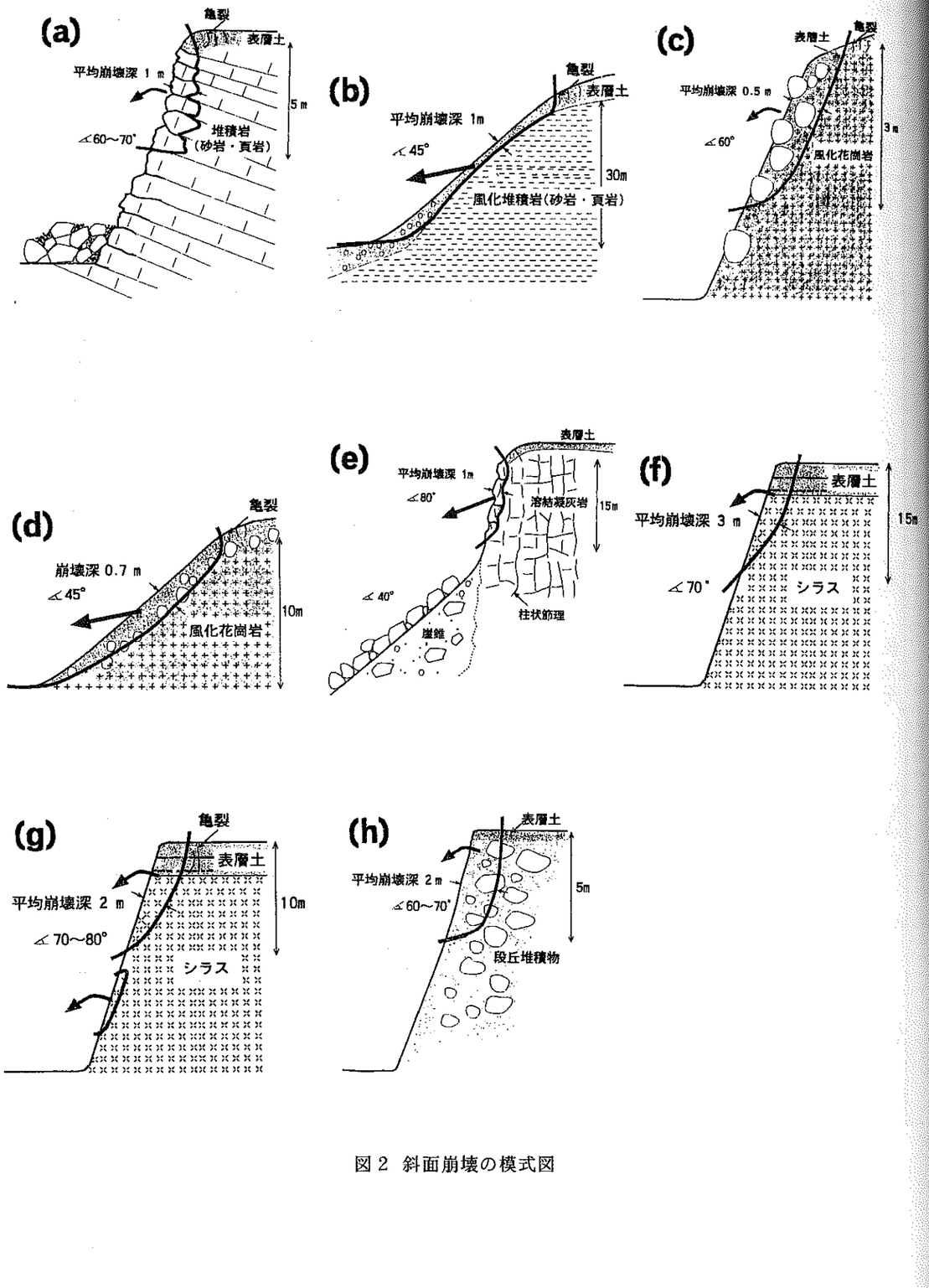


図 2　斜面崩壊の模式図

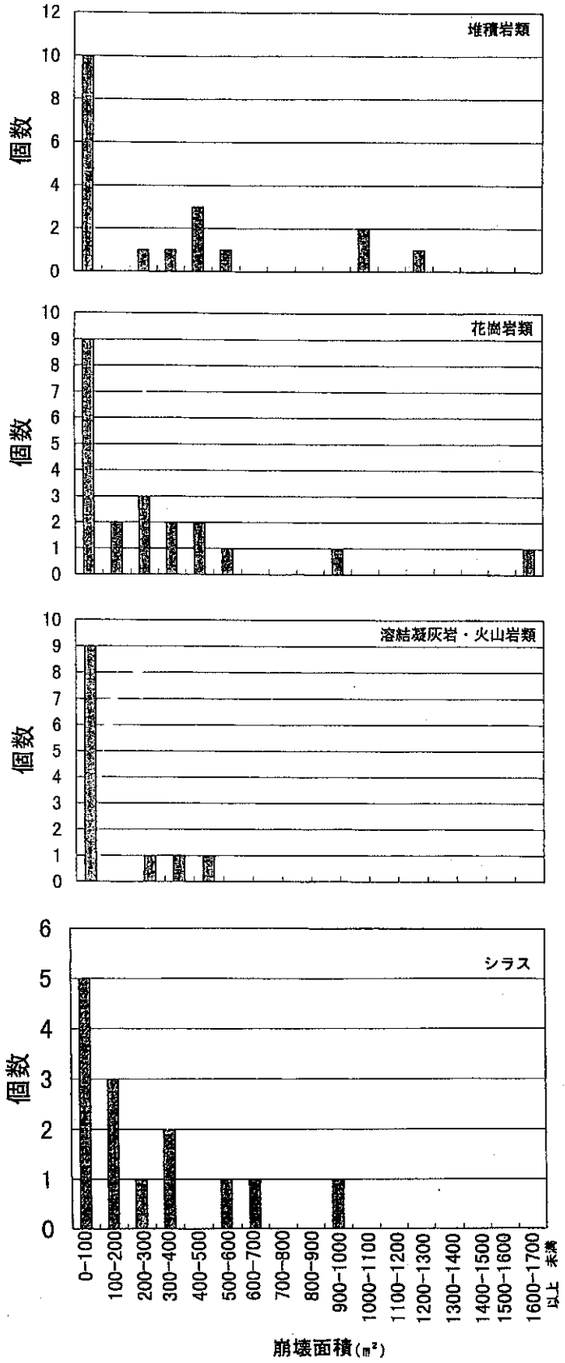


図 3　崩壊面積の度数分布

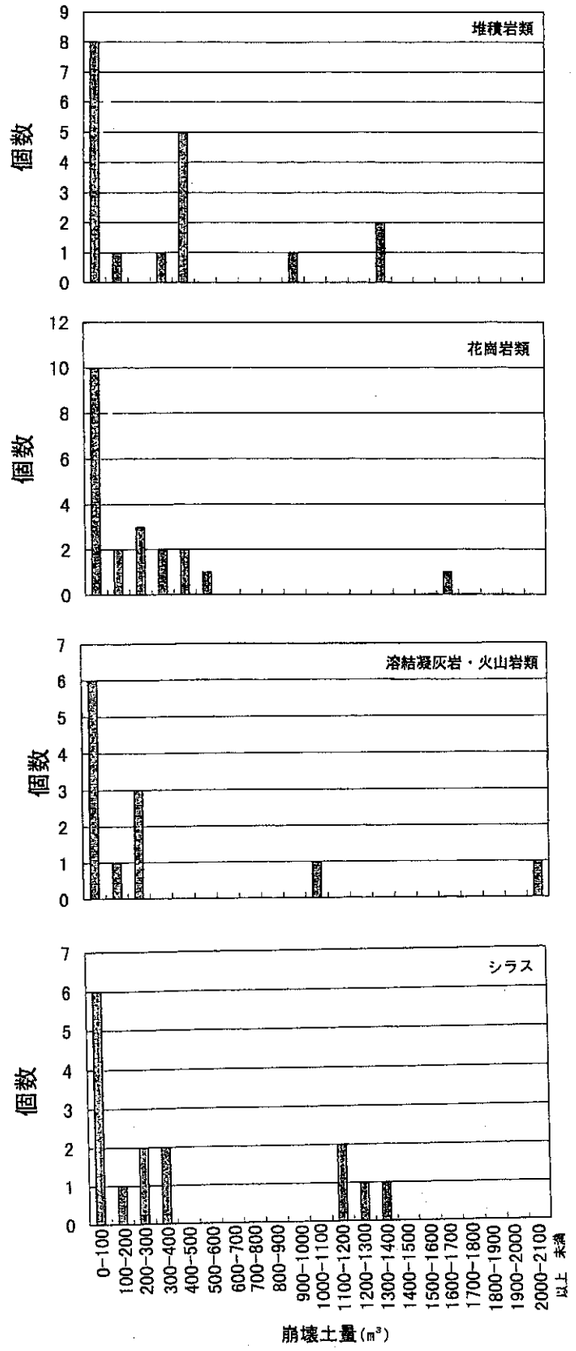


図 4　崩壊土量の度数分布

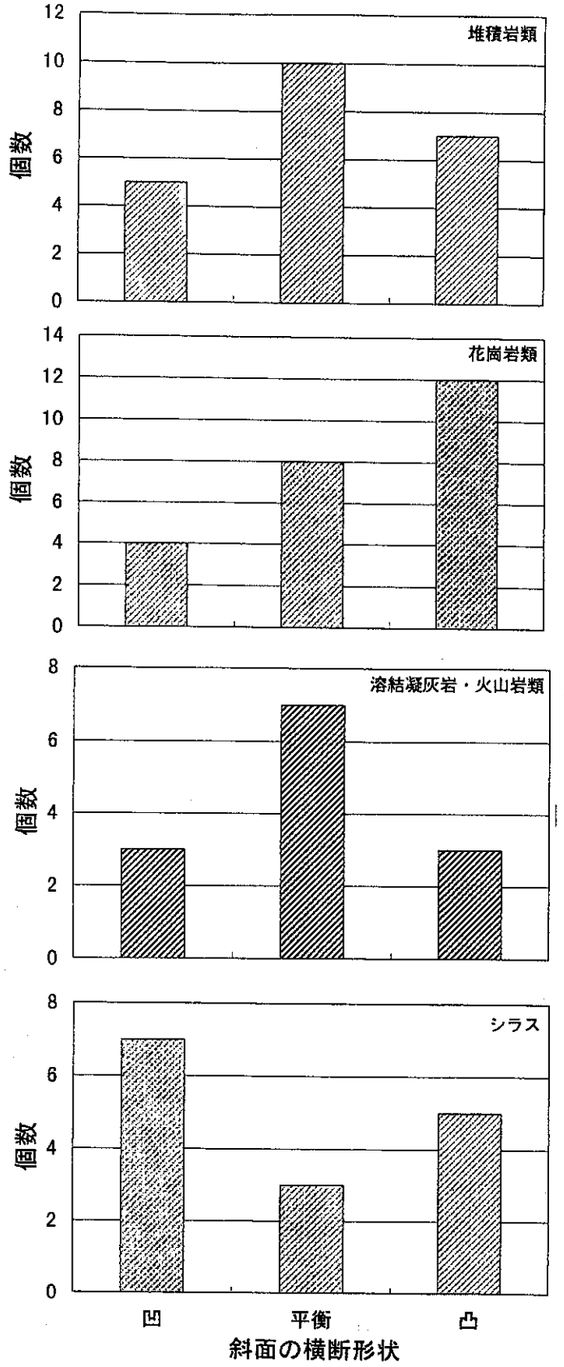


図 5　崩壊斜面の横断形状

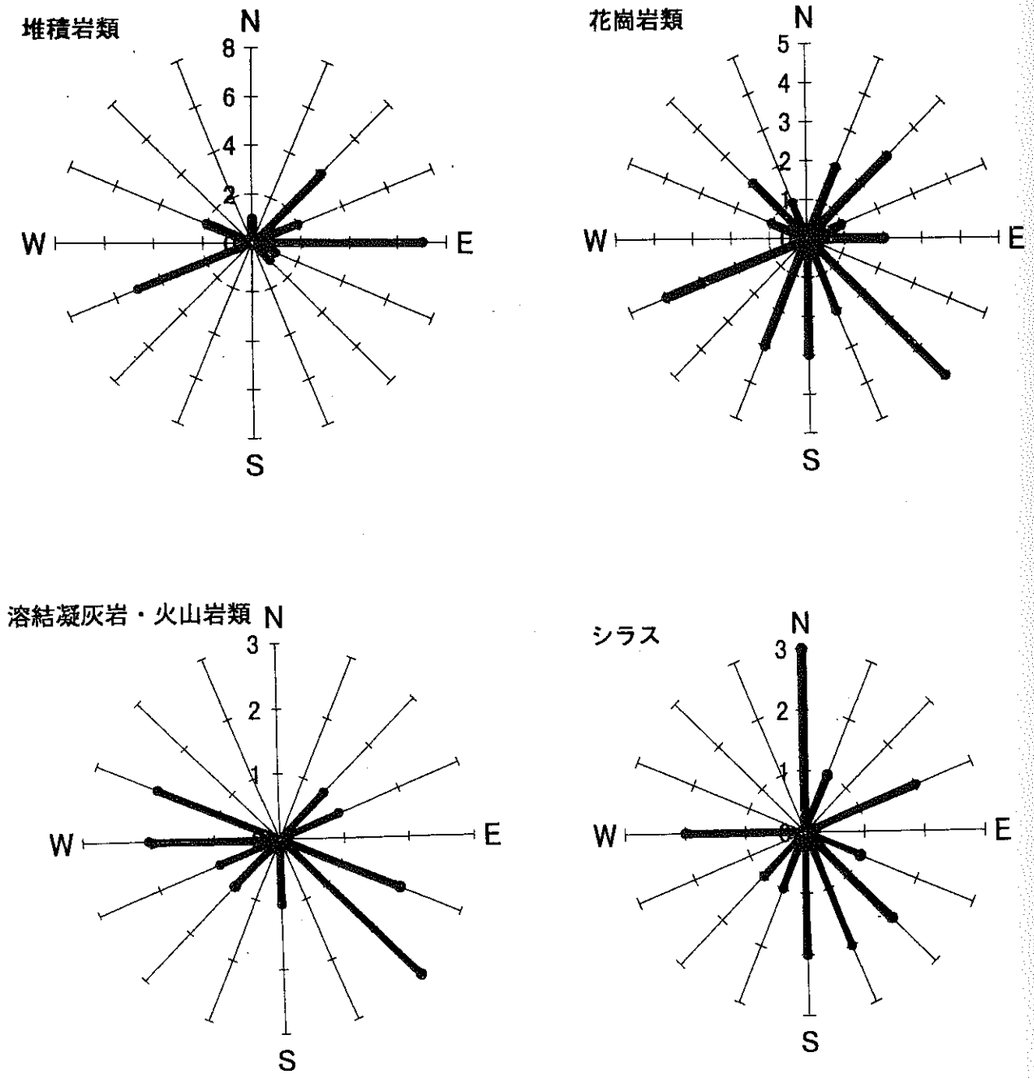


図６　崩壊斜面の方向

地震による斜面崩壊発生とその履歴

大学院連合農学研究科　松本 舞恵
農学部生物環境学科　下川 悦郎・地頭薗 隆

1　はじめに

1997年３月26日、鹿児島県北西部の紫尾山付近を震源とするマグニチュード（M）6.3の地震が発生し、その後も活発な余震活動が続いた。さらに、５月13日にも前回の震源地の近くでM6.2の新たな地震が発生した。この一連の地震により、山地では多数の斜面崩壊が発生した。ここでは、紫尾山地の花崗岩地域に発生した自然斜面の崩壊を取り上げ、空中写真の判読結果に基づいて、崩壊地の時間的・空間的分布について検討した。なお、一連の地震による斜面崩壊の広域的分布と特徴については別に報告されている（地頭薗ら，1997）。

2　調査地の概況

調査地は、鹿児島県北西部の紫尾山地内の小流域である（図１のＡ～Ｃ）。紫尾山地の地質は四万十層群（堆積岩類）とそれを貫く花崗岩により構成されている。調査流域の地質は花崗岩である。花崗岩の表層部には風化物であるマサが深く発達しており、その厚さは20～30m、厚いところでは40～50mに達している。この調査地一帯では、例年台風や梅雨期の豪雨により崩壊が頻繁に発生している。

花崗岩地域においては、今回の地震に伴って多数の崩壊が発生した（地頭薗ら，1997）。

3　解析方法

解析に使用した空中写真は、地震発生約１年前の1996年３月５日（国際航空写真株式会社撮影、縮尺約15,000分の１）と、３月の地震後の1997年４月25日（朝日航洋株式会社撮影、縮尺約8,000分の１）、５月の地震後の５月27日（国際航空写真株式会社撮影、縮尺約10,000分の１）および梅雨明け以降の８月24日（国際航空写真株式会社撮影、縮尺約7,500分の１）の４時期に撮影されたものである。これら４時期の空中写真を比較することにより崩壊地の時間的・空間的分布を把握することができる。これらの空中写真を実体視して崩壊地を判読し、分布図を作成した。今回の作業では、崩壊地は5,000分の１地形図にトレースしている。

4　斜面崩壊の履歴

図２にＡ流域における斜面崩壊の履歴図を示す。図中の崩壊地は、1996年３月５日撮影の空中写真

の判読により確認されたものと、1997年４月25日、５月27日および８月24日に撮影された空中写真の判読により新規発生あるいは拡大が認められたものである。拡大崩壊とは、図３のように旧崩壊地の上部または隣接部の不安定土砂が崩壊するものである。より過去に撮影された空中写真で確認され、なおかつ、新しい空中写真でその面積の拡大が認められる崩壊地は旧崩壊地が拡大したものと考えられる。より新しい写真にのみ認められる崩壊地は新規に発生したものである。Ａ流域において、４月25日撮影の空中写真で確認された崩壊地は新規・拡大合わせて28個である。これらの崩壊地は大部分が３月26日の地震とその後の余震および降雨により発生したものと考えられる。そのうち新規発生数は18個である。崩壊面積は最小のもので16㎡、最大のものは468㎡であり、平均は161㎡である。５月27日の写真により確認された崩壊地は40個である。これら崩壊地の大部分は５月13日の地震とその後の余震により発生したと考えられる。そのうち新規発生数は30個であり、新規崩壊が多い。崩壊面積は最小のもので35㎡、最大のものは852㎡であり、平均は276㎡である。さらに、８月24日撮影の空中写真判読により新期崩壊２個、拡大崩壊６個が確認されたが、これらはおもに梅雨前線に伴う降雨により発生したものと考えられる。崩壊面積は最小のもので70㎡、最大のものは1885㎡にも及ぶ。平均は450㎡である。一方、流域面積に占める全崩壊地の面積の割合（崩壊面積率）を求めると1996年３月５日時点では0.8％であったが、1997年４月25日には1.5％、さらに５月27日には3.4％に増加している。８月24日現在の崩壊面積率は3.9％である。

図４は、Ｂ流域における斜面崩壊の履歴を示したものである。４月25日の空中写真により確認された崩壊地15個のうち、新規発生数は４個である。拡大数は11個であり、拡大崩壊が多く発生している。崩壊面積は最小で30㎡、最大のものは847㎡であり、平均は216㎡である。５月27日撮影の空中写真では新規・拡大合わせて28個の崩壊地が確認された。このうち新規崩壊は19個、拡大崩壊は９個である。崩壊面積は最小のもので58㎡、最大で643㎡であり、平均は204㎡である。さらに、８月24日の空中写真では１個の拡大崩壊が確認された。その崩壊面積は230㎡である。一方、流域面積に占める崩壊面積率は、1996年３月５日時点で2.1％と高い値を示しており、1997年４月25日には5.0％、５月27日には10.2％に大きく増加している。８月24日現在の崩壊面積率は10.4％である。

Ｃ流域における斜面崩壊の履歴を図５に示す。４月25日撮影の空中写真判読により、拡大崩壊１個を含む計６個の崩壊地が確認された。その面積は最小で46㎡、最大で410㎡であり、平均は227㎡である。５月27日の空中写真では15個の崩壊地が確認された。その全てが新規に発生した崩壊地である。崩壊面積は最小のもので67㎡、最大のものでは1076㎡にも及ぶ。平均は348㎡である。８月24日の空中写真では８個の崩壊地が確認された。そのうち５個は新期崩壊である。崩壊面積は最小のもので117㎡、最大で863㎡、平均277㎡である。また崩壊面積率は、1996年３月５日時点では0.2％、1997年４月25日時点では0.6％であるが、５月27日には2.4％、さらに８月24日には3.1％までに増加している。

なお、図５に示すＣ流域内の一部においては、斜面崩壊の周期性と発生場予測に関する研究の対象地としてこれまで調査が進められてきた。図６は、対象地全域にわたる細かな調査に基づいて作成された斜面崩壊の履歴図（下川ら，1992）に、今回の地震に伴って発生した崩壊地を重ね合わせたものである。斜面崩壊の周期性によれば、この地域において崩壊に対する危険性のある斜面は過去の崩壊

発生から長期間経過した部分である。今回の地震による崩壊地は、図に示すように80年以上前に形成された古い崩壊跡地で発生しており、崩壊の周期性に基づく危険斜面と一致している。崩壊の周期性による危険斜面の予測は、地震により発生する崩壊にも対応するようであるが、詳細については今後解析を行う予定である。

5　おわりに

以上、紫尾山地の花崗岩区域に位置する小流域を取り上げ、地震による斜面崩壊の履歴について取りまとめた。今後の降雨によっては崩壊地の新規発生や拡大が予想されるが、それらの時間的・空間的分布の変化についても同様の解析を行う予定である。

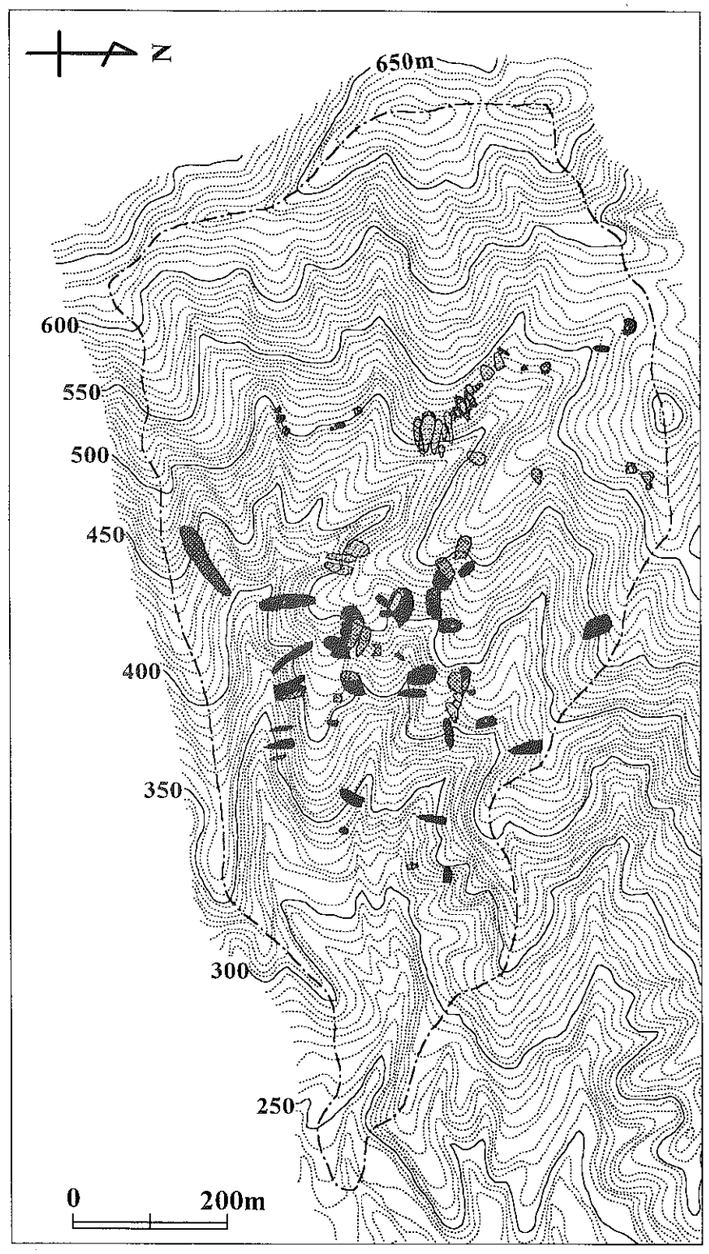
末筆ではあるが、本研究の実施にあたっては、鹿児島県土木部、同林務水産部、(財)鹿児島県建設技術センター、(社)鹿児島県治山林道協会に多大なご協力をいただいた。また、データ整理の際は鹿児島大学砂防学研究室学部生の小藤葉月、松田重和の諸氏にご協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

引用文献

地頭薗隆・下川悦郎・寺本行芳（1997）：1997年鹿児島県北西部地震による斜面崩壊，砂防学会誌，Vol.50，No.2，pp.82～86

下川悦郎・地頭薗隆（1992）：斜面における表層崩壊の周期とその森林植生動態への影響，山くずれの周期性を考慮した生産土砂量の予測，平成３年度文部省科学研究費補助金（一般研究Ｃ）研究成果報告書，pp.15～32

図1　調査地位置図



判読した空中写真の撮影日

1996. 3. 5　1997. 4. 25　1997. 5. 27　1997. 8. 24

図2　A流域における斜面崩壊の履歴

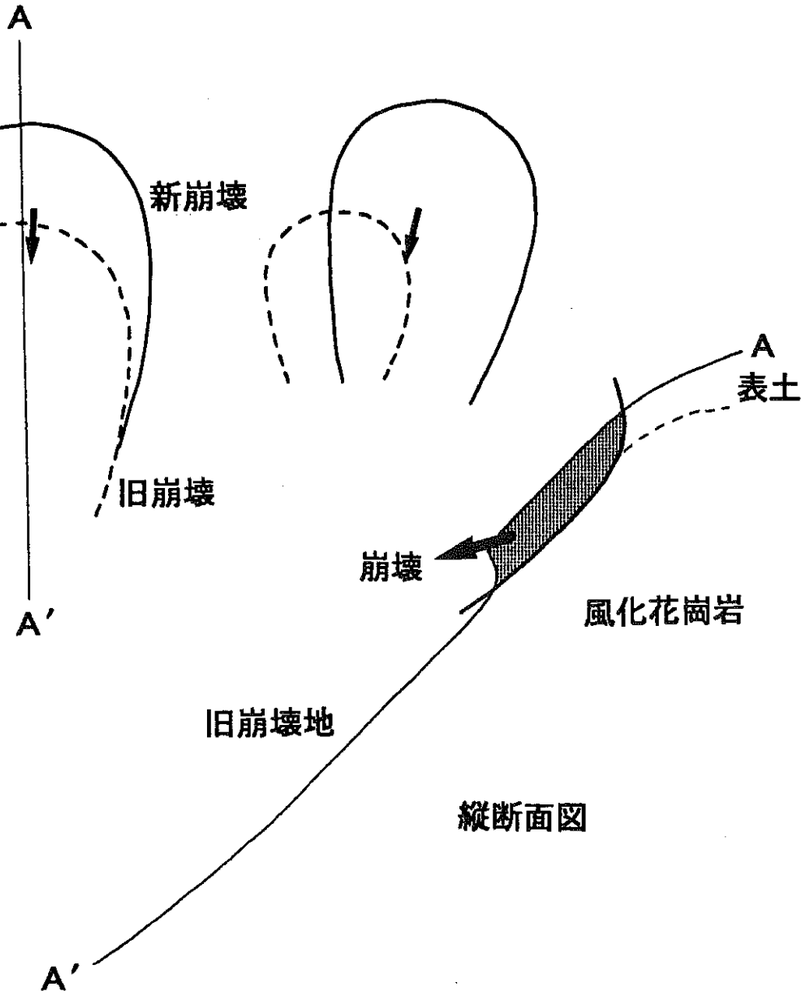
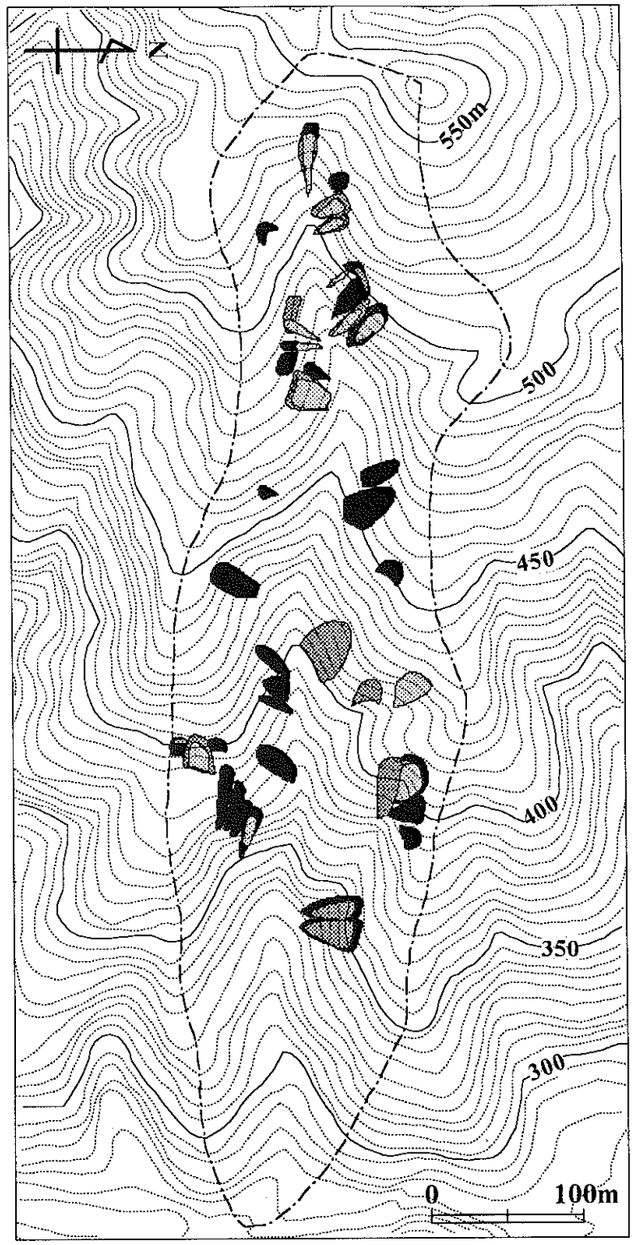


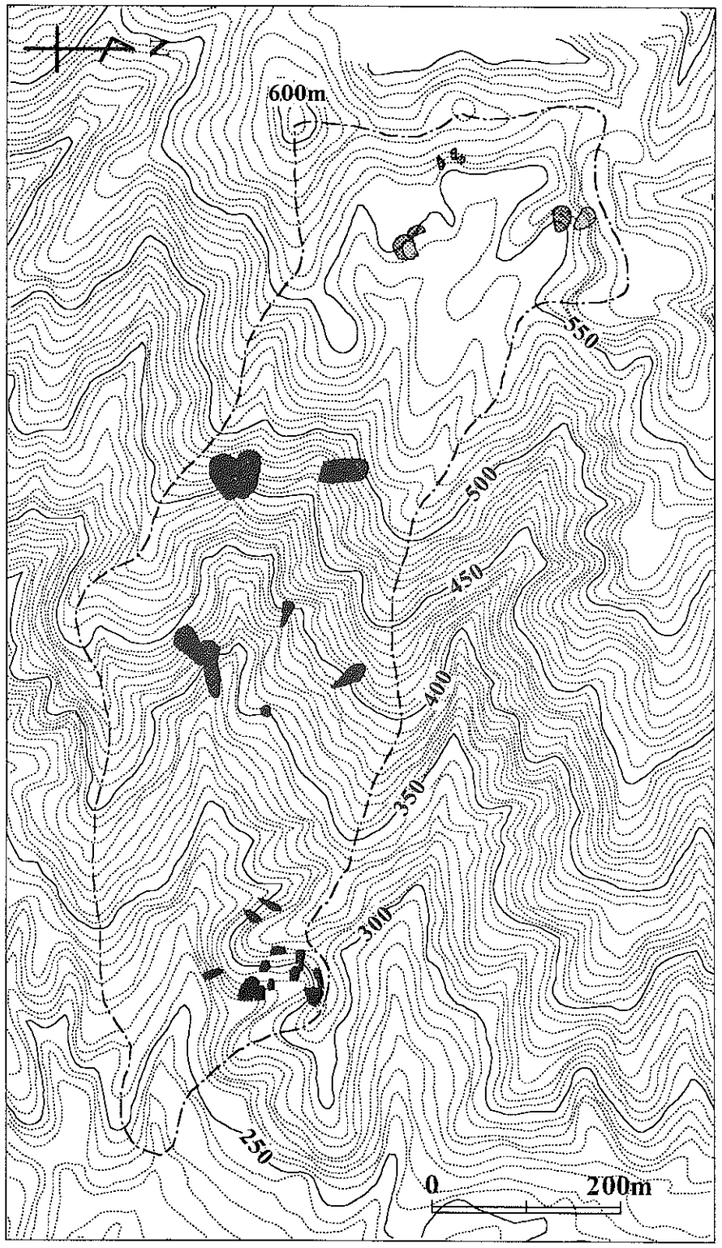
図３　拡大崩壊の模式図



判読した空中写真の撮影日

1996. 3. 5　1997. 4. 25　1997. 5. 27　1997. 8. 24

図４　Ｂ流域における斜面崩壊の履歴



判読した空中写真の撮影日

1996. 3. 5　1997. 4. 25　1997. 5. 27　1997. 8. 24

図5　C流域における斜面崩壊の履歴

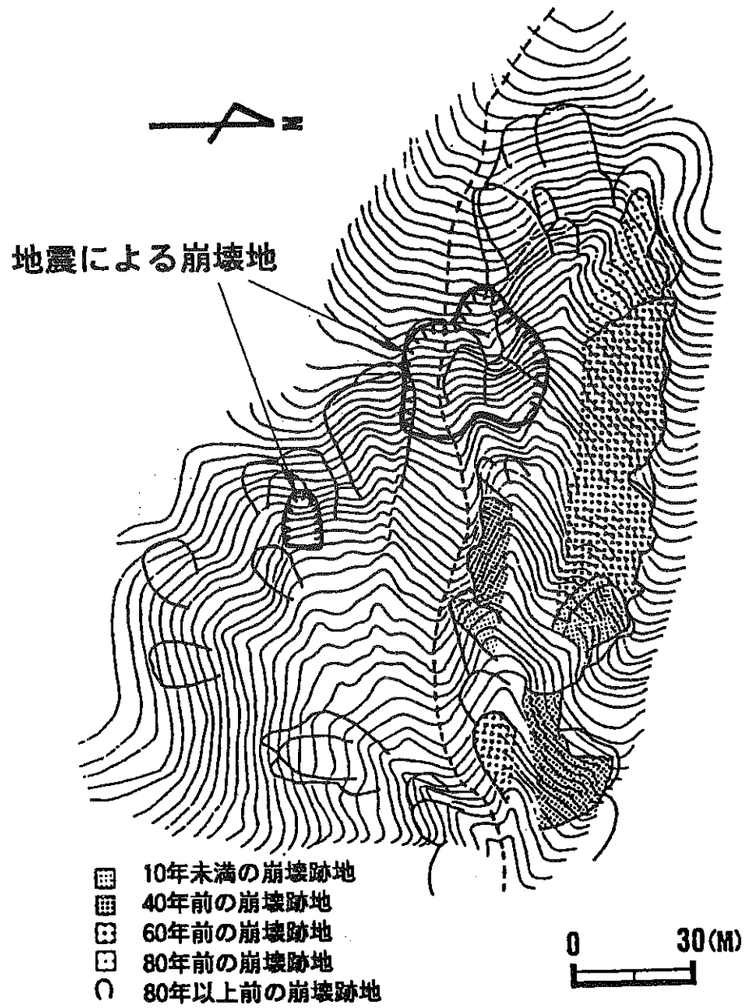


図6　対象地全域における斜面崩壊の履歴（下川ら，1992改変）

地盤工学関連の災害

鹿児島大学工学部海洋土木工学科
北村良介、井料達生、城本一義
鹿児島工業高等専門学校土木工学科　岡林巧
山口大学工学部建設工学科　兵動正幸、山本哲朗
鹿児島大学大学院工学研究科システム情報工学専攻
高田誠

1　まえがき

鹿児島県薩摩地方北部を震源とし、1997年3月26日にマグニチュード（M）6.5、5月13日にM6.3の地震が発生した。これらの本震に伴う余震が数多く発生した。ここでは、3月26日の地震を第一本震、5月13日のものを第二本震と称することにする。2つの本震とそれらの余震にともなう鹿児島県北西部（図-1.1参照）の震度が表-1.1、表-1.2に示されている（震度階については付録-1参照）。鹿児島県薩摩地方北部ではこれらの地震による地震動によって、各種の災害が発生した。それらの災害の中で、軟弱地盤での液状化災害と川内川河川堤防、国道・県道等の道路に生じた地盤災害を取り上げ、被害状況について概観することにする。

2　液状化調査

2.1　阿久根漁港

阿久根市は県北西部にあり（図-1.1参照）、第一本震、第二本震の震源より西方向へ約11-13kmにある。図-2.1は阿久根漁港付近の平面図である。阿久根漁港は、南側から本港地区、新港地区、外港地区となっている。第一本震によって本港地区、新港地区の岸壁、水揚げ場等の漁港施設、魚市場、水産加工団地等の漁協施設に沈下、亀裂、噴砂等の被害が発生した（写真-2.1、2.2、2.3参照）。本港地区は1952-58年、新港地区は1975-79年に浚渫土砂の埋め立てによって造成工事が行われた。外港地区は1985-87年および1989-91年に沖合いの浚渫土砂と表土用の山土によって埋め立てられた。図-2.2は外港地区造成時に行ったボーリング調査によって得られた土質柱状図を示している。これらの図より旧海岸線付近の地盤はN値＝30以上の粘土混り砂礫が地表面から分布するのに対して、浚渫を行った付近の地盤はN値＝10以下のルーズな砂・シルトが10m以上の層厚で分布していることがわかる。図-2.3は噴砂した砂の粒径加積曲線を示している。図より噴砂した砂は均等係数が1.8であり、地盤は液状化しやすい粒径分布であることがわかる。噴砂現象は水産加工団地やその後背地の公園等で見られたが、漁港施設および漁協施設の被害の原因を究明するためには地盤調査結果等の検討が必要である。

2.2　川内市御稜下

ＪＲ上川内駅前の民家の床下では、第一、第二本震を含めて震度4以上の地震を複数回経験し、液状化現象（噴砂噴水現象）が発生した（写真-2.4参照）。図-2.4はＪＲ上川内駅付近での娯楽施設建設の際に行ったボーリング調査より得られた土質柱状図の一例を示している。図より深度22m付近まではＮ値が0-2程度であり、4-22m程度まではシルト、砂、砂質シルトから成り立っており、また、地下水位は地表面近くにあることがわかる。このような事実から、この付近の地盤は液状化を生じやすい地盤であると推測される。

2.3　高尾野町出水干拓地

高尾野町出水干拓地内で第一、第二本震の際に液状化現象が発生している（写真-2.5参照）。但し、液状化の発生は広大な干拓地の中の2つの池付近の水田、潮遊池に限られている（図-2.5参照）。図-2.6は平成2年度に堤防付近で行われたボーリング調査によって得られた土質柱状図である。図より干拓地内のＮ値は深度10m程度までは3-15程度であり、地下水位は地表面下2m程度にある。一般に、軟弱地盤では地震動が増幅されることがあり[1)]、今回の事例でも常時の間隙水圧が高い池の畔付近で地震動が増幅され、液状化が生じたものと推測される。

2.4　入来町愛宕山

内陸部に位置する入来町愛宕山（図-1.1参照）の住宅地の道路で第一本震の際に噴砂が発生している（写真-2.6参照）。図-2.7に示すように付近は山間部の谷部を埋め立て宅地が造成された。図-2.8は付近のボーリング調査で得られた土質柱状図を示している。図より噴砂を生じた地点では深度4m付近まではＮ値が10以下の崖錐堆積物から成り立っており、地下水位も地表面下2m付近にある。これらのことから、旧地形の谷部に地下水が集まり、緩い堆積物が液状化したものと推測される。阪神・淡路大震災でも臨海部のみではなく、内陸部の古池を埋め立てた場所や池の近くで液状化が発生しており[2)]、愛宕山の場合もこれらの事例と同じ現象と考えられる。

2.5　その他

臨海部における液状化に関連した調査は川内港、串木野港で行ったが、川内川河口の埋立地である京泊での舗装ブロックの浮き上がり・沈下（写真-2.7参照）、串木野漁港でのコンクリート床版の亀裂、目地での10ｃｍ以下の段差程度の被害であった。

これまでの調査では主として噴砂現象が確認された地点の調査を行った。噴砂は地盤の液状化に伴って生ずる現象の一つであり、液状化に伴って側方流動、沈下等の現象も生じているはずである。

3　川内川河川堤防調査

天大橋付近左岸堤防に第二本震によって縦断の亀裂が発生した（写真-3.1参照）。また、天大橋の左岸支承部破損状況からは引張力を受けたように推測される（写真-3.2参照）。この場所は堤防が右岸側に湾曲している部分であることがわかる。

堤防の横断・縦断亀裂、変状等は第一本震では宮之城町から菱刈町（河口から40-80ｋｍ）付近で多く発生しており、第二本震では川内市（河口から10ｋｍ程度）で多く発生している。

河口付近左岸の久見崎地区では4月11日の震度1の余震によって護岸が崩壊した。崩壊現場付近では護岸上部のパラペット継ぎ目に5-10ｃｍ程度のズレがあること、また、堤内張りコンクリートに亀裂があること、空洞調査により、張りコンクリートの下には空洞があることが確認されていることなどから、地震が発生する前から吸い出しによって堤内地に空洞ができており、地震動によって護岸が崩壊したものと推測される。

4.道路調査

道路の被害は第一、第二本震によって国道3号、267号、328号、447号、504号、主要地方道46号、48号、県道397号、404号、462号、が通っている出水市、川内市、阿久根市、鶴田町、宮之城町、祁答院町、入来町、高尾野町で多く発生している（図-1.1参照）。被害の種類は、斜面での表層すべり型の崩壊、岩石崩壊、落石、盛土部での沈下・盛り上がり（路肩の崩壊）、アスファルト舗装道路での亀裂、コンクリート吹付法面の破壊等である。これらの被害は第一本震によって発生し、第二本震、余震によって被害が拡大したもの、第二本震によって新たに発生したもの等がある。斜面崩壊（岩石崩壊、落石を含む）については現地調査、空中写真判読の結果から、東西方向の斜面の崩壊が多く発生しているようである[3)]。第一、第二本震の間にはかなりの降雨があり、道路の被害は二つの本震とそれらの余震だけではなく、降雨の影響も受けて発生したと推測される。

5.墓石の被害

5.1　第一本震での墓石の転倒・移動状況

地震動の大きさとその卓越した方向を明らかにするために、地震動によって生じた墓石の転倒および移動状況を調べた。墓石の移動量と向きは図-5.1に示すように、仏石の４隅でのx・y方向の変位および墓標面の向きを測定することで求めた。その詳細は文献4)あるいは5)を参照されたい。すべての地点における墓石の転倒・移動状況の結果は調査日の順に表-5.1に示す。表中、転倒した墓石についてのみ示したB/Hは昔から水平地震動の震度khを表す指標として用いられてきた。転倒した墓石のB/Hは測定地点ごとにやや異なるが、宮之城ではその値は0.22から0.38の範囲にあることが分かる。なお、墓石の転倒は宮之城町泊野、之井出原、楠八重および井出原に代表されるような丘陵地を開削してその前方が斜面になっている墓地で顕著に見られたのに対して、田畑や河川沿いの周辺の平地部での墓地、た

とえば川内市向田墓地あるいは仏石を上石に接着している新しい型の墓石の多い薩摩町金山等の共同墓地では墓石の転倒はもちろんのこと、移動もほとんど生じていない場合が数多く見られた。

図-5.2は各地点での卓越した地動の向きをベクトル表示した結果である。その向きは表-5.1中の墓石の移動した向きと正反対の方向を示す。なお、図中、○印は墓石の顕著な移動、□印は僅かな移動、△印は転倒、◇印は移動の生じなかったことを示す。図-5.2から地動の向きは大ざっぱに見て２つの方向に卓越しているのが分かる。一つは東郷、鶴田および宮之城北部での北東～南西方向であり、もう一つは宮之城南部での南東～東南東方向である。地動の卓越方向の違いは地震の発生機構あるいは地盤種の違いを反映した結果と考えられるが、この詳細は資料不足もあって現段階では不明である。

5.2　第二本震での墓石の転倒・移動状況

6月7日から9日までの3日間、地震によって生じた墓石の転倒および移動状況を調べた。調査範囲は前回の地震の場合とほぼ同様にした。すべての墓石の移動量等の測定結果は表-5.2に示す。これから転倒した墓石の場合、B/H=0.22～0.39となっており、少なくともその数値以上の震度をもつ地震動がそれぞれの地点で発生したものと推定することができる。墓石の転倒を初めとして墓地の被害の顕著であった地点とそうでない地点との差異は先の地震の場合ときわめて似通っていた。この差が顕著に見られた例として同じ川内市にあり、1.5km程度しか離れていない２箇所の墓地が挙げられる。すなわち、川内川沿いの沖積低地での向田の墓石は移動していないのに対して、山麓にある平佐の墓石は壊滅的な転倒や破損を生じた。

図-5.3は表-5.3中の各地点の地動の向きを示した結果である。これから宮之城から東郷にかけて東西方向の地動、それらの周囲で南南東～南西の地動が卓越しているように見受けられる。

6.あとがき

本報告では、軟弱地盤での液状化災害、川内川河川堤防、国道・県道等の道路に生じた地盤災害、墓石の転倒・移動状況を取り上げ、被害状況について概観した。

著者らの調査時間の絶対的な少なさのため、十分な報告にすることができなかった。

本報告を作成する過程で、鹿児島県土木部道路維持課、砂防課、林務水産部漁港課、建設省川内川工事事務所、九州農政局出水海岸保全事業所、鹿児島県川内土木事務所、入来町建設課、（株）西日本地下技術等から貴重な資料の提供をいただいた。また、飛島建設（株）、応用地質（株）、基礎地盤コンサルタンツ（株）、中央開発（株）等の報告書を参考にさせていただいた。関係各位に深く謝意を表します。

参考文献

1.地盤工学会阪神大震災調査委員会編：阪神・淡路大震災調査報告書、資料編、Vol.1、pp.160-161、1996.

2.地盤工学会阪神大震災調査委員会編：阪神・淡路大震災調査報告書、資料編、Vol.1、pp.214-215、1996.

3.地頭薗隆、下川悦郎、寺本行芳：1997年鹿児島県北西部地震による斜面崩壊、新砂防、Vol.50、No.2、pp.82-86、1997.

4.大原資生、山本哲朗：1987年山口県中部地震、山口大学工学部研究報告、Vol.39, No.1, pp.149-158, 1988.

5.山本哲朗、鈴川俊道、大原資生：1991年周防灘地震（M-5.9）について、地盤と建設、Vol.9, No.1, pp.155-161, 1991.

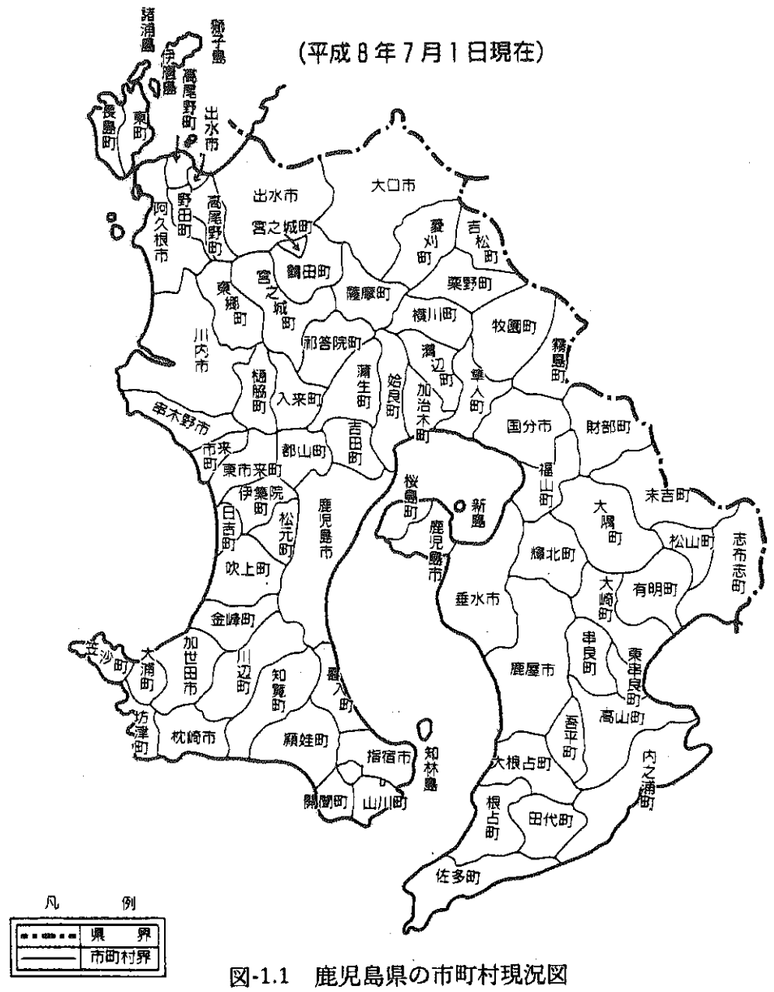


図-1.1　鹿児島県の市町村現況図

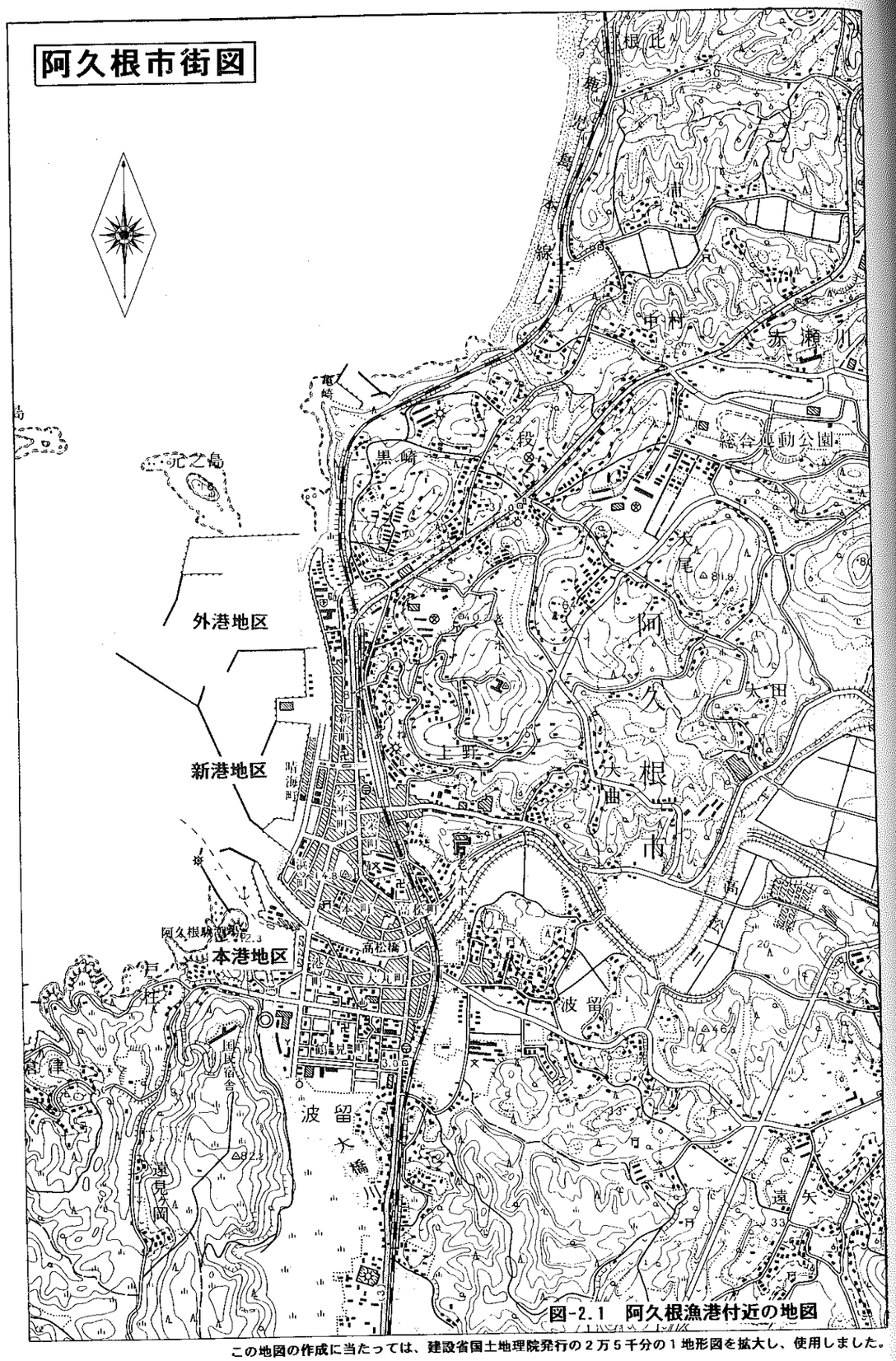


図-2.1　阿久根漁港付近の地図

この地図の作成に当たっては、建設省国土地理院発行の２万５千分の１地形図を拡大し、使用しました。

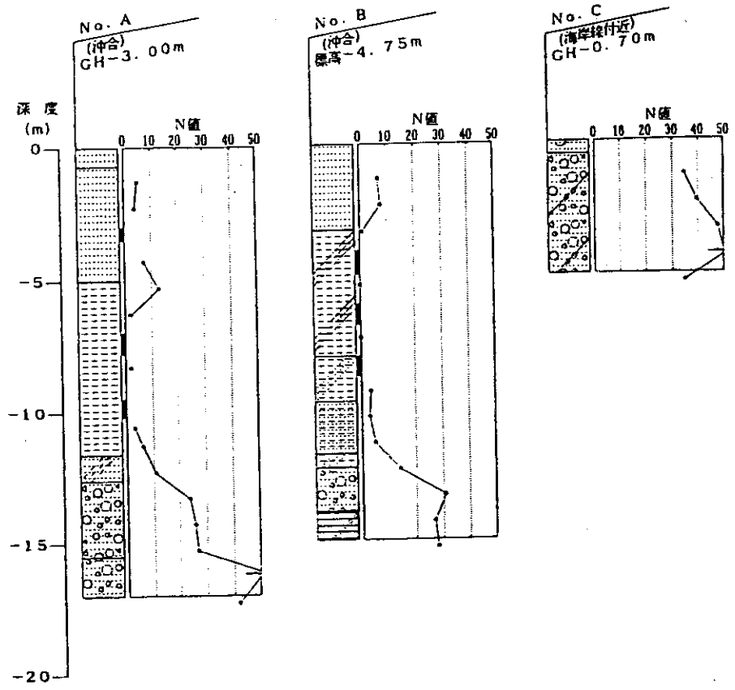


図-2.2　阿久根漁港付近のボーリング調査結果

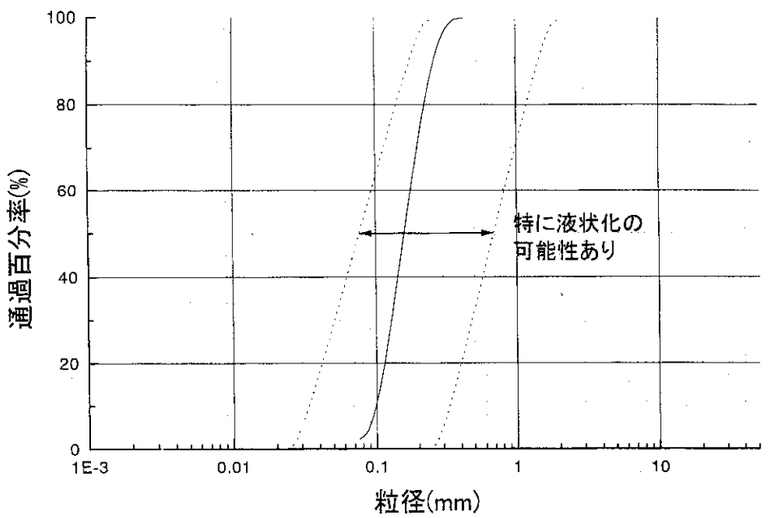


図-2.3　噴砂試料の粒径加積曲線

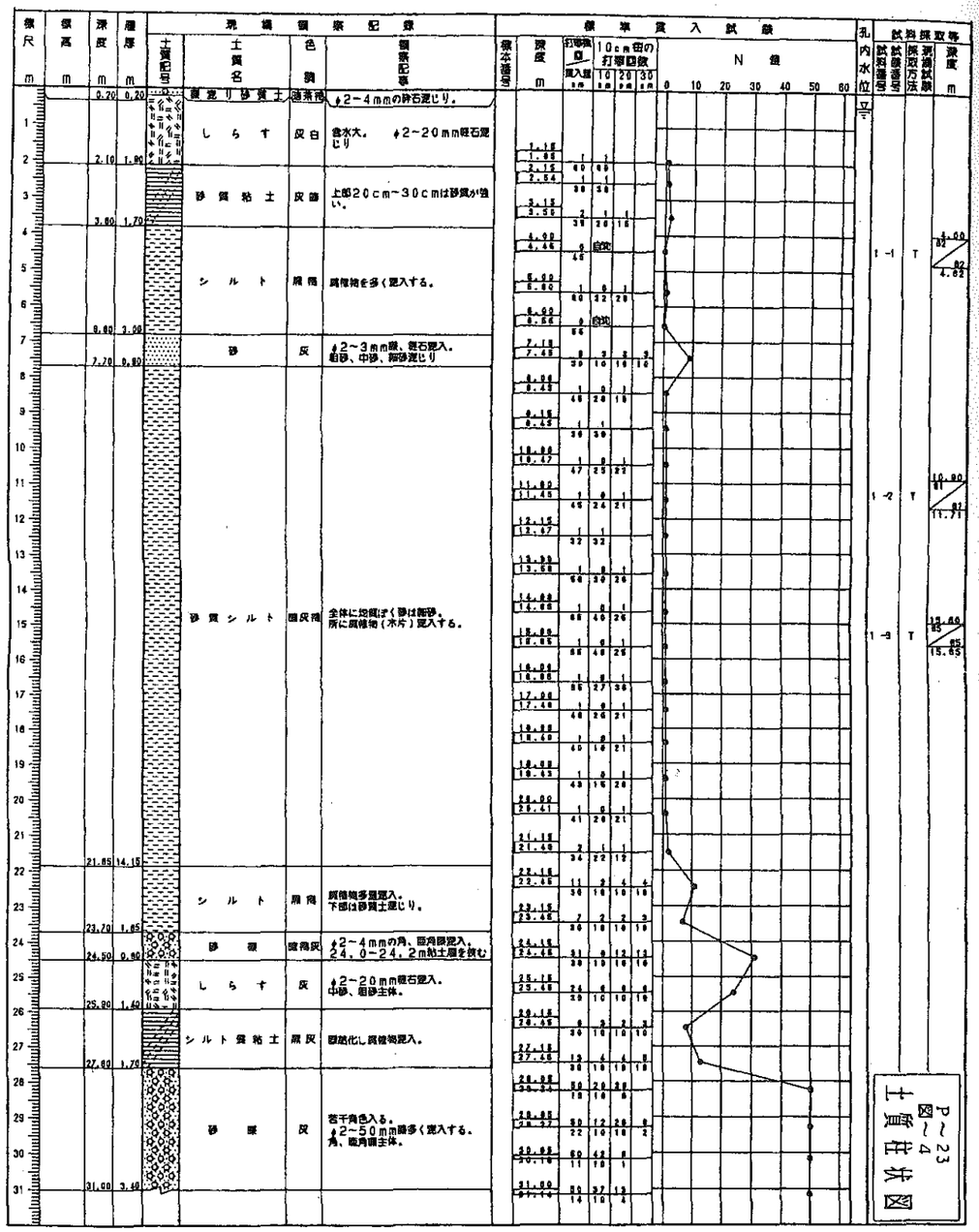


図-2.4　液状化地点付近のボーリング調査結果（川内市）

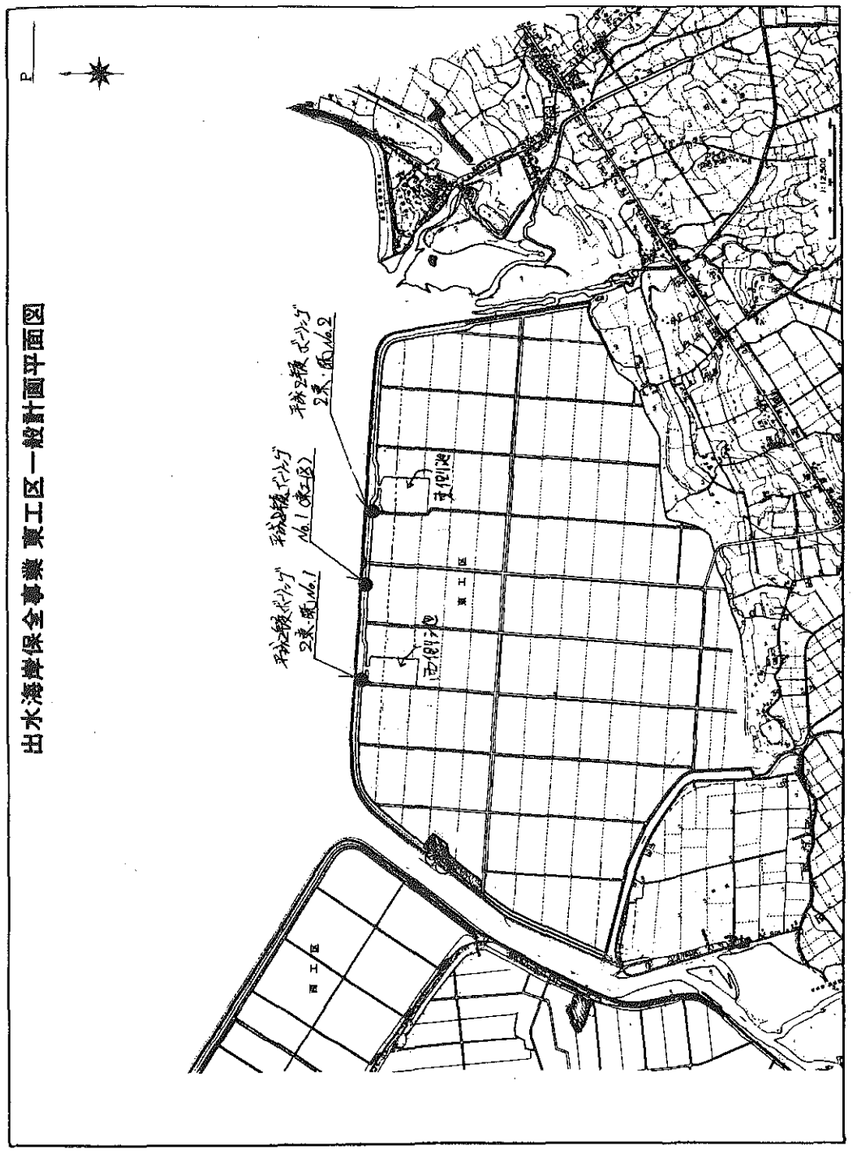


図-2.5　高尾野町出水干拓地付近の地図

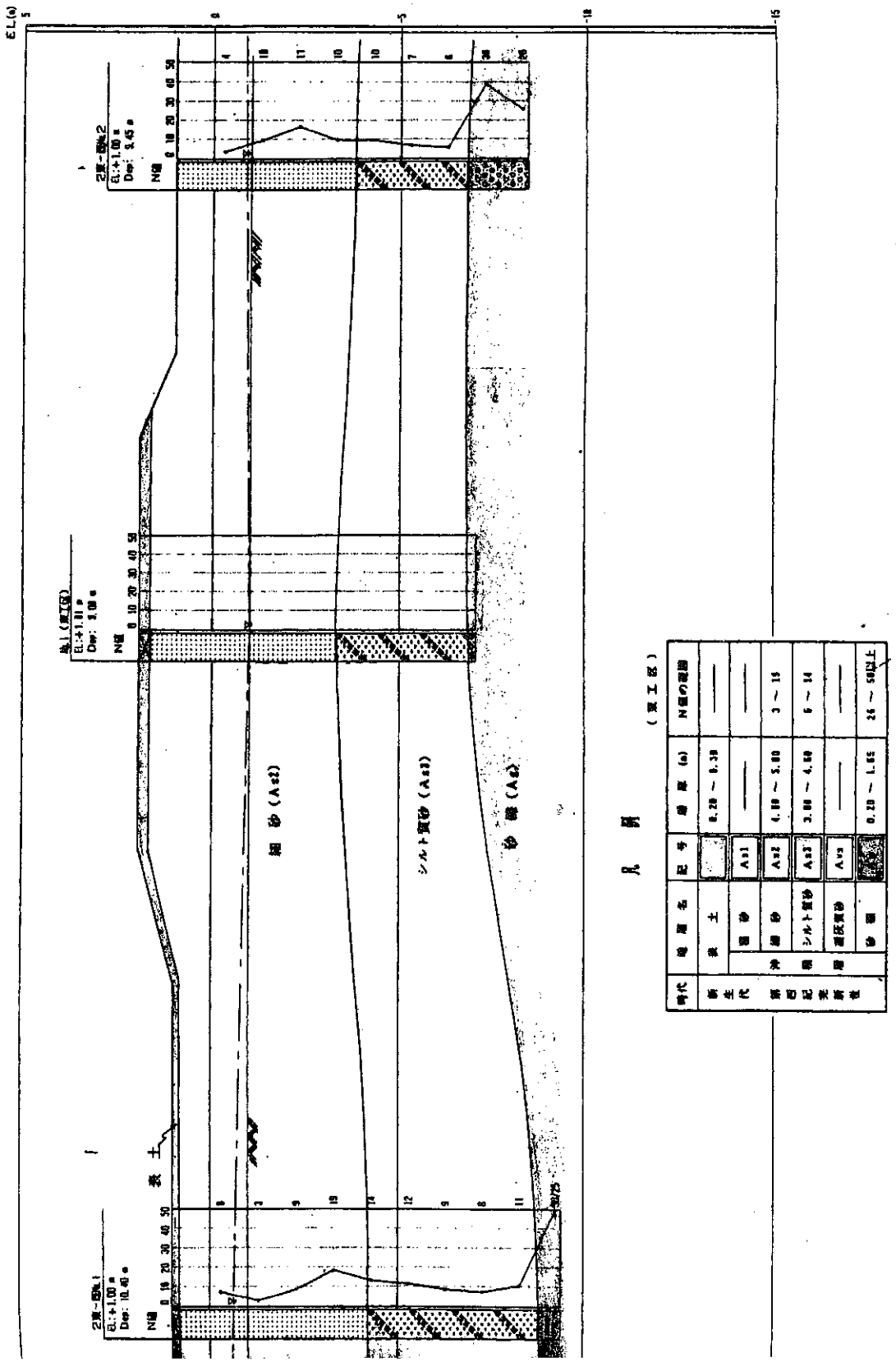


図-2.6　液状化地点付近のボーリング調査結果（高尾野町）
縮尺　V=1：100、H=1：2000

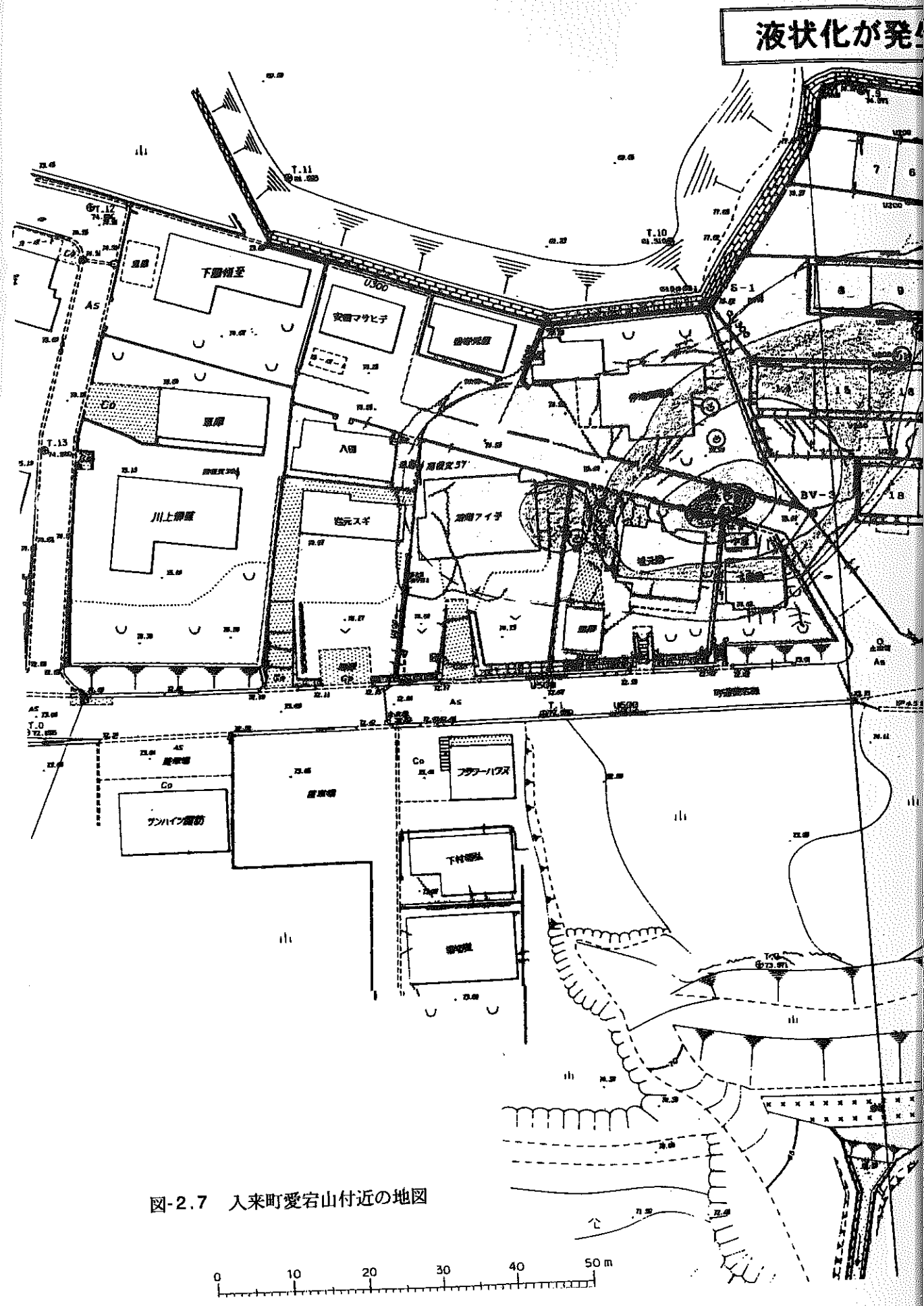


図-2.7　入来町愛宕山付近の地図

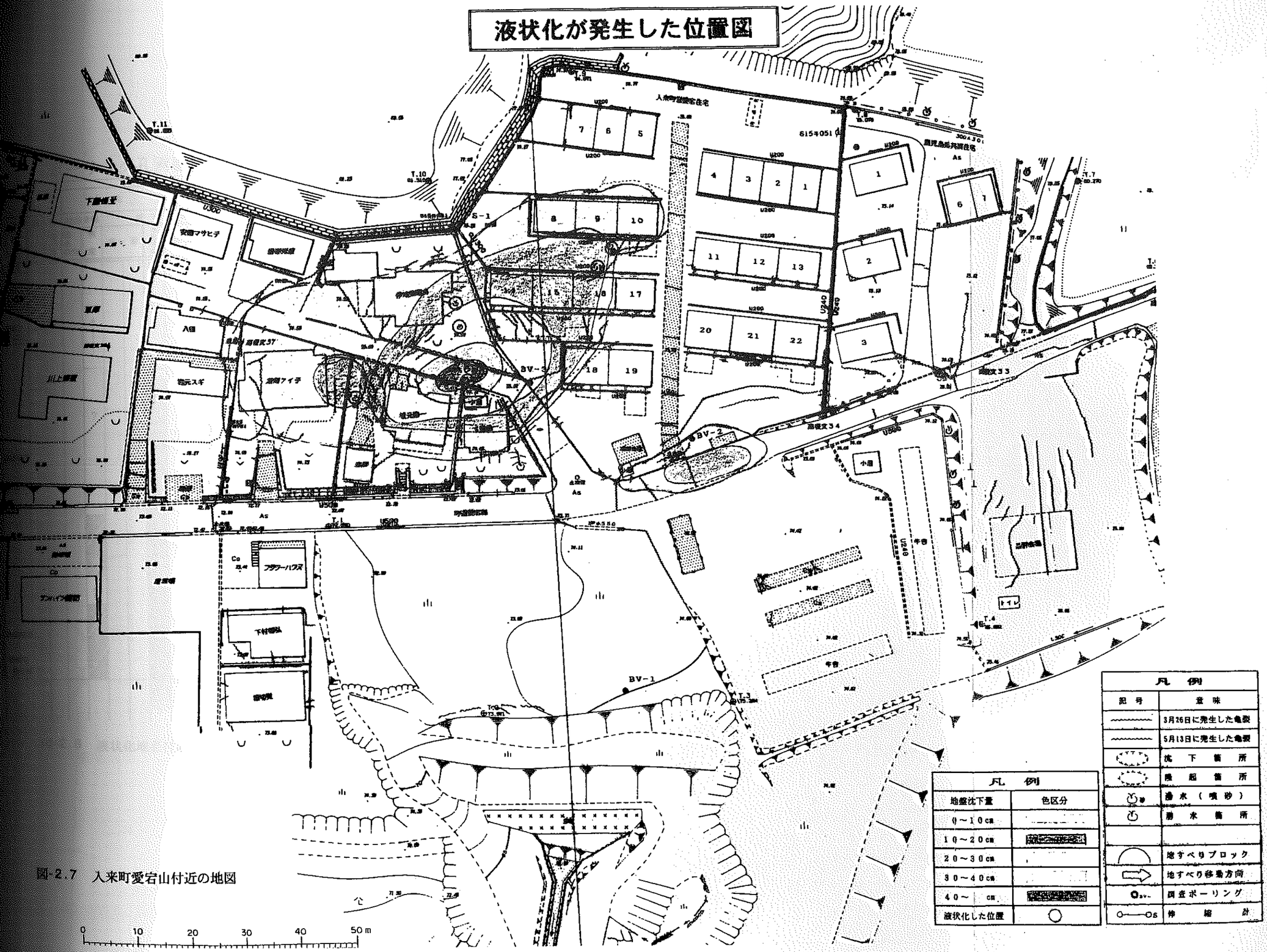


図-2.7 入来町愛宕山付近の地図

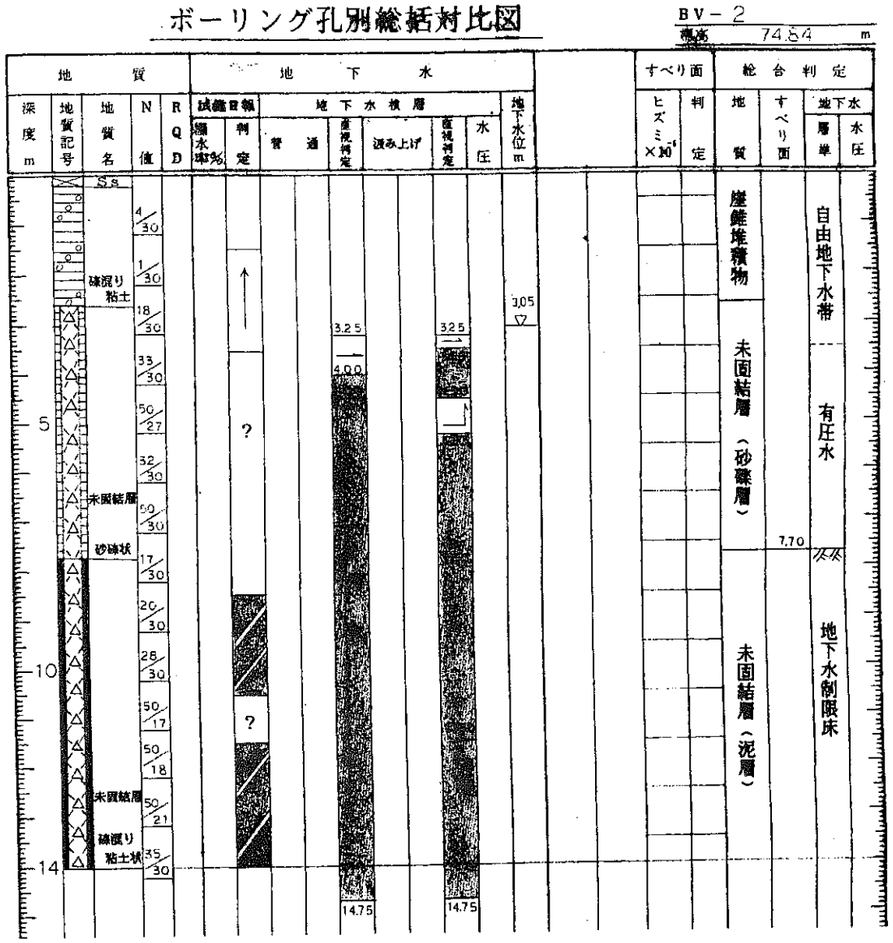
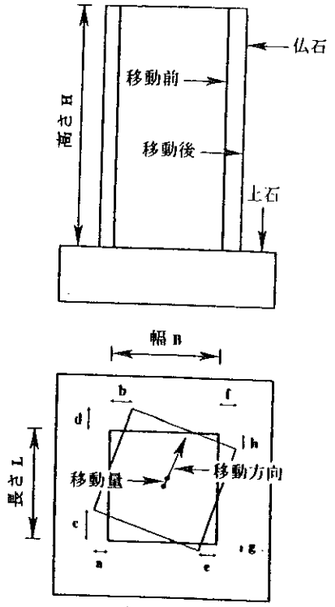


図-2.8　液状化地点付近のボーリング調査結果（入来町）



上図のa～hは正の値を示す。

図-5.1　仏石の移動量および方向の測定法

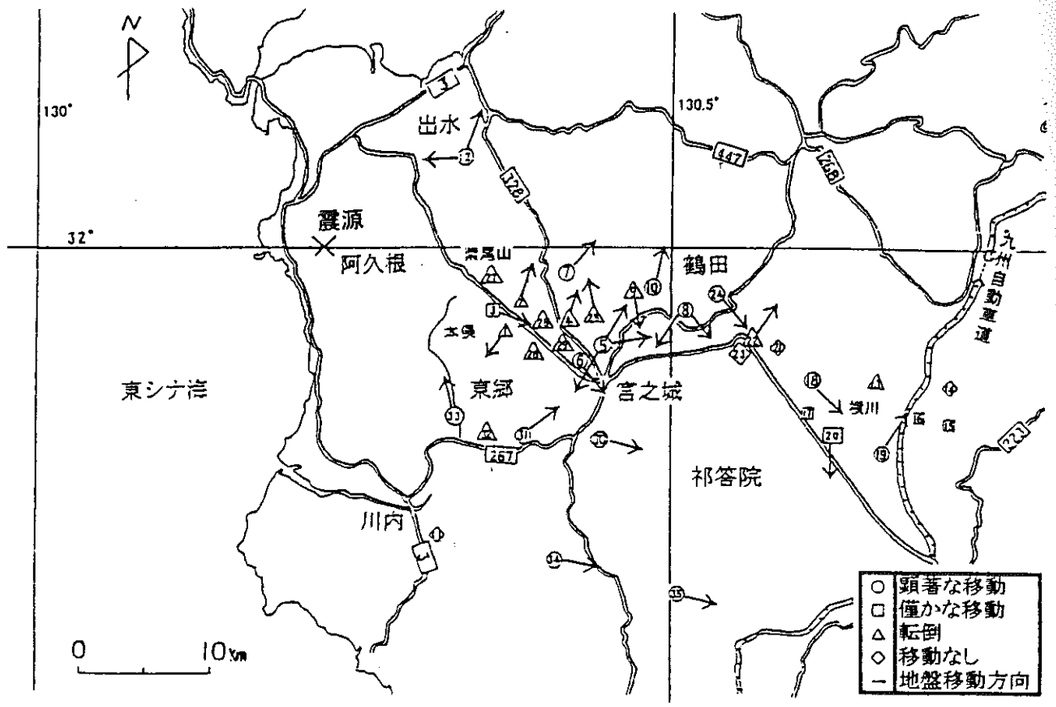


図-5.2　墓石の移動方向から推定した地震動の卓越した方向（第一本震）

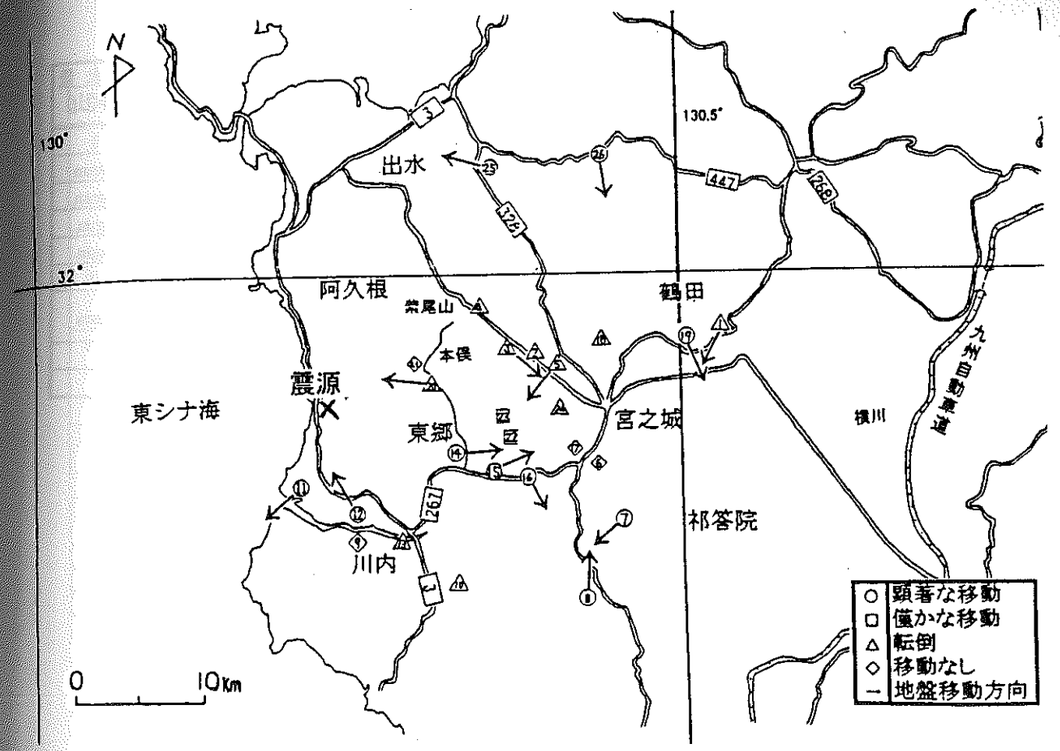


図-5.3　墓石の移動方向から推定した地震動の卓越した方向（第二本震）

表-1.1　第一本震での震度3以上の地震の発生状況

発生日時	マグニチュード	震度 川内	震度 阿久根	震度 宮之城	降水量(紫尾山)	発生日時	マグニチュード	震度 川内	震度 阿久根	震度 宮之城	降水量(紫尾山)
本震 3/26 17:31	6.3	5強	5強	5強		余震 3/26 17:31	3.7	2	1	3	0
余震 17:39	5.3	4	4			4/3 4:33	5.5	5強	5弱	5弱	97mm
18:05	4.7	4	4	3		4/4 2:33	4.7	—	3	4	54mm
18:30	4.1	4	3	4	15mm	4/5 13:24	4.9	5弱	3	5弱	8mm
19:45	3.7	3	2	3		4/6 4:42	3.8	2	3	1	4mm
22:24	4.5	4	3	3		4/8 17:21	3.9	3	1	2	0
3/27 5:19	4.1	3	2	3	0	4/9 23:20	4.9	4	3	4	2mm
21:26	3.8	2	3	2		23:23	4.7	3	2	3	
3/28 2:51	4.2	2	2	3	3mm	4/20 12:34	3.6	3	1	3	
3/29 22:13	3.9	2	3	2	52mm	4/21 00:16	3.7	2	3	1	

（福岡管区気象台提供）

表-1.2　第二本震での震度3.5以上の地震の発生状況

発生日時	マグニチュード	震度 川内	震度 阿久根	震度 宮之城	降水量（紫尾山）	発生日時	マグニチュード	震度 川内	震度 阿久根	震度 宮之城	降水量(紫尾山)
本震 5/13 14:38	6.2	6弱	5弱	5強	10mm	5/13 15:33	3.6	2	2	2	
余震 14:50	3.6	2	1	1		5/14 7:43	3.5	2	1	1	
14:51	3.7	1		2		8:32	4.7	4	2	4	55mm
14:57	3.8	2	2	1	10mm	17:15	3.8	3	2	2	
15:07	3.5	2		1		5/18 6:24	5.6	2	1	2	
15:13	3.6	2	1	1		21:11	4.1	1	—	—	0

（福岡管区気象台提供）

表-5.1　各地点の墓石の移動量および方向（第一本震）

No	地点名	市町名	墓石の寸法 (cm) (B) (D) (H)	B/H	墓石隅角部の移動量 (cm) a b c d e f g h	墓石移動方向	墓石移動量 (cm)	調査日
1	高峯	宮之城	— — —	—	転倒	N30.0° E	—	4月12日
2	泊野		— — —	—	転倒	S15.0° W	—	
3	市野		25.0 25.0 70.0	—	微かな移動	N15.0° W	—	
4	井出原		31.0 31.0 82.0	0.38	転倒	S15.0° W	—	
			17.0 17.0 50.0	0.34	転倒	S15.0° W	—	
			17.0 17.0 48.0	0.35	転倒	S15.0° W	—	
5	虎井		31.0 31.0 76.5	—	0.6 0.7 1.3 1.4 0.8 0.6 1.0 0.7	N73.6° E	1.4	4月13日
			25.0 25.0 70.0	—	-2.0 -3.0 -16.5 -16.5 -1.9 -3.0 -15.3 -15.0	N32.9° E	16.0	
			24.0 21.8 69.3	—	2.5 -2.0 -1.8 -1.9 3.0 -1.5 2.0 3.5	S72.0° W	0.8	
			43.5 43.2 32.5	—	-1.0 -1.0 -7.8 -7.8 -0.6 -0.2 -9.1 -9.1	S29.4° W	8.3	
6	宗功寺		32.0 31.5 80.0	—	-21 3.2 9.2 22.0 -8.5 15.5 -14.0 -2.5	S64.9° W	4.5	
			24.0 23.5 103.5	—	-2.5 6.0 7.0 9.0 1.5 9.5 -2.0 -0.5	N34.9° W	5.3	
7	大薄		51.0 51.0 18.0	—	-3.0 -3.0 -2.0 -2.0 -3.0 -3.0 -2.0 -2.0	S51.0° E	3.8	
8	湯田原		63.0 50.0 190.0	—	-26.0 3.5 18.0 27.5 -14.0 16.0 -19.0 -9.5	N23.1° E	6.8	
			60.5 53.0 192.0	—	-20.0 3.0 7.0 13.5 -13.0 8.0 -20.0 -15.0	N53.0° W	5.2	
9	湯田宮下	鶴田	— — —	—	転倒	N8.00° W	—	
10	流水		26.0 25.6 70.5	—	-1.0 -1.0 -0.5 -0.5 -1.0 -1.0 -0.5 -0.5	S4.00° W	1.0	
11	向田	川内	28.0 27.0 73.0	—	移動なし	—	—	
12	武本	出水	22.0 20.6 64.0	—	-8.4 4.8 3.0 8.2 -3.8 9.2 -12.0 -6.2	N88.7° E	1.8	
			25.0 23.8 66.3	—	-0.4 -2.0 -1.6 -2.4 -0.1 -2.0 0.6 0.2	S23.6° W	1.6	
13	丸岡	横川	19.0 18.0 72.0	0.26	転倒	—	—	
14	上福村		18.5 18.5 67.0	—	移動なし	—	—	
15	下ノ		25.0 25.0 67.0	—	微かな移動	—	—	
16	馬渡		19.5 19.5 64.0	—	微かな移動	—	—	
17	横伏敷		25.4 25.4 66.0	—	微かな移動	—	—	
18	正牟田		26.0 26.0 66.0	—	移動なし	—	—	
			8.0 13.8 55.0	—	移動なし	N26.0° W	—	
19	竹子	湧辺	19.0 19.0 53.0	—	-1.2 0.7 0 0.8 -1.2 -0.6 -1.7 -1.1	S36.0° W	0.9	5月11日
			15.0 21.0 60.0	—	移動なし	—	—	
20	石井口		17.5 17.5 76.0	—	-0.3 0.3 -0.5 -0.6 -0.6 0 -0.9 -0.6	N2.00° W	0.9	
			25.8 25.8 66.0	—	微かな移動	—	—	
21	金山	薩摩	26.0 26.0 74.0	—	移動なし	—	—	
22	永野新地		18.0 18.0 73.0	0.25	転倒	S32.0° W		
23	新地		17.2 17.2 67.0	—	移動なし	—	—	
24	求名		18.5 18.5 56.0	0.33	転倒	N66.0° W	—	
			23.5 23.5 56.0	—	-2.4 -1.2 -0.4 -0.4 -2.4 -0.9 -1.6 -1.5	N57.0° W	2.0	
25	柏原	宮之城	12.5 12.5 56.0	0.22	転倒	N80.0° E	—	
26	三腰		16.0 16.0 63.0	0.25	転倒	—	—	5月12日
27	楠八重		22.0 22.0 66.0	0.33	転倒	—	—	
28	浅井野		18.0 18.0 53.0	0.34	転倒	—	—	
29	一ツ木		24.0 24.0 69.0	0.35	転倒	—	—	
30	山崎		17.5 17.5 63.0	—	-1.8 -0.3 -0.4 0 -1.2 0.7 -2.4 -2.1	S77.0° E	1.4	
31	南瀬	東郷	23.0 23.0 66.0	—	-0.2 0.8 -0.4 -1.2 -0.1 1.2 -1.5 -2.2	N64.0° E	2.0	
32	五社下		24.0 24.0 70.0	0.34	転倒？	—	—	
33	今村中		22.0 22.0 60.0	—	4.9 5.2 -4.6 1.5 -3.6 2.7 -1.5 -1.2	N3.00° W	2.2	
34	祈礼北	樋脇	21.0 21.0 76.0	—	0.5 -0.1 -0.8 -0.8 0.4 -0.4 -0.4 -0.2	S78.5° E	1.0	
35	平田	祁答院	17.5 17.5 71.0	—	4.5 1.7 -2.6 -2.4 4.2 1.5 0 0.6	S76.0° E	3.3	

表-5.2　各地点の墓石の移動量および方向（第二本震）

No	地点名	市町名	墓石の寸法（cm） (B)	(D)	(H)	B/H	墓石隅各部の移動量 （cm） a	b	c	d	e	f	g	h	墓石移動方向	墓石移動量 (cm)	調査日
1	求名	鹿際	18.5	18.5	56.0	0.33	転倒								N29.0° E	—	
2	三膳野	宮之城	16.0	16.0	63.0	0.25	転倒								—	—	
3	大正		29.0	29.0	76.0	0.38	転倒								N52.0° W	—	6月7日
4	楠八重		22.0	22.0	66.0	0.33	転倒								—	—	
5	一ツ木		24.0	24.0	69.0	0.35	転倒								N42.0° E	—	
6	山崎城		17.5	17.5	63.0	—	移動なし								—	—	
7	諏訪	山水	26.0	26.0	72.0	—	1.2	0.6	0.5	0.5	1.0	0.5	0.7	0.6	N49.0° E	1.3	
8	称礼北	樋脇	27.0	27.0	72.0	—	1.3	1.0	0.0	0.0	1.0	0.5	0.6	0.6	S6.00° W	1.5	
9	向田	川内	28.0	27.0	70.5	—	移動なし								—	—	
10	平佐		—	—	—	—	転倒								—	—	
11	京泊		23.0	23.0	65.0	—	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	N53.0° E	1.1	
12	五代		28.0	28.0	72.0	—	0.7	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	S37.0° E	1.5	
13	大小路		30.0	30.0	77.0	0.39	転倒								—	—	6月8日
14	今村中	東郷	22.0	22.0	60.0	—	3.0	2.4	-0.8	-0.9	2.8	2.8	-0.4	-0.3	S89.0° W	3.0	
15	五社下		24.0	24.0	70.0	—	-0.7	-0.4	0.7	0.7	-0.6	-0.4	0.4	0.4	S69.0° W	0.9	
16	南瀬		23.0	23.0	66.0	—	0.7	0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.7	-0.6	N27.0° W	1.1	
17	山崎	宮之城	24.0	24.0	70.0	—	移動なし								—	—	
18	柏原		12.5	12.5	56.0	0.22	転倒								—	—	
19	湯田原		24.0	24.0	67.0	—	1.6	-2.6	-3.2	-2.4	1.6	-2.5	1.2	1.8	N46.0° W	1.2	
20	山ノ迫	東郷	24.0	24.0	64.0	0.38	転倒								S84.0° E	—	
21	尾口		—	—	—	—	移動なし								—	—	
22	湘田		24.0	24.0	66.0		僅かな移動								—	—	
23	山田		—	—	—	—	僅かな移動								—	—	6月9日
24	白男川		17.0	17.0	50.0	0.34	転倒								—	—	
25	龍光寺	山水	27.0	27.0	71.0	—	-1.7	-1.8	3.0	3.4	-1.5	1.8	-0.5	0.3	S74.0° E	1.5	
26	的場元		30.0	27.0	78.0	—	-2.4	-0.6	3.2	3.4	0.4	1.7	2.0	2.1	N1.00° W	2.7	

写真-2.1　新港水揚げ場付近の不等沈下

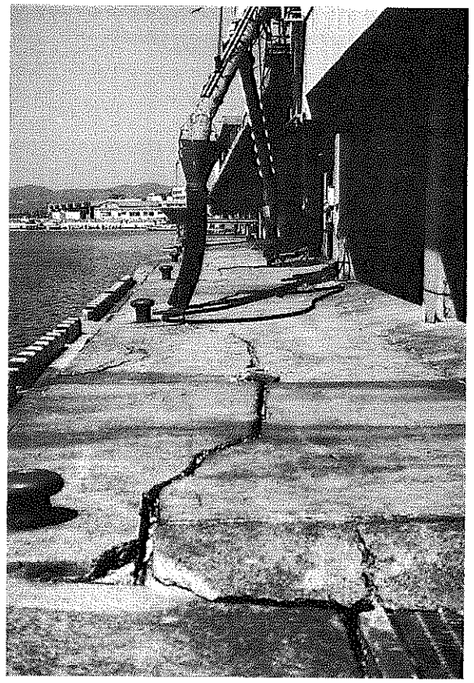


写真-2.2　新港岸壁のコンクリート床板に生じた亀裂

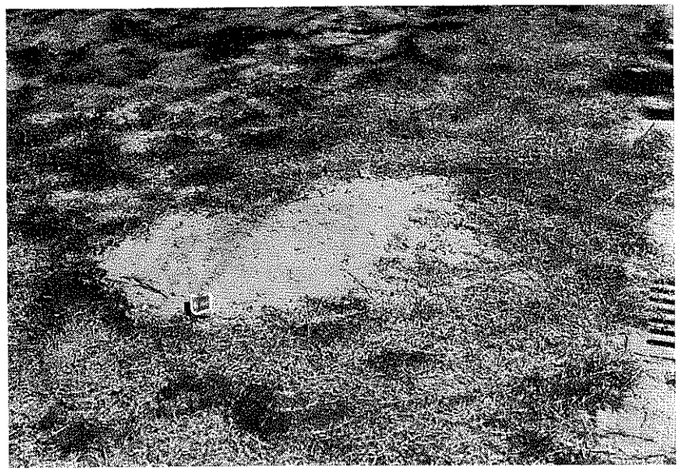


写真-2.3　水産加工団地背後の公園（晴海町運動公園）での噴砂状況

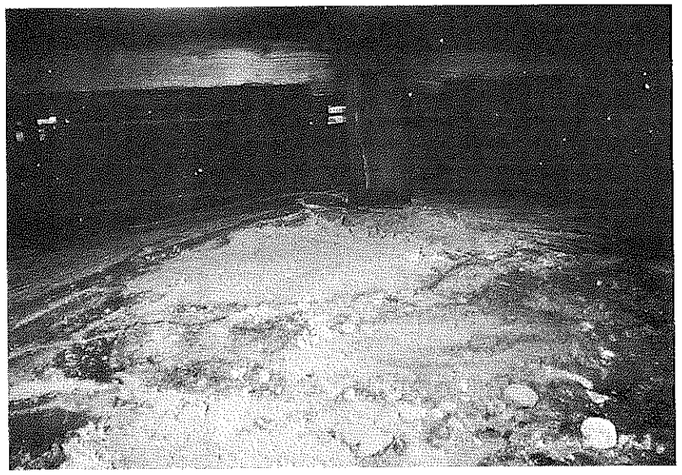


写真-2.4　民家の床下からの噴砂噴水現象の痕跡

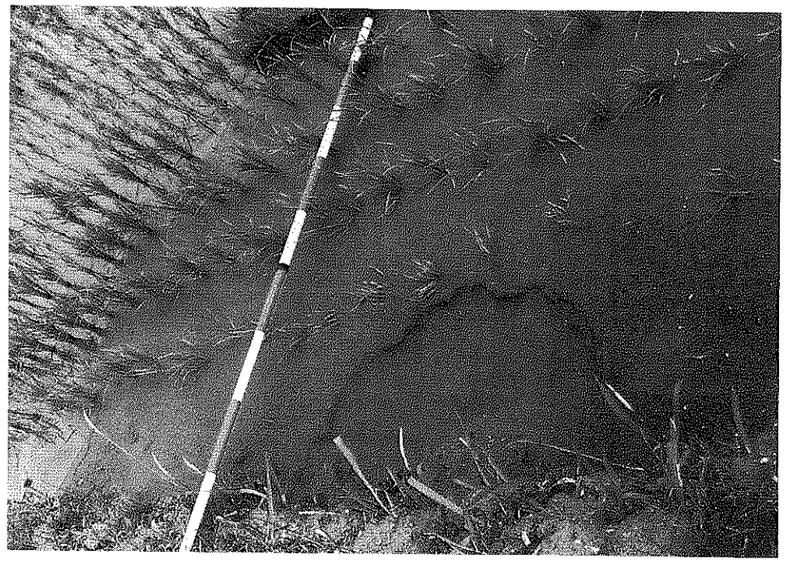


写真-2.5　高尾野町出水干拓地での噴砂現象

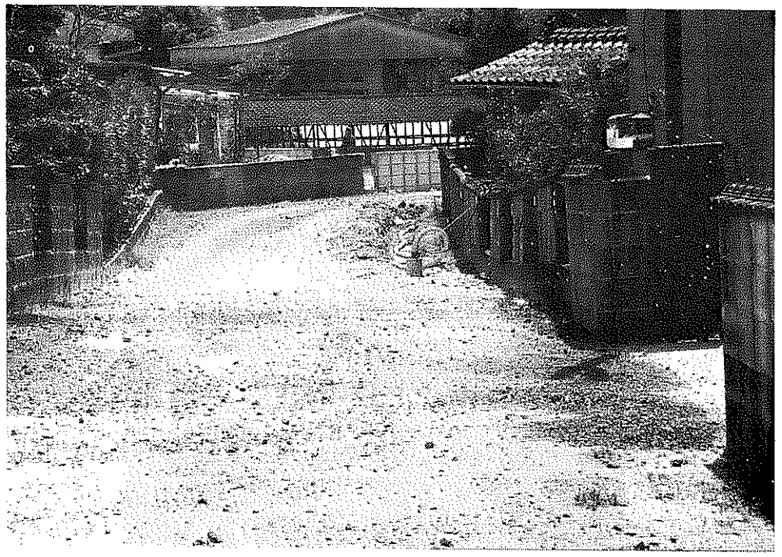


写真-2.6　愛宕山住宅地内の道路での噴砂現象

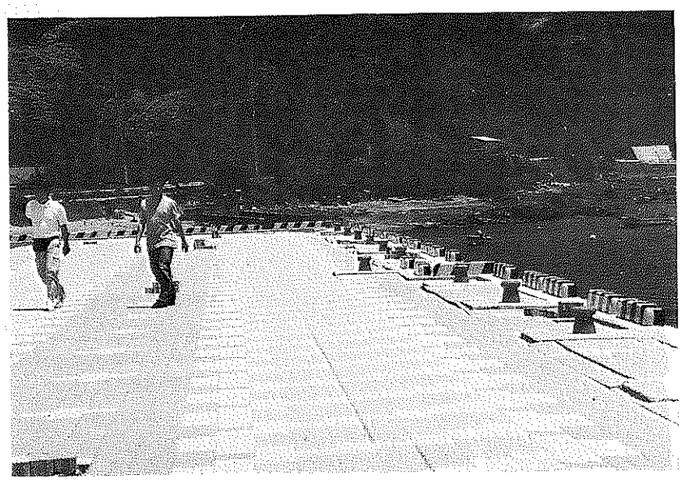


写真-2.7　川内港京泊での舗装ブロックの変状

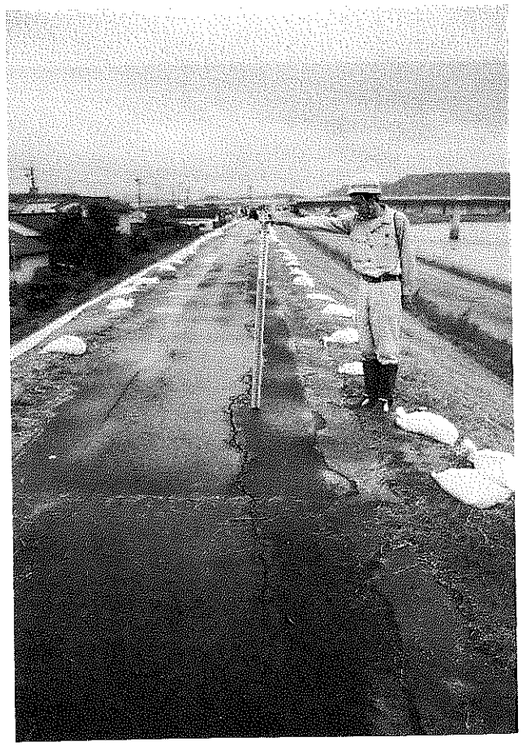


写真-3.1　天大橋付近の堤防の縦断亀裂

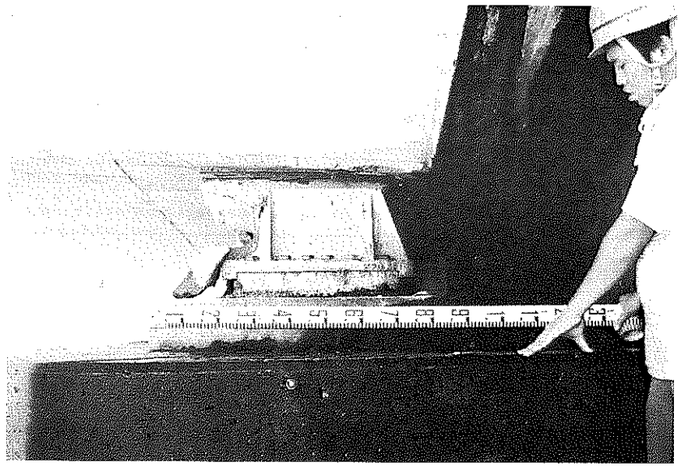


写真-3.2　天大橋左岸の支承部の破損状況

（参考資料１）

気象庁震度階級関連解説表

平成８年２月

震度は、地震動の強さの程度を表すもので、震度計を用いて観測します。この「気象庁震度階級関連解説表」は、ある震度が観測された場合、その周辺で実際にどのような現象や被害が発生するかを示すものです。この表を使用される際は、以下の点にご注意下さい。

(1) 気象庁が発表する震度は、震度計による観測値であり、この表に記述される現象から決定するものではありません。

(2) 震度が同じであっても、対象となる建物、構造物の状態や地震動の性質によって、被害が異なる場合があります。この表では、ある震度が観測された際に通常発生する現象や被害を記述していますので、これより大きな被害が発生したり、逆に小さな被害にとどまる場合もあります。

(3) 地震動は、地盤や地形に大きく影響されます。震度は、震度計が置かれている地点での観測値ですが、同じ市町村であっても場所によっては震度が異なることがあります。また、震度は通常地表で観測していますが、中高層建物の上層階では一般にこれより揺れが大きくなります。

(4) 大規模な地震では長周期の地震波が発生するため、遠方において比較的低い震度であっても、エレベーターの障害、石油タンクのスロッシングなどの長周期の揺れに特有な現象が発生することがあります。

(5) この表は、主に近年発生した被害地震の事例から作成したものです。今後、新しい事例が得られたり、建物、構造物の耐震性の向上などで実状と合わなくなった場合には、内容を変更することがあります。

計測震度	震度階級	人間	屋内の状況	屋外の状況	木造建物	鉄筋コンクリート造建物	ライフライン	地盤・斜面
0.5	0	人は揺れを感じない。						
1.5	1	屋内にいる人の一部が、わずかな揺れを感じる。						
2.5	2	屋内にいる人の多くが、揺れを感じる。眠っている人の一部が、目を覚ます。	電灯などのつり下げ物が、わずかに揺れる。					
3.5	3	屋内にいる人のほとんどが、揺れを感じる。恐怖感を覚える人もいる。	棚にある食器類が、音を立てることがある。	電線が少し揺れる。				
4.5	4	かなりの恐怖感があり、一部の人は、身の安全を図ろうとする。眠っている人のほとんどが、目を覚ます。	つり下げ物は大きく揺れ、棚にある食器類は音を立てる。座りの悪い置物が、倒れることがある。	電線が大きく揺れる。歩いている人も揺れを感じる。自動車を運転していて、揺れに気付く人がいる。				
5.0	5弱	多くの人が、身の安全を図ろうとする。一部の人は、行動に支障を感じる。	棚にある食器類、書棚の本が落ちることがある。座りの悪い置物の多くが倒れ、家具が移動することがある。	窓ガラスが割れて落ちることがある。電柱が揺れるのがわかる。補強されていないブロック塀が崩れることがある。道路に被害が生じることがある。	耐震性の低い住宅では、壁や柱が破損するものがある。	耐震性の低い建物では、壁などに亀裂が生じるものがある。	安全装置が作動し、ガスが遮断される家庭がある。まれに水道管の被害が発生し、断水することがある。 [停電する家庭もある。]	軟弱な地盤で、亀裂が生じることがある。山地で落石、小さな崩壊が生じることがある。
5.5	5強	非常な恐怖を感じる。多くの人が、行動に支障を感じる。	棚にある食器類、書棚の本の多くが落ちる。テレビが台から落ちることがある。タンスなど重い家具が倒れることがある。変形によりドアが開かなくなることがある。一部の戸が外れる。	補強されていないブロック塀の多くが崩れる。据付けが不十分な自動販売機が倒れることがある。多くの墓石が倒れる。自動車の運転が困難となり、停止する車が多い。	耐震性の低い住宅では、壁や柱がかなり破損したり、傾くものがある。	耐震性の低い建物では、壁、梁、柱などに大きな亀裂が生じるものがある。耐震性の高い建物でも、壁などに亀裂が生じるものがある。	家庭などにガスを供給するための導管、主要な水道管に被害が発生することがある。 [一部の地域でガス、水道の供給が停止することがある。]	
6.0	6弱	立っていることが困難になる。	固定していない重い家具の多くが移動、転倒する。開かなくなるドアが多い。	かなりの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する。	耐震性の低い住宅では、倒壊するものがある。耐震性の高い住宅でも、壁や柱が破損するものがある。	耐震性の低い建物では、壁や柱が破壊するものがある。耐震性の高い建物でも壁、梁、柱などに大きな亀裂が生じるものがある。	家庭などにガスを供給するための導管、主要な水道管に被害が発生する。 [一部の地域でガス、水道の供給が停止し、停電することもある。]	地割れや山崩れなどが発生することがある。
6.5	6強	立っていることができず、はわないと動くことができない。	固定していない重い家具のほとんどが移動、転倒する。戸が外れて飛ぶことがある。	多くの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する。補強されていないブロック塀のほとんどが崩れる。	耐震性の低い住宅では、倒壊するものが多い。耐震性の高い住宅でも、壁や柱がかなり破損するものがある。	耐震性の低い建物では、倒壊するものがある。耐震性の高い建物でも、壁や柱が破壊するものがかなりある。	ガスを地域に送るための導管、水道の配水施設に被害が発生することがある。 [一部の地域で停電する。広い地域でガス、水道の供給が停止することがある。]	
	7	揺れにほんろうされ、自分の意志で行動できない。	ほとんどの家具が大きく移動し、飛ぶものもある。	ほとんどの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する。補強されているブロック塀も破損するものがある。	耐震性の高い住宅でも、傾いたり、大きく破壊するものがある。	耐震性の高い建物でも、傾いたり、大きく破壊するものがある。	[広い地域で電気、ガス、水道の供給が停止する。]	大きな地割れ、地すべりや山崩れが発生し、地形が変わることもある。

＊ライフラインの［］内の事項は、電気、ガス、水道の供給状況を参考として記載したものである。

道路・橋梁等の地震被害

工学部海洋土木工学科　吉原　進　・　河野　健二　・　愛甲　頼和
工学部工学研究科修士課程　岩永　昇二　・　小野　太士　・　田代　徹也

1. はじめに

１９９７年３月２６日午後５時３１分鹿児島県北西部を震源とするマグニチュード6.3の地震が発生した（ここでは３月と５月に発生した地震を鹿児島県北西部地震と言う）。1968 年には本地震の震央より西方約 50km に位置する霧島山麓でマグニチュード 6.1 のえびの地震が発生している。鹿児島県地方はこれまで比較的地震の発生は少なかった。地震の大きさはマグニチュード 6.3 と比較的小さな規模であったが、震源が約 10km と浅かったため鹿児島県北西部地方では大きな被害を出す結果となった。特に宮之城町、鶴田町、阿久根市、川内市等の一部では道路、港湾構造物、建物等に大きな被害が発生した。小規模の地震でありながら震源に近いこれらの地域では地表での最大加速度が 500gal を越えているところも見られた。さらに復旧工事が本格化した直後の５月１３日前回の震源より南方約 10km でマグニチュード 6.2 の地震が再び発生した。この地震においても同地域で大きな地表面加速度が観測され、再び被害が発生した。本報告では３月２６日と５月１３日の地震について数回にわたって行った現地踏査を基に被害状況について述べることにする。

2. 地震動の特性

防災科学技術研究所では全国に地震観測点を設置し、K-NET を通じて観測された地震波の加速度記録の公開を行っている。今回の鹿児島県北西部地震においても K-NET による各観測点の観測値は貴重なデータを提供した。そこで初めに K-NET の観測値に基づいて最大加速度の分布について述べることにする。本震における震央と各観測点になっている市町村の位置関係は図１のようになっている。

2.1　最大地震動の分布

前述したように鹿児島県北西部地域ではマグニチュード６以上の地震が３月２６日と５月２６日の２回発生した。図２は３月２６日の地震に対して観測された地表面加速度の時刻歴の１例であり、東西、南北及び上下方向の各成分を示している。出水（震源から約 10km）では南北方向で約 727gal であり、上下方向では約 1/3 になっている。阿久根では南北方向で最大加速度が 293gal となっているが、出水の場合に比べて周期の長い成分が卓越している。

図３は５月１３日の地震に対する地表面加速度の１例である。宮之城（震源から約 16km）では最大加速度が南北方向で 902gal となっている。また川内では（震源より約 8km）では最大加速度が 318gal となっている。

表１に震源に近い各観測点の最大加速度をそれぞれ示している。

図４と図５は各地点で測定された地表面加速度の最大値分布とそれを積分して求めた最大速度分布と震央からの距離の関係を示したものである。図４はそれぞれ３月２６日の地震によるものであり、南

北方向の成分と東西方向の成分について示したものである。最大加速度は震央距離が約 30km までの範囲では観測点によって大きく異なっていることが分かる。そしてこの変動幅は東西方向と南北方向で異なっており、本地震では東西方向で大きな相違が生じていることが分かる。

一方最大速度の分布も同様に震央距離の増加にともなって減少するが、東西及び南北方向成分とも震央に近い程大きな変動を示していることが分かる。地表面における地震動に関しては表層地盤の動的特性が大きく変動するため、震央距離だけでその最大値を表すと、このような変動が生じるものと考えられる。

図５は５月１３日の地震によるものであり、南北方向と東西方向の成分について示したものである。最大加速度応答については震央距離が約 20km 以内では非常に大きな変動が生じている。これは特に表層地盤の影響が大きく反映されたことによるものと考えられる。最大速度分布も同様の傾向を示すが、特に東西方向で変動の大きなものになっている。

2.2　地震動の振動数特性

震源に近い出水、阿久根、宮之城、川内、大口の各地域にはK-NET で観測点が設置されており、今回の地震では貴重なデータが得られた。これらの観測点では地表層の約 20m までの地盤特性が分かっているので、それに基づいて地表層の伝達特性を求めると図８及び図９のようになる。この場合地盤は線形として応答振幅を求めた。

図６と図７は３月２６日の地震においてこれらの地点で観測された地震波の南北と東西方向のそれぞれのフーリエスペクトルを示したものである。出水では東西、南北の両方向とも約 5Hz から 10Hz の振動数成分が卓越している。出水の観測点では約 12Hz が１次の固有振動数であり、地震波は表層地盤の影響を強く反映したものとなっていることが分かる。阿久根では東西、南北両方向とも 1Hz を中心とした振動数域に主要な振動数が表れている。この観測点では約 2Hz が１次の固有振動数であり、地震波の卓越振動数よりも大きくなっている。これは地盤の非線形特性の影響が生じたことによるものと考えられる。出水では最大加速度が 727gal と大きな値を示しているが、比較的被害は少なかった。

一方阿久根では最大加速度が 293gal であったが、港湾構造物において地盤の液状化による被害が発生した。一方大口では約 3Hz の振動数成分が卓越している。大口市の地盤は約 4Hz と 8Hz に１次と２次の固有振動数があり、地震波の主要振動数は地盤の影響を強く反映したものとなっている。この地震では大口の最大加速度は 306gal であったが被害は殆ど発生していない。

宮之城では東西、南北の両方向とも約 7Hz から 10Hz における振動数成分の影響が大きく表れている。この地点の地盤では約 7Hz が１次の固有振動数であり、地震波の主要振動数の一部をなしている。宮之城では学校の校舎等に大きな被害が発生しているが、これは地震波が約 1Hz から 5Hz で卓越した振動数成分を有しており、構造物の応答に大きな影響を及ぼしたものと考えられる。また川内では両方向の地震波とも約 1Hz の振動数が卓越したものとなっている。川内の観測点では約 3Hz と 7Hz がそれぞれ１次と２次の固有振動数になっている。ここで約 1Hz の振動数成分が卓越しているのは地盤の非線形性の影響が加わったためと考えられる。

図１０と図１１は５月１３日の地震に対して各地の観測点で得られた東西、南北の地震波のフーリエスペクトルをそれぞれ示したものである。出水では東西、南北の両成分との約 10Hz の振動数の波が卓越している。また南北方向では約 6Hz の振動数の波が主要なものになっている。この南北成分波の約

6Hz の振動数の卓越は表層地盤の１次の固有振動数からも離れており、他の影響によるものと考えられる。３月２６日の地震に対する結果と比較してみると、両方向成分とも振動特性はよく対応したものとなっている。このため観測された地震波には表層地盤の影響が最も大きく反映されたものとなっていることが分かる。

阿久根における地震動は東西、南北の両方向とも約 1Hz から 2Hz の波が主要なものとなっている。これは表層地盤の振動数 2Hz よりも少し小さくなっている。３月２６日の地震と比較すると、両方向とも全体的な傾向は類似している。しかし３月２６日の地震では特に南北方向において約 1Hz の振動数成分が卓越しており５月１３日の地震波に比べて３倍程度大きな値を示していることが分かる。

大口における地震動は東西、南北方向とも約 3Hz から 7Hz の振動数成分が主要なものとなっているが、これは表層地盤の１次固有振動数を中心にした振動数域の影響が大きいことを表している。３月２６日の地震波と比べてみると、東西、南北方向ともその主要な振動数成分の影響は類似した傾向を示していることが分かる。

次に宮之城の地震波は東西方向では約 1.5Hz と 3.5Hz に主要な振動数成分を有しているのに対し、南北方向では約 8Hz と 10Hz であり、東西方向の波の主要振動数とは大きく異なっていることが分かる。このため東西方向の約 1.5Hz 付近における卓越した振動数成分の影響は他の原因によるものと考えられる。３月２６日の地震波と比較すると南北方向では約 1.5Hz を中心とした振動数域での影響は同程度であるが、５月１３日の地震では約 10Hz 付近の振動数の波が異常に大きくなっている。この時の最大加速度は 902gal となっているが、これはこの振動数成分の影響が極めて大きかったことによるものと考えられる。一方東西方向の地震波について３月２６日の場合と比較すると、全体的な傾向はよく類似していることが分かる。５月１３日の地震では震源に近かったため、それぞれの主要振動数で３月２６日の場合に比べて大きな応答を示していることが分かる。

川内では東西方向で約 1.5Hz の振動数の波が主要なものとなっている。これは表層地盤の卓越振動数より若干小さくなっている。南北方向では約 1Hz と 3Hz を中心とする振動数域での波が主要なものとなっている。３月２６日の地震と比較してみると、全体的な振動特性は類似しているが、５月２６日では約 3Hz の成分が約２倍になっていることが分かる。東西方向についても同様に類似したものとなっている。

このように各地点で観測された地震波は表層地盤の振動特性を強く反映したものとなっている。表層地盤の深さをどの程度まで考慮するかによっても、その影響は異なるが、地震動の強度が大きくなった場合、地盤の非線形性の影響が非常に大きくなることが考えられる。このような場合については後で述べることにする。

2.3　地盤の振動伝達特性

地表面で観測された地震波は多くの場合、表層地盤の振動特性の影響を強く反映したものとなっている。そこで震源に近い出水、宮之城、川内の各観測点の地表面加速度に及ぼす表層地盤の影響についてそれぞれ調べてみる。地震波の表層地盤における伝搬を１次元として扱うと重複反射理論より表層地盤の伝達特性を求めることができる。この伝達関数を用いて地表面における加速度と最下層における加速度の関係を知ることができる。地震動が大きくなり地盤のひずみが増加すると、地盤の非線形性を考慮する必要がある。このような場合表層地盤の非線形特性を等価線形法によって求めると、最下層の加速

度応答が得られる。

図１２から図１４は３月２６日の地震についてこれらの３地点における伝達特性により地表層加速度波に対して最下層で得られる加速度応答のそれぞれのフーリエスペクトルを示したものである。出水では約 5Hz から 20Hz の間で最大約３倍の増幅となることが分かる。3Hz 前後の振動数域では表層と最下層はほぼ同じ振動をしているが、表層地盤による増幅は上記の振動数域に集中している。また宮之城では約 1.5Hz から 20Hz の間に地震波の増幅があるが、最も構造物の応答に大きな影響を及ぼすと考えられる 3Hz から 5Hz では最大でも約２倍程度である。一方、川内では 1Hz 以下の振動数域においても約 10%程度の地盤加速度の増幅があり、1Hz を越えると増幅はさらに大きくなることが分かる。図８と図９に示された地盤の振動特性からも分かるように宮之城と川内では表層地盤の１次の固有振動数よりも小さい振動数に各地震加速度の卓越振動数がある。これは表層地盤の非線形性による影響も考えられるが、表層地盤の卓越振動数が約 20m 以深によって表されことによるものとの両方が考えられる。

3.　応答スペクトル

3.1　加速度応答スペクトル

地震波が構造物の応答に及ぼす影響は応答スペクトルを用いて表わされる。そこで各地点で観測された地震波について応答スペクトルを求めた。図１５、図１６は３月２６日の地震波に対する東西と南北方向の加速度応答スペクトルを示したものである。出水では 0.1 秒で最も大きな値を示しており、特に南北方向では約 2000gal を越えている。短周期の固有周期を持つ構造物は極めて大きな加速度を受けたが、出水では目立った被害はなかった。さらに周期が１秒までの間に応答スペクトル値は減少し約 500gal から 250gal になっている。阿久根では東西方向では周期 0.7 秒から１秒で約 300gal の最大加速度が生じており、南北方向では約１秒で 800gal となっている。阿久根では港湾構造物で被害が見られたが、周期約１秒での応答が主要な影響を及ぼしているものと思われる。大口では東西、南北両方向とも周期 0.3 秒で 750gal の最大加速度を生じている。しかし、大口市では目立った被害は見られなかった。

一方、宮之城では東西、南北両方向とも周期 0.1 秒から１秒の間で大きな最大加速度応答を生じている。特に南北方向では 900gal を越える最大加速度が約 0.6 秒以下の周期で生じている。学校の校舎で大きな被害が発生しているが、これらの周期での地震波の影響が大きいことは、その被害と密接な関連があると思われる。また川内では東西方向において周期 0.3 秒、0.65 秒、0.9 秒で最大加速度が 600gal を越えているが、道路や橋梁構造物には目立った被害は見られなかった。

図１７と図１８は５月１３日の地震波に対する東西と南北両方向の加速度スペクトルを示したものである。出水では周期 0.1 秒からお 0.2 秒の間で大きな最大加速度を示し、周期の増加に従って最大加速度は急速に減少している。特に、南北方向では 2000gal を越える最大加速度が生じているが、目立った被害は発生しなかった。３月２６日の地震の場合と比べてみると、地震動の最大加速度は 727gal と 728gal であり、ほぼ同程度のものである。５月２６日の地震では南北方向では周期 0.1 秒から 0.2 秒の間で３月の場合より大きな応答を示している。同様に東西方向においてもこれらの周期の間で最大加速度応答に相違が見られるが、全体的な傾向はよく類似したものとなっていることが分かる。

阿久根では東西方向では周期 0.5 秒、南北方向では周期 0.6 秒で約 500gal の最大加速度が生じている。３月２６日の地震と比べると、南北方向では特に周期１秒での応答が大きく減少している。東西方向でも同様の相違が見られるが、地震による被害から考えると、３月２６日の地震による被害が大きかったのは、周期約１秒での応答が極めて大きかったことによるものだと考えられる。

宮之城では,5 月 13 日の地震波に関する応答スペクトルは東西方向と南北方向で異なった傾向を示している。南北方向では周期 0.1 秒で約 200gal の最大加速度応答を示しているが、周期の増加に対して急速に減少している。一方東西方向では,周期 0.1 から 0.7 秒の間で約 1000gal から 2200gal の範囲の最大加速度を示している。この地震では、学校の校舎が甚大な被害を被ったが、この周期での応答スペクトル値が極めて大きかったことと密接に関連している。また、3 月 26 日の地震と比較すると、東西方向では応答スペクトル値が増大する方向は類似しているが、５月１３日の地震では、約 2 倍程度の最大加速度を生じている周期があることが分かる。また南北方向の場合、応答スペクトルは異なった傾向を示しているが、周期 0.1 秒で大きく異なった応答値を示すことを除いて、全体において同程度のものとなっている。

川内では、南北方向は約 0.2 秒と 0.35 秒で最大加速度が 1000gal を超えている。 また、東西方向では周期 0.7 秒で 1000gal を超える応答を示している。 この地震では堤防で亀裂が発生したが、これらの最大加速度の生じる周期は近いので応答がこれらの被害に大きな影響を及ぼしていることが考えられる。 3 月 26 日の地震と比較すると、南北方向では最大値に相違は見られるが、全体的な傾向は類似していることが分かる。 また東西方向の場合を比べると、これら 2 つの地震の応答スペクトル値は類似しているが、全体に、5 月 13 日の地震は大きな応答値を示しており、約 2 倍の大きさになってる場合もある。

3.2　速度応答スペクトル

図１９と図２０は各地点で 3 月 26 日に観測された地震波の速度応答スペクトルを示したものである。出水では、南北方向において周期 0.1 秒から 0.2 秒で約 40cm/s の最大速度応答が生じているが、それ以外の周期では 20cm/s 程度となっている。また東西方向では、同様に約 20cm/s から 30cm/s の最大速度応答を示している。出水では地震波の最大加速度が大きかったにもかかわらず被害は少なかったが、これは最大速度応答が小さい値を示していることと、大きく関連しているものと考えられる。

阿久根では、南北方向において周期約 1.2 秒を中心に最大速度応答が 150cm/s を超えている。この場合東西方向でも約１秒を中心とする周期の応答がもっとも大きくなっており、約 50cm/s を超えている。主要な被害が港湾構造物で発生したが、これは特に南北方向の速度応答が大きかったことと関連しているものと考えられる。

宮之城では、周期約 0.6 秒を中心とする範囲で最大速度応答が卓越しており、東西方向及び、南北方向とも約 90cm/s を示している。学校の校舎に大きな被害が発生したが、この事はこれらの周期での応答の影響が大きかったためと考えられる。　また川内では、周期 0.1 秒を中心とする範囲で最大速度応答が大きくなっている。東西方向では約 90cm/s、南北方向では約 50cm/s の応答を示していることが分かる。

図２１と図２２は、5 月 13 日の各地点の速度応答スペクトルを示したものである。出水では、東西方向において周期 0.6 秒から約 3 秒において約 25cm/s の最大速度応答を示している。また南北方向では周期 0.1 秒から 0.2 秒の間で約 50cm/s の最大速度応答を示している。3 月 26 日の地震の場合と比べ

てみると、5 月 13 日の地震では両方向とも全体に若干大きな応答になっているが、類似した応答特性を示している。

阿久根では、南北方向において周期が約 0.1 秒のとき約 50cm/s の最大速度応答を示している。また東西方向では、周期 0.5 秒のとき最大になっており約 35cm/s の応答を示している。3 月 26 日の地震と比べると、周期約 1 秒の近傍で最大の速度応答を示す傾向は同様のものであるが、3 月 26 日の場合南北方向では約 3 倍の応答を示しており、被害の発生とよく対応していると考えられる。

宮之城では、東西方向において、周期 0.6 秒から 0.9 秒において 100cm/s を超える最大速度応答を示しており、特に 0.65 秒では約 150cm/s と極めて大きな速度応答を示している。また南北方向では、周期 0.5 秒から 1 秒の間で最大速度応答は 60cm/s を超えている。一方 3 月 26 日の地震と比較してみると、両方向ともに応答特性は類似しているが、5 月 13 日の地震では最大の応答を生じている周期 0.65 秒で約 1.5 倍の応答になっている。これらの 2 つの地震で宮之城では学校の校舎に大きな被害が発生したが、この事は速度応答スペクトルからも分かる。

川内では、東西方向において、周期 0.7 秒から 0.8 秒の間で約 110cm/s の最大速度応答を生じている。南北方向では、周期 1.5 秒で約 90cm/s の最大速度応答を示している。3 月 26 日の地震と比べると、各周期に対応する応答特性はそれぞれ異なったものとなっている。5 月 13 日の地震では、3 月 26 日の地震に比べて約 1.5 倍程度の応答を示している場合もあり、全体的に大きな応答値を示している。

4. 地震被害

4.1 道路被害

3 月 26 日の地震では道路の亀裂、沈下や斜面崩壊等の多くの被害が発生した。道路被害は震源に近い出水市、宮之城町、東郷町等で多く発生した。これらの被害はそれぞれ規模の異なったものであるが、それぞれの被害について被害額と震央距離との関係でまとめると図２３のようになる。 これは 3 月 26 日の地震によるものである。特に被害が震央距離約 20km 以内に集中していることが分かる。一方図２４は、これらの被害率と予想される最大加速度との関係を示したものである。この場合の最大加速度は図 2、図 3 の最大加速度の距離減衰関係を用いて求めた。

この場合の被害率は全体の被害に占める被害の割合であり、震央距離から予想される最大加速度を用いて求めたものである。最大加速度が 200gal を超えると被害率が 3%を超え、約 300gal では約 15%となっている。さらに、最大加速度が大きくなると、被害率は約 2%程度となっている。 各被害が発生した道路での表層地盤の固有振動数は分からないので、この結果は全体の被害の程度を見るための１つの指標であると考えられる。これまで示したように K-NET による各観測点の地震波のフーリエスペクトルや応答スペクトルの結果より被害との関連を知ることができる。出水、宮之城、川内での応答からみると、特に周期 1 秒付近における応答が主要になる場合、地盤の被害は大きくなると考えられる。

4.2 道路橋の被害

震源に近い北薩地域には、川内川およびその支流が多く流れ、数多くの橋梁が架設されている。大正頃まではアーチ石橋が多数建造されていたようであるが、以降ＲＣ桁橋、ＲＣリブアーチ、トラスやＰＣ桁へと変遷したようで、この地域には完成年、使用材料、構造形式など様々の橋梁がある。その上機能拡充や力学的補強のために改造されたり、老朽化の程度に応じて補修され、寿命を長らえるために補

強されたものも多い。

また、この百年程度の間に、耐震規定等も順次改定され、異なる設計基準で架設された橋が混在している。最近架設された橋梁には免震支承を備えたものもある。 北薩地域で、地震後視察した橋梁は多数にのぼる。被災の程度は様々であるが、特に目に付いた被災状況および実験の結果の取りまとめが出来たものにを以下に挙げる。

4.2.1 神子橋

出水市や宮之城町では最大加速度が 727gal と 902gal と極めて大きかったにもかかわらず、道路橋には目立った被害は発生しなかった。その中で神子橋、市野橋、天神橋の他大薄橋および堂下橋（石橋）に被害が見られた。これらの橋は、大薄橋を除いていずれも桁橋の古いものであり、橋脚あるいは橋台に亀裂が生じたものであった。これらの橋梁の震央距離から考えると、かなり大きな加速度を受けたことになる。

そこで橋脚や橋台の一部に被害を受けた神子橋について述べることにする。神子橋は図ー２５に示すように両側径間を有する５径間のゲルバー橋であり、全長は 94.6m で鶴田町の川内川に架かっている。桁は鉄筋コンクリートからなるが桁が古くなったためゲルバー部分は鋼線で結合されていた。図ー２５に示すように橋脚の天部と橋台に亀裂が生じた。このため地震直後は車両の重量を４ｔに規制して使用していた。３月２６日の地震により橋軸方向の振動による被害が主要なものとなった。そこで車両荷重の移動による橋の振動特性の計測を行った。

図２５に示すように①から⑥に加速度計を設置し、約 3ton のトラックの通過にともなう橋の振動計測を行った。３つのケースについて各点の振動数特性を示したのが図２６から図２８である。トラックの速度は約 30km/h であるが、これら３ケースはそれぞれ異なる荷重に対応している。測点①から⑥は P1 から P6 にそれぞれ対応しており、①、③、⑤は水平方向の振動を、②、④、⑥は鉛直方向の振動を表している。桁の鉛直方向の振動は 3Hz から 15Hz で大きくなっている。また橋台、橋脚においては、この観測では小さな振動のみが発生しているが約 15Hz で応答が増幅することが分かる。３月２６日の地震による応答スペクトルを見ると、この位置に最も近い宮之城では 3Hz から 6Hz で 1000gal を超える最大加速度が、また約 3Hz では約 40cm/s の最大速度応答がそれぞれ生じている。宮之城での観測値をそのまま神子橋に適用できないが、これに類似した地震動を受けたことは予想される。橋台や橋脚に主な被害が発生していることから考えて、橋軸方向に大きな加速度が生じたものと考えられる。今回の地震を受ける前の振動特性が分からないので損傷の影響がどの程度の割合でこれらの観測値に表れているのか明らかでない。しかしながら異なる荷重の通過にともなう振動特性は振幅の大きさをを除いてよく類似しており、この程度の荷重に対しては弾性的な振動をしていることが分かる。５月１３日の地震でも大きな地震力を受けたと思われるが、橋台を支持する地盤の亀裂や変形が増大したことを除き大きな損傷の発生は見られなかった。

4.2.2 市野橋

図２９に市野橋の一般図を、写真１から３に典型的な被害状況を示す。３月の地震による被災状況は次の通りである。

１）右岸橋台裏込め土（マサ土）が大規模に滑り崩落していた

2）右岸橋台上部付近で全断面に及ぶ水平の大きな亀裂が発生していた
3）左岸の護岸部は隣接の石積みに弛みがある程度であるが、取り付け路に亀裂が生じていた。その結果この橋の通行は規制されていた。

この時点では右岸取り付け路（法面に孟宗竹が繁茂していた）は健全であったが、５月の地震後にはこの取り付け路も崩落していた。橋台等の被害状況は３月とほとんど変わっていなかった。ＲＣ桁部の重量は約 60ton 程度と推定される。この地点の水平最大加速度の値を、仮に 700gal とすると、40ton 程度の水平力が橋台上部に作用したことになる。この水平力によって裏込め土が崩落し、橋台が曲げに抵抗できず大亀裂発生に至ったものと考えられる。　橋台に亀裂が発生した原因を正しく推定するには、この橋台の最大耐荷力を算定することが必要である。解体時に配筋状況を調査するだけでなく、コンクリート供試体を採取して載荷試験などをする事が必要である。

4.2.3　天神橋と小鷹橋

互いに形式が類似していて、サイズも似ている橋梁を取り上げる。これらは同一河川の似た地域に架設されている。図３０に天神橋の一般図を、写真４に被害状況を示す。この二橋のうち天神橋は架設年が古く、地震前にすでに相当老朽化していたらしく、新幹線用のトンネル工事のための車両通行に備えて、上流側に接して仮設橋梁が架設されていた。３月の地震によって、右岸橋台石組みが崩落して、右岸側の桁が大きく傾斜していた。このため車両の通行は規制されていた。５月の地震後、外観に大きな変状はなかった。桁端の沈下量を測定すると桁の右岸側端部が橋脚側端部より約 17cm 沈下していた（創建時の左右岸の桁端を同じ標高とする）。

この他に、橋脚に用いてあるコンクリートパイルの表面コンクリートが剥離し、内部の鉄筋が露出していた。この鉄筋が錆びていることに加えて、帯筋が細く、間隔が大きいのが目立つ。錆の様子から、表面剥離後に生じたと考えられず、薄いコンクリートの被りのために事前に生じていたものと推定される。コンクリートの剥離は、座屈によると考えるより、鉄筋の錆によるものと考えられる。　少し下流にある小鷹橋からは損傷痕が発見できない。ほぼ同一地域にある類似形式の橋梁は、架設年に違いがある。これら二橋の損傷に差が出ているのは、老朽化によるか、設計基準の違いによるか、あるいは施工の違いのどれかが強く影響したためであろうが、現段階でこれを特定する材料はまだ集まっていない。今後の課題とする。

4.2.4　アーチ石橋

いわゆるアーチ石橋は過去の遺物に過ぎないとする声がある中で、鹿児島県下には大正時代までに建設された５００橋弱のアーチ石橋が今なお現役橋であって、それぞれの地域にとってなくてはならないものとして使用されている。もちろん時代の変化に適応できるようにほとんどが一部改造されているが、創建時の姿をほぼ保っているものと考えられる。　以前から、アーチ石橋は地震に弱いので、地震の少ない九州で数多く建設されたのだとする説がある。これは小さな石を積み上げた姿から起こる思い込みで、現にヨーロッパや中国では、地震多発地域にも古くからのアーチ石橋が健在であることからして、妥当な説とはいえない。

地震被害の大きかった北薩地域にはおよそ 100 橋程度のアーチ石橋が残され、使用されている。それらが今回の地震でどの様な被害を受けたのか、先の意味での関心もあるが、地域生活を支える土木施設として、その耐震性を調査しておく必要を感じた。対象地域で、被害を受けたとの情報のあるアーチ石橋や被害を受けた可能性のあるアーチ石橋を重点的に調査した。被害状況を述べる前に、地震や交通による振動で生ずる可能性のあるアーチ石橋にとって致命的と考えられる被害パターンをまとめておく。

- アーチリング内に縦に通る亀裂煉瓦アーチで時に見られる損傷で、基礎の不等沈下などによって生ずる。
- アーチリング石の半径方向へのずれ合端（石の接触面）が水平の一列に通る横積みのアーチリングに見られる損傷で、過大な上載荷重によって中詰め土からの圧力が異常に大きくなったときに発生する。
- アーチリング石の部分的抜け出し　自動車等による繰り返し振動によって発生する。なお、この損傷パターンは洪水流による吸い出し作用によって起こることもある（鹿児島市大乗院橋）。甲突川五石橋に関する伝説の中に「一つのアーチ石を抜き取れば全体が落橋するように作ってある」があるが、通常時にはこれはあり得ない。洪水時には浮力で合端に働く圧縮力が低下するために抜け出しやすくなるものと考えられる。また地震時には上下動によって合端に働く圧縮力が小さくなってアーチ石が抜け出しやすくなる。なお、アーチ石の一石が抜け出ても全体の落橋に至っていないケースも何例かあって、大乗院橋や北京市の円明園残橋などで見られる。
- アーチリング石の円周方向に通る亀裂鉄の扁平大アーチと石の半円小アーチのように、形やサイズ、材料の異なるアーチが組み合わされているような場合、両側アーチの水平反力が異なり、これがために生ずる橋脚の水平移動に伴って発生するものと考えられる。　鹿児島県下のほとんどのアーチ石橋の材料は厚肉の凝灰岩（離島では珊瑚が使われている）を横積みしていて、アーチ石をつなぐ接着剤やだぼはない空積みである（軟らかい凝灰岩ではだぼの効果はない）。また最近の自動車の通行に適するように、橋面に幅の広いコンクリート床版が設置されているのがほとんどである。

（１）大薄橋

アーチリング腹面の破損状況を展開図３１と写真５示す。この図はアーチリングの腹面（川の水面に向かう側）を展開して示したものである。この図に現れている損傷を取りまとめる。

1）アーチ石の橋軸直角方向のずれ水平に積まれた一段のリング列の中でアーチ石が水平にずれていて、石の間が大きく開いている。最大の開きは 17cm で、該当部では裏込めが見える程度に開いている。この水平方向のずれの分布状況は図からも判るように、４５度付近のリング列内で多く発生している。

なお、アーチリングの半径方向のずれは生じていないし、リングの円周方向のずれ（弛み）もない。リングの曲線は円と思われるが、真円からの歪みの程度は不明。　アーチ石の上下流方向には通常時には力は働かないが、地震時のように水平力が働くと、面外変形が生じ始める。だから中国で見られるような縦積みのリブリングは、リブ間の結合を強固にしなければならない。大薄橋のアーチ石の横ずれは、横積みアーチリングの面外変形に対する強さを実証したと言えよう。

2）アーチ石のカケ、剥離、割れ３月の地震の直後河床にアーチ石の破片が散在していた。しかしその破片はその後流失していた。この種損傷の分布状況は図－３２に示すとおり、やはり４５度付近に集中している。

3）アーチ石の縦方向の独立した亀裂横に長いリング石の縦に亀裂が入っているが、上下に隣接する石の亀裂とは連続していないのがほとんどである。図３２の太い線で示したようにやはり４５度付近での発生率が一番高い。この種亀裂が発生するには、石に引っ張り力か、せん断力が働かねばならない。基礎に不等沈下が起こればせん断力が働きうるが、この場合は亀裂が上下に隣接するアーチ石の亀裂とほぼ同じ位置で繋がるはずである。今回の例では独立した亀裂がほとんどであるから、せん断力がその原因となったとするには無理がある。アーチ石に働く曲げに伴う亀裂も考えられるが、亀裂の様子からはこれを主たる理由とすることは出来ない。一番可能性の高いのは、アーチ石の橋軸直角方向のずれによる引っ張り力であると考えられるが、前例もないことから、これだけで断定するには材料不足である。

この点の定量的な検討は今後の課題とする。

4）左岸部裏込め付近の損傷

左岸橋台の裏込め付近では石と土砂の崩壊があった。その様子を図３２と写真６に示す。同図右は下流から見た図で、左は左岸側上流部の様子である。この損傷が車両の通行規制の原因と思われる。

裏込め部分の側壁は検地石積みであったと考えられる（右岸の様子から）が、床版端部から以遠はコンクリート製のＬ型擁壁が用いられている。　この被害状況からすると、創建後付設されたコンクリート床版によって裏込め土が水平に押されたため横に膨れだし、検地石部分の横抵抗が弱くて崩壊したものと思われる。この損傷はアーチ石の本来的な欠陥と考えるより、自動車の通行に便なるように付設したコンクリート床版の影響であると考えられる。すなわち床版は拡幅、平滑路面とするため（緩やかな傾斜にする意図もあつたか）、後に改造された。床版の重量は 47.1ton と推定される。　衝撃性の強い大加速度によって生じた市野橋の橋台折損と同じメカニズムで生じた損傷である。

（2）堂下橋

大薄橋のすぐ下流に架かる同時期に建設された同型式、ほぼ同サイズのアーチ石橋である。

アーチ石の腹面に多数のカケやアーチ石のずれ、亀裂が見られる。しかし大薄橋に比べると幾分軽度のようであつた。そのためか視察した時点では通行規制はされていなかった。

江の口橋川内川の河口近くで、岩永三五郎によって架設された２スパン連続アーチ石橋である。写真－７のように、右岸下流側の石段に亀裂が見られた程度で、他に大きな損傷はない。通行規制はない。

城の橋３月の地震前にすでに要石近くの上流端アーチ石が半径方向に大きくずれていた。そのため相当以前から通行規制されたいわば放置された橋である。地震後の視察によって、そのずれにほとんど差がないことが確認されている。

この他にもアーチ石橋の取り付け路の表面舗装に亀裂の発生したもの（夜星川浦田橋）などもあるが、以上の結果から総じて言えば、震源に近い北薩地域にある約１００橋のアーチ石橋の内、相当な被害を受けたのは大薄橋と堂下橋の２橋で、そのうち車両の通行が規制されるに至ったのは大薄橋のみである。アーチ石橋以外で損傷を受けて通行規制されている橋も２橋であるから、これを持ってアーチ石橋が地震に弱いとの説は否定されるべきものと考えられる。なお、アーチ石橋の耐震性が必ずしも劣るものでないことは、個別要素法による４スパンアーチ石橋の振動シミュレーションからも確認されている。

5．まとめ

今回の地震は衝撃性の強い直下型地震で、被害に局地性が現れている。被害の大きかったのが地方都市であり、山岳地、田園地であったことは幸いであった。しかしこれらが被害の全貌やそれらの一般的傾向を明らかにする上では一つの困難となっている。地震国日本の社会資本たる土木施設の耐震性を検討する上では、多くの目の向きがちな大都会における土木施設と同じ程度に重要なことに変わりはない。

その意味で今後もっと深い考察に加えて、定量的な検討の必要性が高いことも痛感している。たとえば、地震動は伝播する際地質や地形によって大きな影響を受ける。今回の地震で特定地域の被害が大きかったケースからも明らかである。地形による地震波の変形特性や直下型地震波形の地盤内部における変形特性の実態を解明しなければならない。

衝撃性の強い地震では、桁と橋台間の衝突による損傷が起こる。水平衝突エネルギー吸収支承の必要性のシミュレーションと効果を検討しなければならない。　土木構造物と言ってもその力学特性は様々で、その上時代を追って建造されている場合が普通である。耐震規定と関連づけて、建造後の経過年数に応じた構造物の老朽度の把握と耐荷力の推定方法や適切な補強方法を検討しなければならない。

謝辞

アーチ石橋の被害調査に関連して、情報の提供や視察、測量など大福コンサルタント（株）および（株）建設技術コンサルタンツに協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

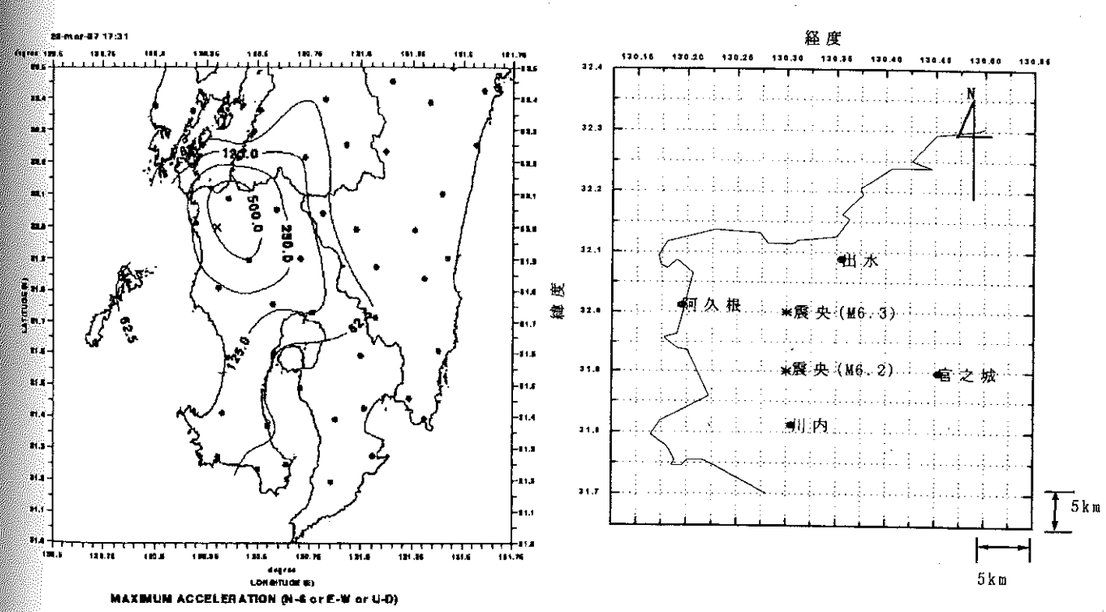


図１　３月２６日(M6.3)と５月１３日(M6.2)の地震の震央とその近傍の市町村

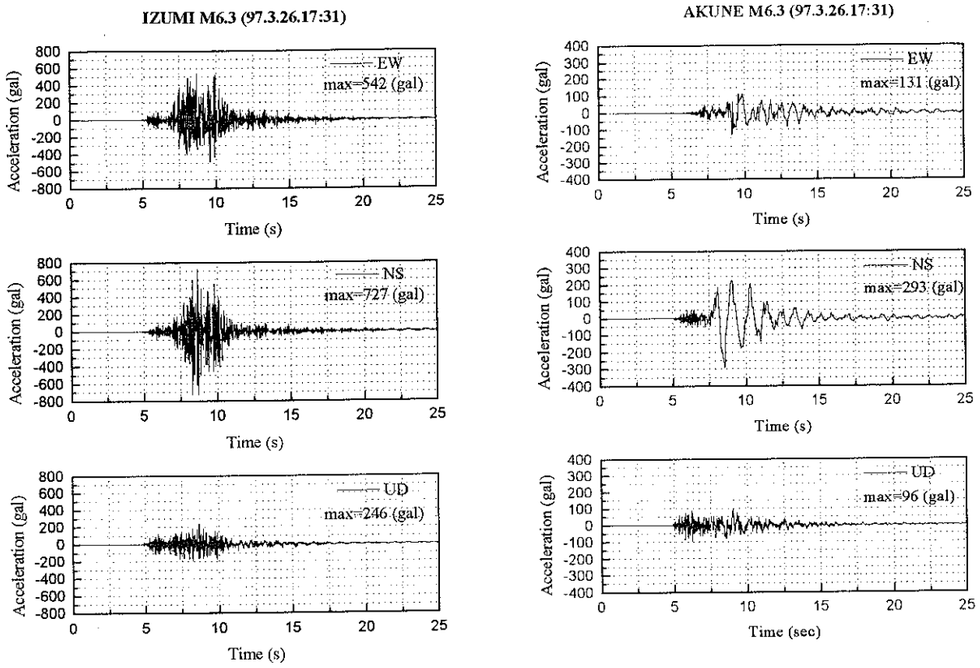


図２　　地震動の時刻歴（３月２６日）

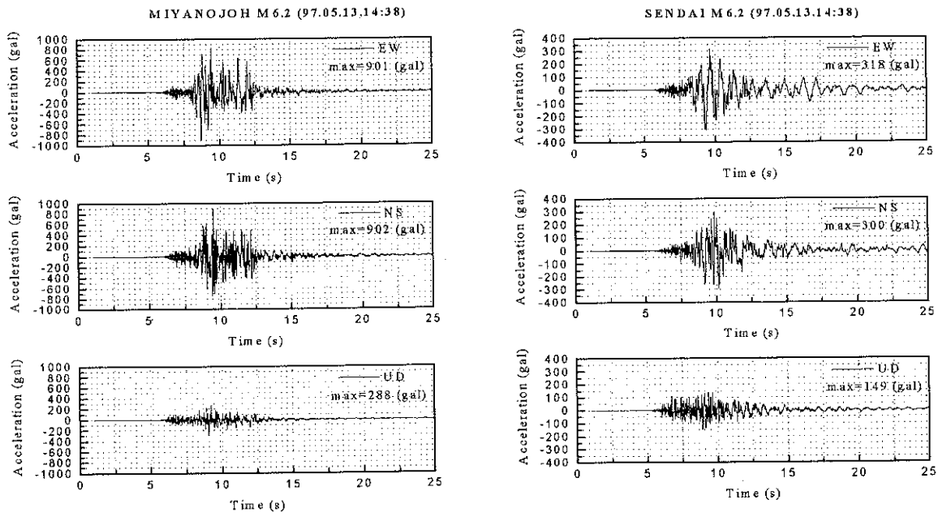


図３　地震動の時刻歴（５月１３日）

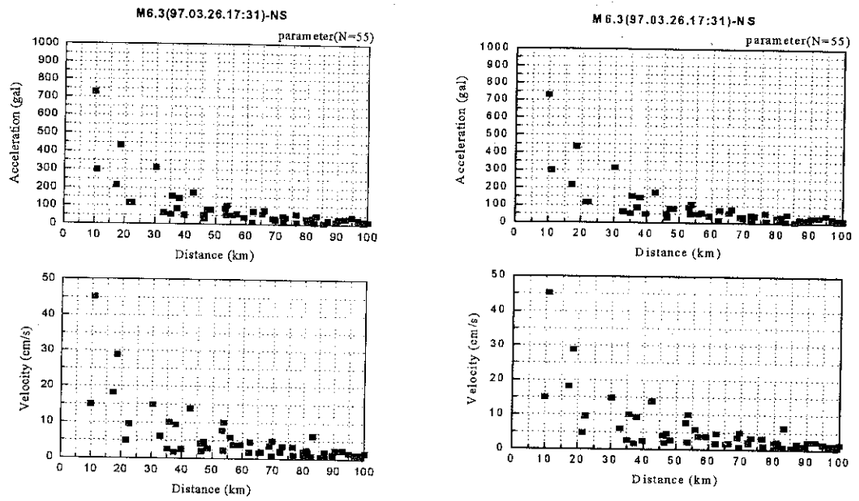


図４　地盤加速度と速度の距離減衰（３月２６日）

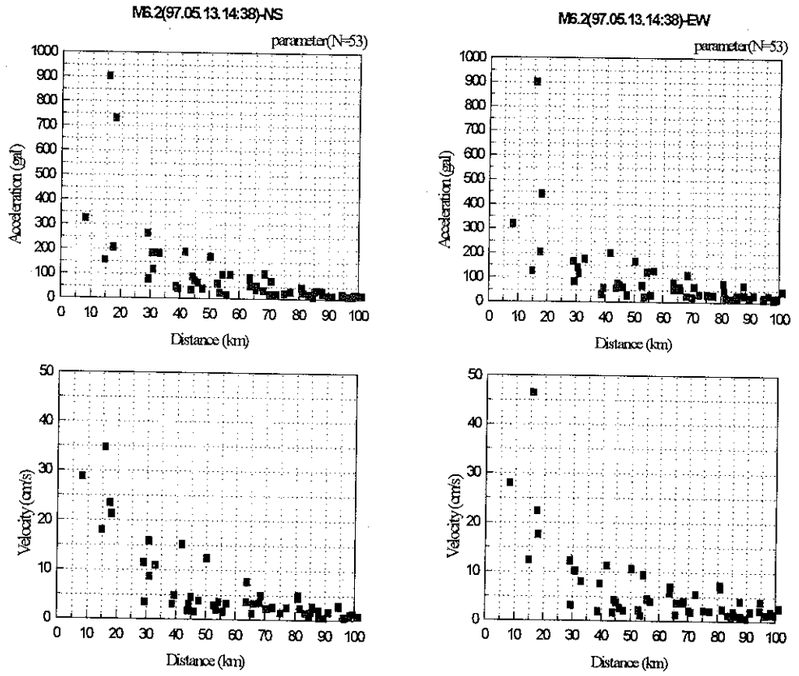


図５　　地盤加速度と速度の距離減衰（５月１３日）

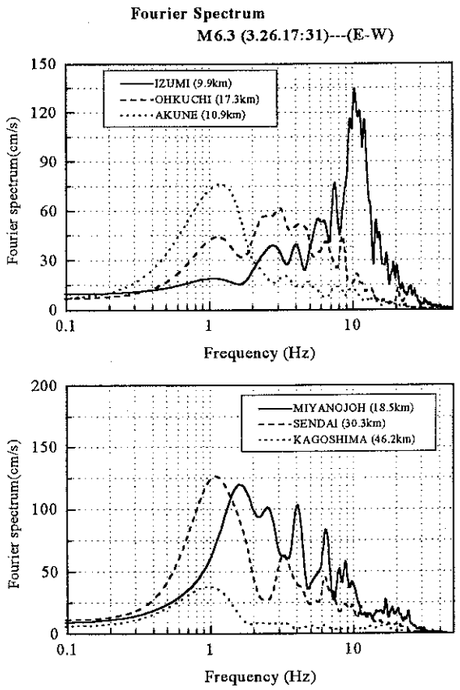


図６　地震動のフーリエスペクトル
（３月２６日）

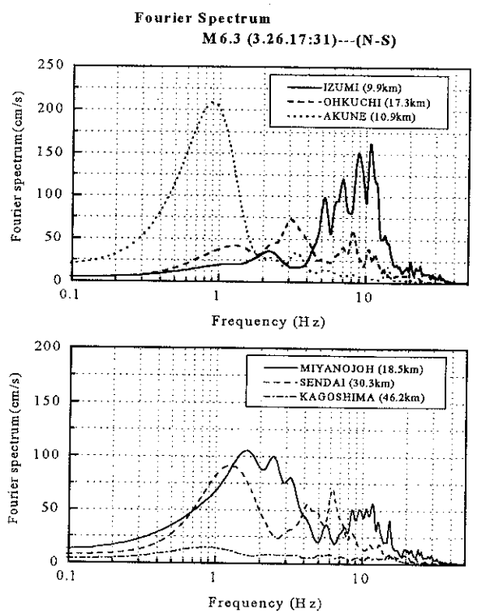


図７　地震動のフーリエスペクトル
（３月２６日）

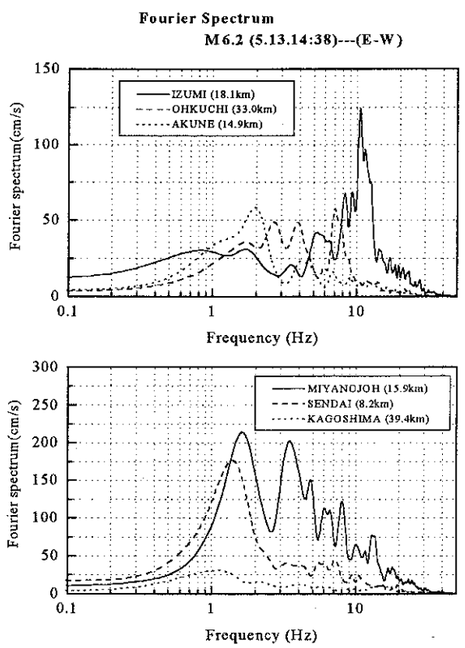


図１０　地震動のフーリエスペクトル
（５月１３日）

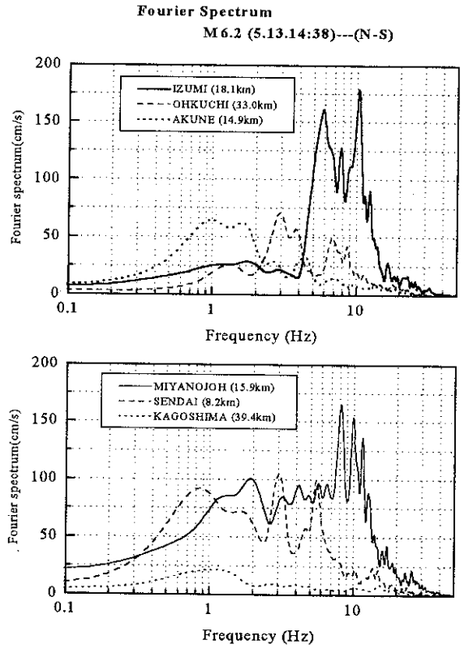


図１１　地震動のフーリエスペクトル
（５月１３日）

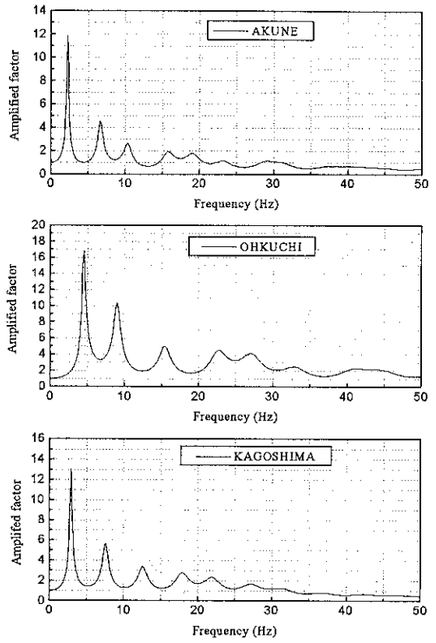


図８　地盤の振動特性

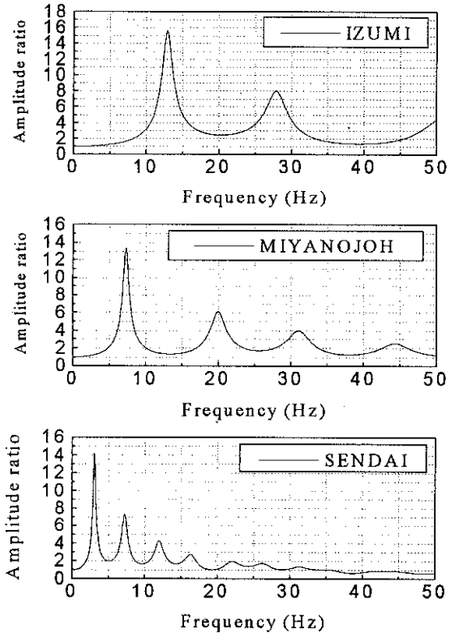


図９　地盤の振動特性

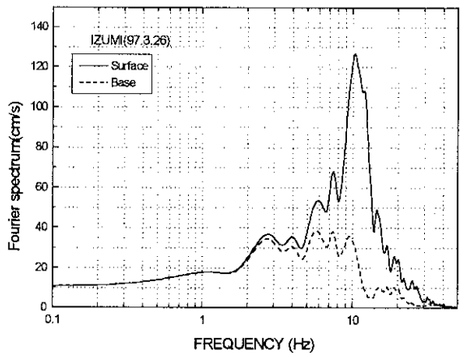


図１２　地盤の伝達特性（出水）

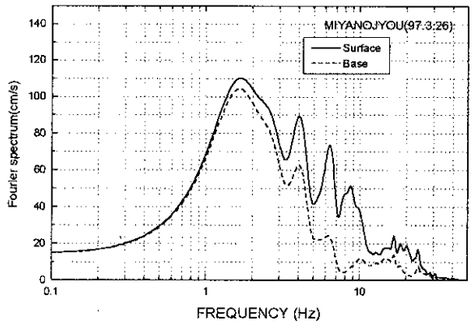


図１３　地盤の伝達特性（宮之城）

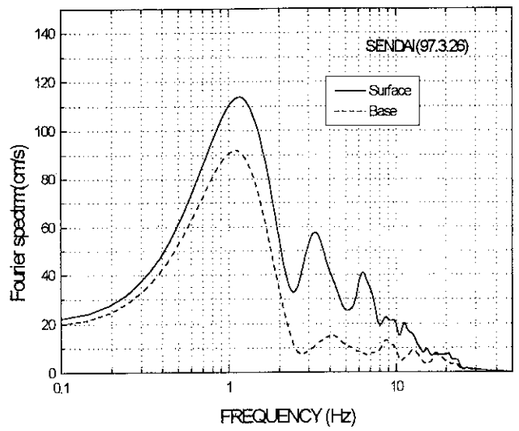


図１４　　地盤の伝達特性（川内）

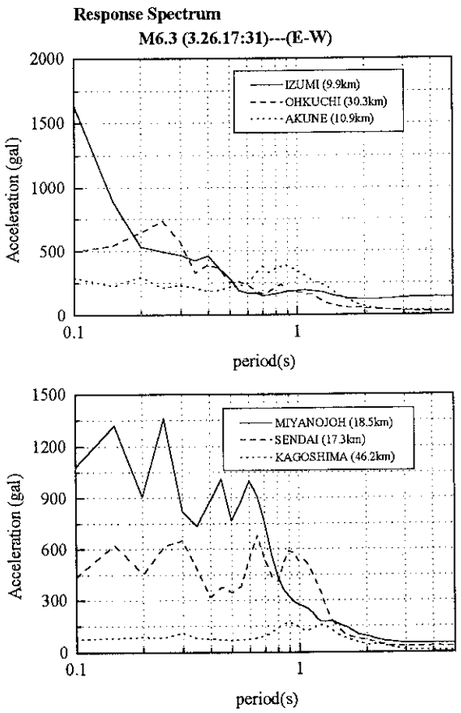


図１５　　加速度応答スペクトル
（３月２６日の地震の東西成分）

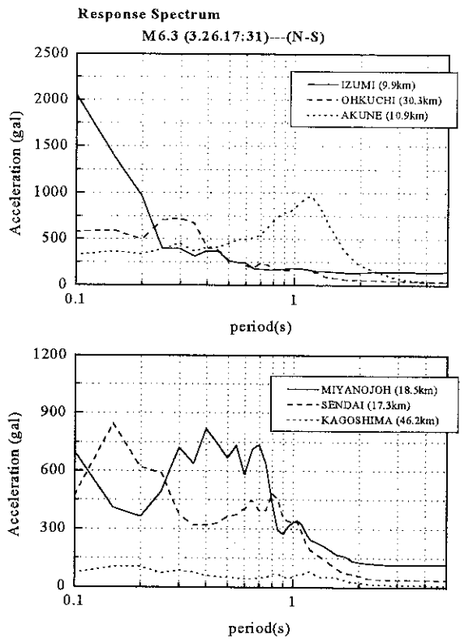


図１６　　加速度応答スペクトル
（３月２６日の地震の南北成分）

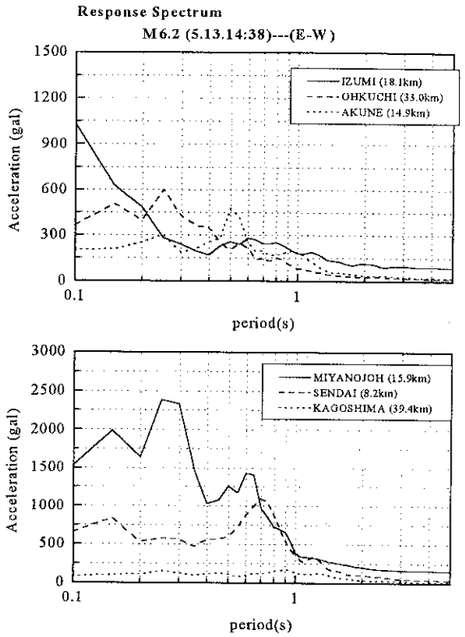


図１７　　加速度応答スペクトル
（５月１３日の地震の東西成分）

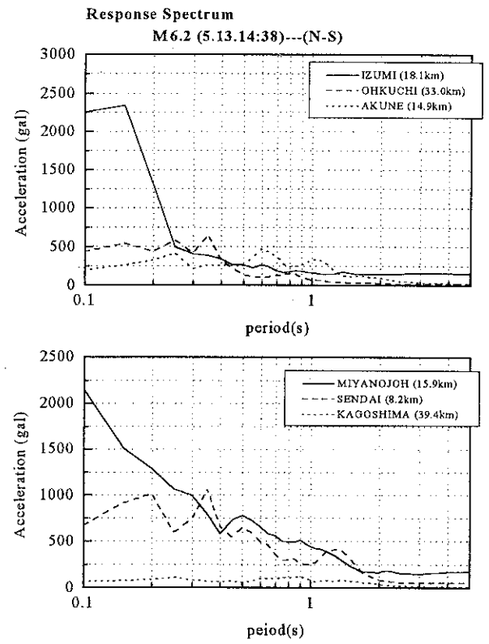


図１８　　加速度応答スペクトル
（５月１３日の地震の南北成分）

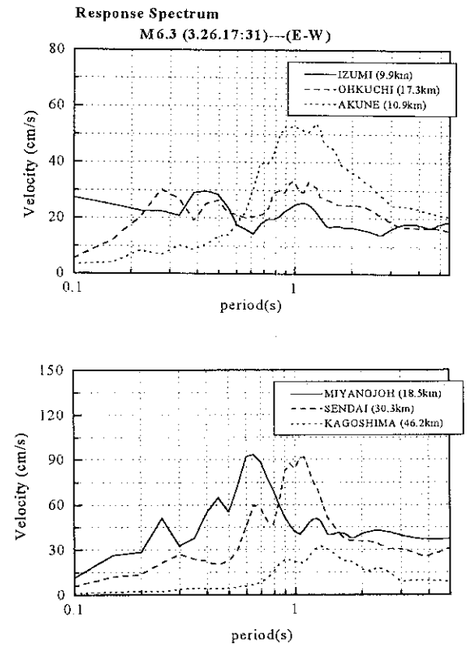


図１９　　速度応答スペクトル
（３月２６日の地震の東西成分

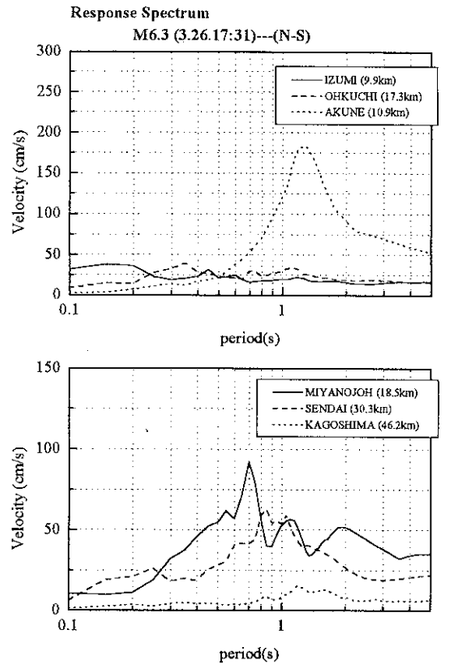


図２０　　速度応答スペクトル
（３月２６日の地震の南北成分）

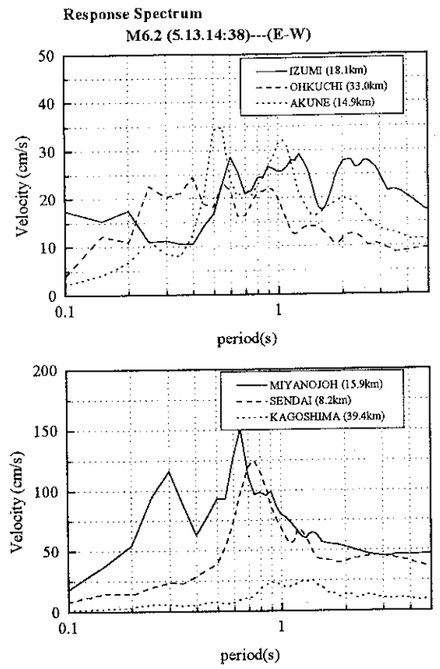


図２１　速度応答スペクトル
（５月１３日の地震の東西成分

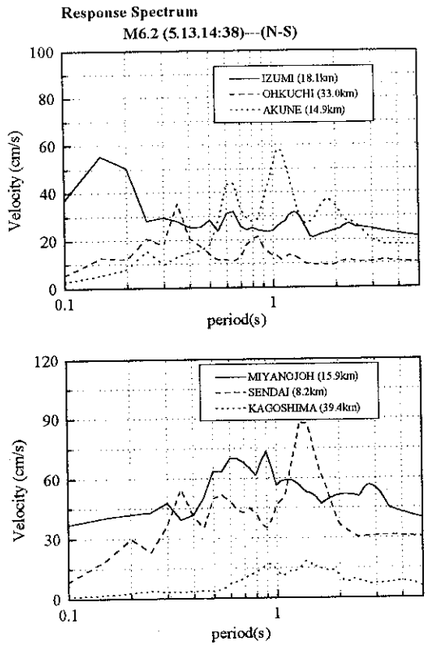


図２２　速度応答スペクトル
（５月１３日の地震の南北成分）

	出水	阿久根	宮之城	川内	大口 (gal)
3月26日	７２８	２９３	４９３	２２４	３０６
5月13日	７２８	１５６	９０２	３１８	１７６

表　３月２６日と５月１３日の地震による各地点の最大加速度

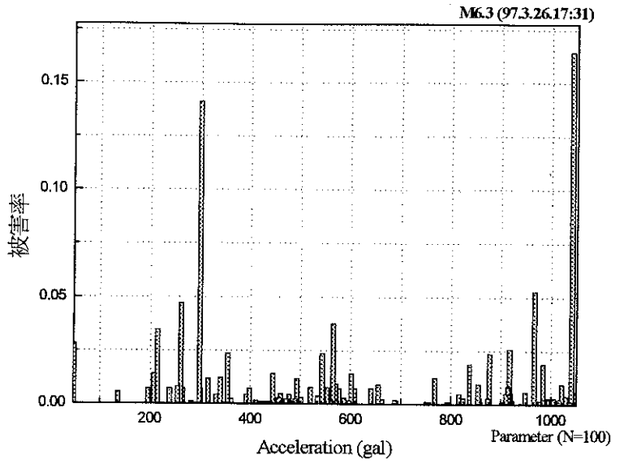


図２３　道路の被害と震央距離の関係（３月２６日）

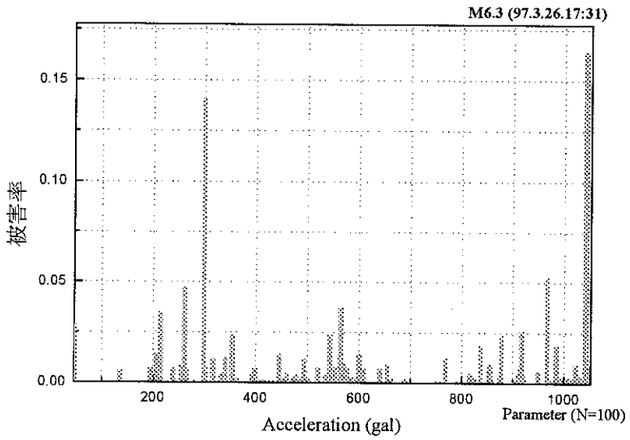


図２４　道路被害と最大加速度の関係（３月２６日）

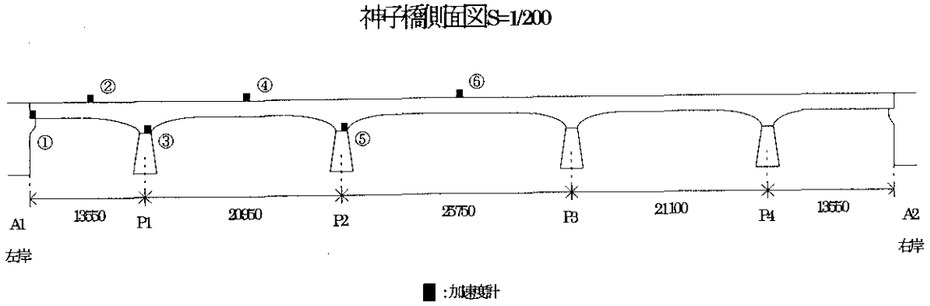


図２５　　神子橋の側面図

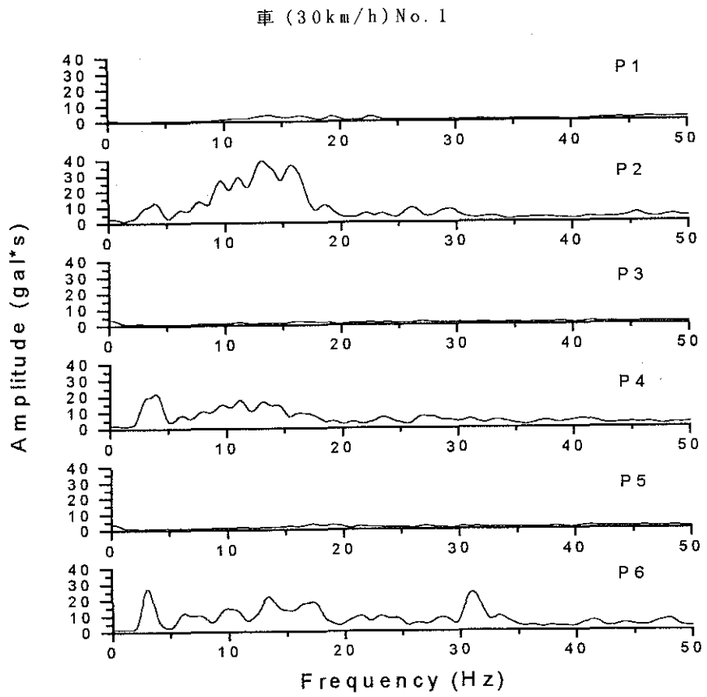


図２６　　神子橋の車両荷重による振動特性

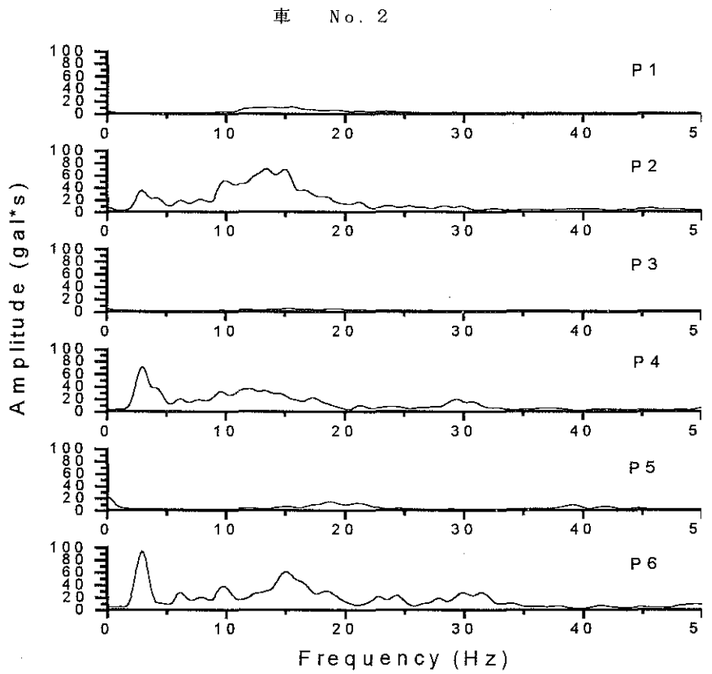


図２７　　神子橋の車両荷重による振動特性

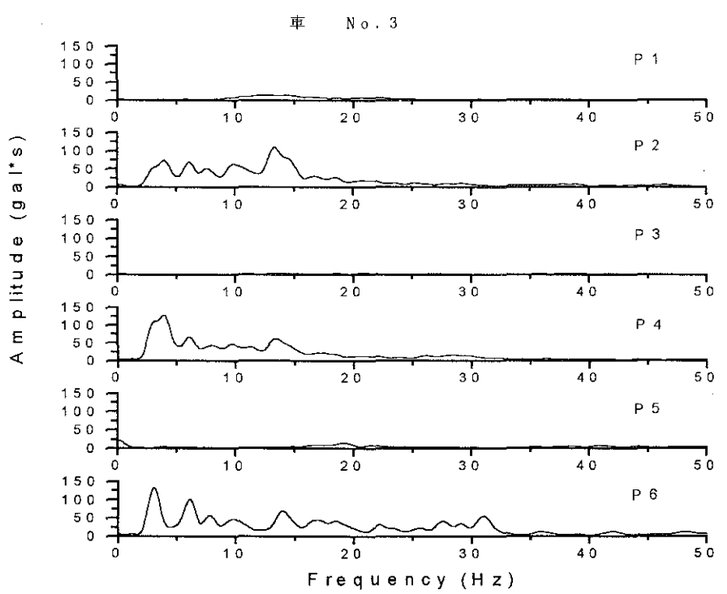


図２８　　神子橋の車両荷重による振動特性

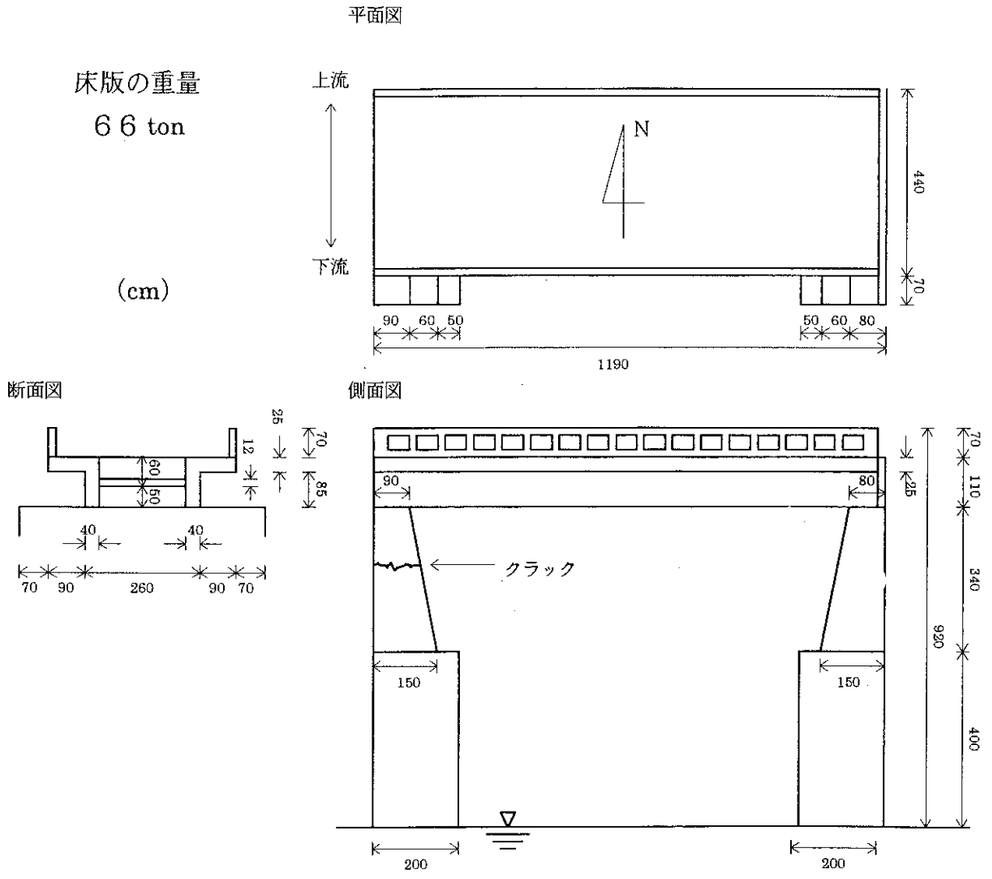
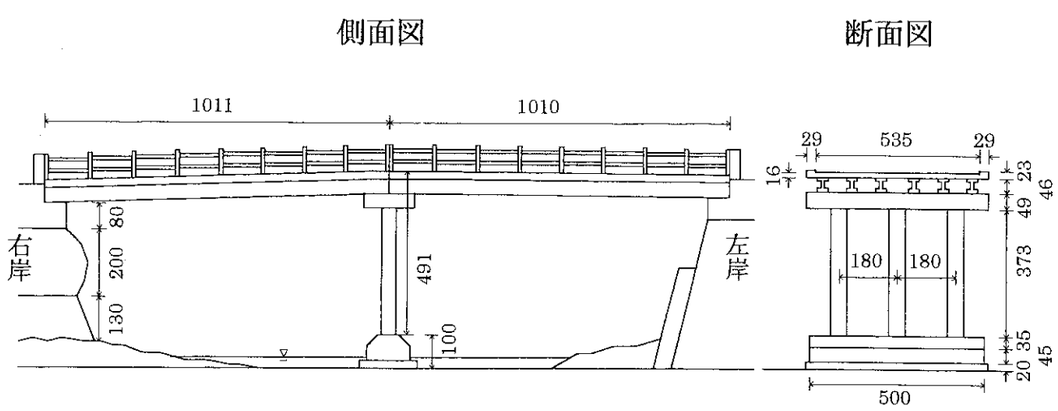


図２９　市野橋



床板の重量　約３０ｔ，縮尺　約1/180，単位　cm

図３０　天神橋

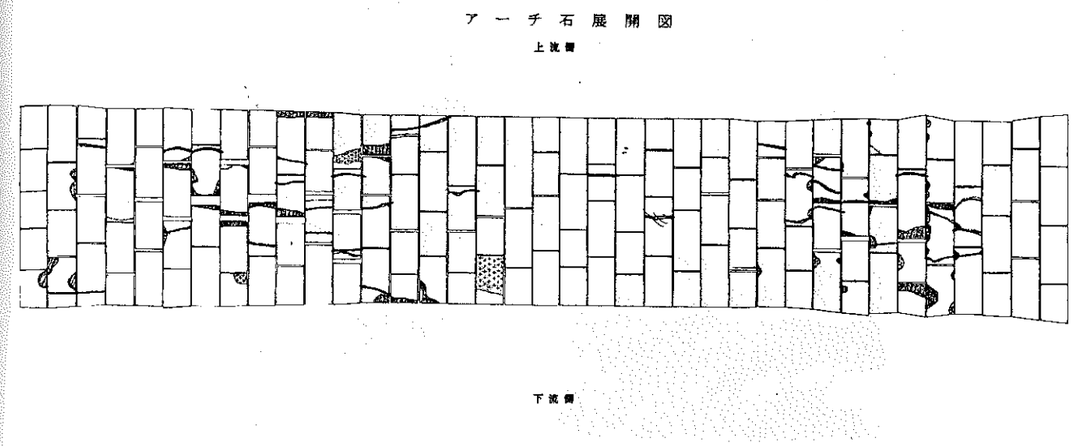


図３１　大薄橋アーチリング腹面の損傷

大薄橋左岸護岸石（上流側）崩壊状況

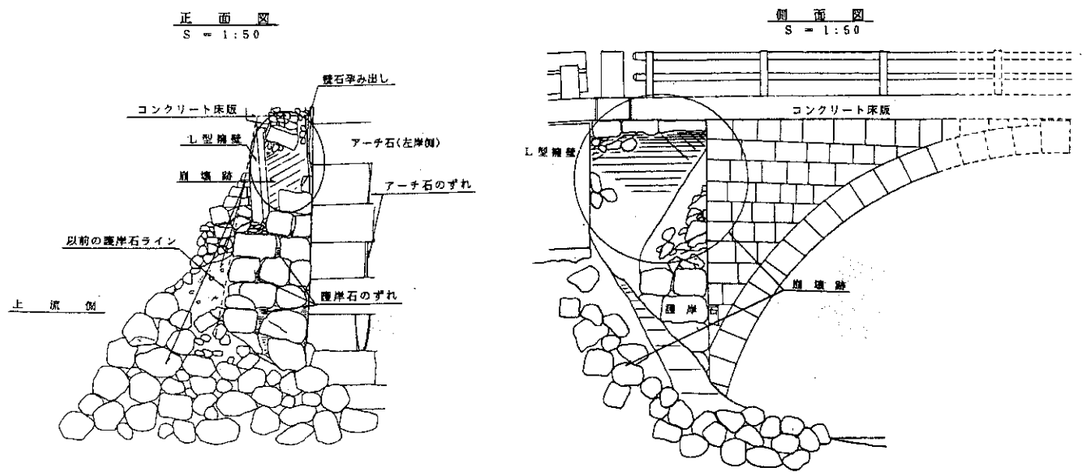


図３２　大薄橋左岸護岸部

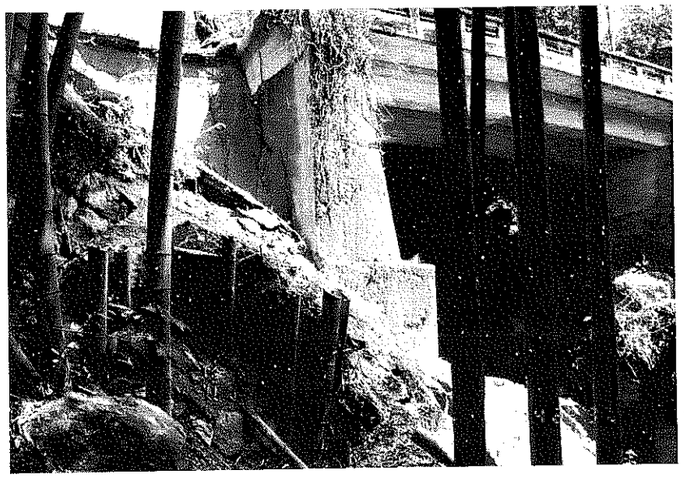


写真１　３月の地震後の市野橋　右岸下流側橋台

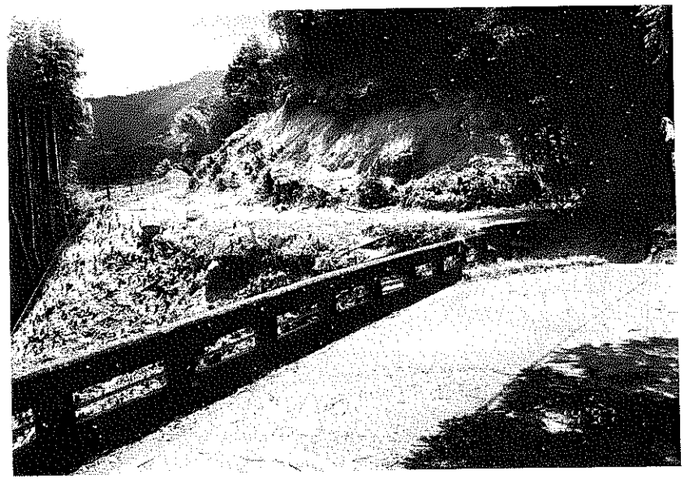


写真２　３月の地震後の右岸取り付け道路

写真３　天神橋　橋脚と右岸橋台

写真４　大薄橋　アーチリング腹面と左岸護岸部の破損状況

学校建築の被害と特徴

鹿児島大学 工学部建築学科　皆川 洋一

1. 文教施設

文教施設、または学校建築は教室棟、実習棟（実験施設）、および屋内運動場（屋内体育館）等から構成される。鹿児島県の文教施設は鉄筋コンクリート造（RC造）の建物が主であり、鉄骨造（S造）は小規模の建物に利用されている。屋内運動場は鉄筋コンクリート造の躯体を有し、屋根は鉄骨造という構造形式が一般に用いられている。

教室棟は通常長辺方向に教室が並ぶ平面を有する。教室と教室の間には間仕切りの壁が入るので、地震に起因する水平力を短辺方向に受けたときは、この壁が水平力を負担するので壊れにくい。一方、採光に有効な窓の面積が教室の面積の1/5以上確保されなければならないという法令（建築基準法施行令第19条）が存在するので、長辺方向はガラス窓が連続的に配置される構造となる傾向を有する。また、垂れ壁、腰壁等の雑壁、階段室の踊り場の床に付いた梁が柱を長辺方向の外力に対して短柱化する。このような教室棟は長辺方向に地震による水平力を受けると壊れ易い。鉄筋コンクリート造校舎の持つこのような特徴は十勝沖地震（1968年）の被害を分析する中で認識された。

十勝沖地震の被害の教訓は鉄筋コンクリート造柱の剪断破壊を防止するための帯筋やあばら筋の規定、および建物全体のバランスを考えた構造（偏心率や剛性率の検討）を義務づけ、新耐震設計法（1981年）を生み出す主要な動機となった。

今回地震が発生した地域には新耐震設計法が施行される前の旧耐震設計法に基づいて建設され、利用されて来た文教施設が存在した。新耐震設計法に基づいて設計・施工された建物も存在した。

2. 地震と被害

建築物に被害を与えたと判断される主な地震は3つある。1997年3月26日17：31に発生したM=6.3の地震（1997/3/26 17:32, M=6.3, 31.97° N, 130.37° E）を本震1と表現し、この地震の余震のひとつ（1997/4/3 4：33, M=5.5, 31.97° N, 130.34° E）を余震1、および5月13日に生起した第2番目の本震（1997/5/13 14：38, M=6.2, 31.94° N, 130.33° E）を本震2と表す。本震1の揺れは宮之城町で三成分加速度544galを示し震度6弱と判定されている。余震1による揺れは川内市で三成分加速度188gal、震度5強を示した。本震2による揺れは宮之城町で三成分加速度977gal、震度6弱を記録した。

被害を受けた建物が多い地区は川内川等の川の沖積平野や平地が狭いために切り土や盛り土して造成された小高い丘の上の中腹に位置している。地震による地表面の振動の振幅もこれら地形に依存するし、盛り土した造成地は空洞ができていたり、滑り易い等地盤の安定性の問題も含んでいることが多い。本震1や余震1の後、損傷の大きな柱等に次の応急補強が施された。損傷した柱に作用する軸力を軽減させるために、この柱に接合する梁に設けられた鉛直方向のサポート、および水平耐力を増大させるために設置された鉄骨ブレースである。

これらの要因に依存し、構造種別、および設計の相違に応じた特有な地震被害が文教施設に発生した。

3. 代表的な建物被害

代表的な建物の被害の概要をこれらの要因と共に報告する。

3.1 宮之城町立平川小学校

敷地（31.93° N、130.42° E）は沖積平野と標高差約30mの崖の中腹（標高100m）にある。地震の被害を受けた建物は2棟、鉄筋コンクリート造2階建て一般教室棟（1963.3設計、床面積851m²）と屋内運動場（1983年竣工、床面積580m²）である。両者の間に管理教室棟が配置されている。この建物に顕著な被害は見出せなかった。盛り土の校庭に建つ屋内運動場を写真1に示す。本震1、および本震2の

震央からの距離はそれぞれ5.9km、および8.7kmである。

一般教室棟は短辺方向1スパン2本柱形式、および直接基礎を有し、管理教室棟との渡り廊下で80mm程度の沈下を起こしている（写真2）。建物に2箇所の出入り口があり、建物の南、および北の両方向に出られる構造となっている。本震1により出入り口の短柱（h0/D=2.0）*脚注に剪断亀裂が入った。本震2を受けて、剪断亀裂は拡大した。これらの写真を示す。北側構面の東の出入り口の西側の短柱（h0/D=2.8）を写真3、この柱に西側に隣接する短柱（h0/D=4.0）を写真4、さらに2スパン西側の柱を（h0/D=4.0）を写真5に示す。南側構面の東側の出入口の柱（h0/D=3.3）を写真6に示す。柱の帯筋は9mmの丸鋼が250mm間隔に配置された9ϕ-@250の配筋である。

屋内運動場は躯体（柱および梁）は鉄筋コンクリート造であり、H型鋼のアーチのリブを有する建物である。盛り土の上に建設されている。建物と管理棟との間で200mmに達する地盤沈下が見られる（写真7）。また、この屋内運動場に隣接して建設されている高さ3m程度の擁壁の数カ所に縦亀裂が入っている。校庭全体が沈下、あるいは地滑りを起こしている可能性もある。この建物の木造床は中央部で約200mmの沈下を起こしている。屋内運動場自体は杭基礎を有するようで、不等沈下は大きくないようだ。

3.2　宮之城町立盈進小学校

敷地（31.92° N、130.45° E）は川内川の沖積平野、標高25mの平坦地に位置する。地震の被害を受けた建物は鉄筋コンクリート造3階の教室棟2棟、北棟（1958.7竣工、床面積2141m²）は長辺方向に16スパン、南棟（西側1959.7、中央1960.3竣工、床面積3613m²）は長辺方向に26スパンを持つ。両棟とも短辺方向2スパン3本の柱を有する建物であり、西側端部の洗面所に短柱（h0/D=1.6）が設置されている。南棟北側の東端部に3階までの連続壁が1スパンに設置されていた（写真8）。本震1、および本震2の震央からの水平距離はそれぞれ9.5km、および12.1kmである。

本震1、および余震1を受けて、短柱（h0/D=1.6）に剪断亀裂が入った。本震2を受けて、短柱は剪断破壊した（写真9）。北、および南棟の北面のほぼすべての柱（h0/D=2.9）に剪断亀裂、あるいは曲げ亀裂が入った（写真10、11）。南面の柱（h0/D=5.3）に曲げ亀裂が入った（写真12）。連続壁を有する南棟の北面の柱（h0/D=2.9）は曲げ亀裂が多く、北棟のそれは剪断亀裂が多い。

3.3　鶴田町立鶴田小学校

小さな谷から約100m離れ、約10数m高い丘の端部に建つ。敷地は（31.95° N、130.49° E）に位置し、本震1、および本震2の震央からの水平距離は11.5km、および15.8kmと算定される。

特別教室棟RC造2階（1965年竣工、床面積563m²）の1階のほぼすべての柱は本震1によって曲げ剪断破壊、および剪断破壊した。南面の開口の高さは2300mmであり、柱（h0/D=5.3、帯筋9ϕ-@300）は曲げ破壊を起こした。北面東側に昇降口があり、柱の両側の開口の位置が上下方向に移動して、結果として短柱化した柱があり、この柱は剪断破壊した。北面の開口高さは1300mmであり、柱（h0/D=3.0、帯筋9ϕ-@300）は剪断破壊した（写真13）。この建物は本震2の発生前に取り壊された。

管理教室棟RC造2階（1963年竣工、床面積1655m²）は片廊下型の平面を持ち、短辺方向の柱は教室の両側にあり、廊下北側には水飲み場と掃除道具入れを構成する雑壁がある。東側に1階建ての壁の多い洗面所が位置している。本震1を受けて、南側の両袖壁付き柱（h0/D=1.14）や片方に腰壁および片袖壁付き柱（h0/D=1.94）に剪断亀裂が発生した。上記した雑壁がコアとして作用し、大きな被害を防止した。この教室棟は本震2の後も被害が拡大したようには見えなかった。

袖壁、コアとして作用した雑壁、および1階東側端部にあるトイレの壁が地震時の水平力を負担し、大きな被害を防止したようだ。

3.4　宮之城高等学校

*脚注　h0/Dは柱の内法h0と柱の幅との比である。柱に斜めの亀裂（剪断亀裂）が入り易いか否かの指標のひとつ。

周辺から16m程度高い標高50mの丘の上に建つ。敷地は（31.90° N、130.45° E）に位置する。鉄筋コンクリート造3階の教室棟が2棟有り、南側から管理教室棟（1）（1963.7竣工、床面積2154m²）、および特別教室棟（2）（1964.3竣工、床面積2196m²）である。平行に配置されたこれら2棟を結ぶ鉄筋コンクリート造2階の渡り廊下棟（床面積169m²）がある。この渡り廊下は特別教室棟（2）の南面の東端部において、この教室棟と一体に造られている（写真14）。渡り廊下の中央部西側に壁の多い鉄筋コンクリート造3階の棟が一体の建物として建設されている。また、鉄筋コンクリート造の躯体と鉄骨造の屋根を有する屋内運動場（1965.3）がある。本震1、および本震2の震央からの水平距離はそれぞれ10.7km、および12.6kmである。

管理教室棟（1）は1階の北側東部に6スパン（長辺方向長さ18.3m）の鉄筋コンクリート造の低層部、および北側中央部から5スパン（長辺方向長さ15.3m）の鉄筋コンクリート造の階段室が一体の建物として建設されている。

本震1の揺れによって、低層部や階段室周りの1階の壁や柱に比較的大きな剪断亀裂が入った。1階の他の柱の曲げ剪断亀裂も肉眼で確認できた。本震2は1階のほぼすべての柱に比較的大きな曲げ剪断亀裂を発生させた（写真15）。水平力が集中する壁が取り付く柱の剪断破壊によって主筋が露出した。2階の梁の剪断亀裂も肉眼で確認できた。

特別教室棟（2）は北側中央部に5スパン（長辺方向長さ15.3m）の鉄筋コンクリート造の階段室および洗面所が一体の建物として建設されている。長辺方向は1階が24スパン、2階は22スパン、3階は18スパンと西側がセットバックした建物である。南面の東側に渡り廊下が一体構造として配置されている。渡り廊下は幅1スパン、長さ6スパンである。この渡り廊下の中央部に壁体を有するコアとして作用する建物が存在する。また、南側の1階中央部に壁体が1スパン設置されている。この壁体の一方の柱頭に近い位置に一辺が450mm程度の換気口があった。

本震1を受けて、南側の1階中央部の壁体、および柱が剪断破壊し、剪断亀裂は壁体に斜めに大きな亀裂を発生させ、他方の柱を貫き、腰壁上端まで達した。この壁体の両側の柱頭に接続する短辺方向の梁下に本震1の後、鉛直方向のサポートが応急処置として配置された、本震2によって、1階のほぼすべての柱（h0/D=4.3程度）が曲げ剪断破壊し（写真16、17、18、19、20）、北側2階の床が25cm程度沈下（落階）した（写真21）。北側1階東端部に耐震壁（配筋9ϕ-@200、厚さ250mm）があり、剪断破壊した（写真22）。一方、渡り廊下は水平はりとして特別教室の長辺方向の揺れに抵抗した。コアとして作用した中央部との接続線に大きな曲げ亀裂が生じていた。渡り廊下が剪断破壊しなかったことが、南面の構面が落階しなかったひとつの要因となっているようだ。

二段窓の横木（段窓無目）は柱に剪断破壊を起こさせる要因となることが写真16、17等から観察できる。また、本震1の揺れによって、管理教室棟と渡り廊下棟のエキスパンション・ジョイントが衝突し、コンクリートの剥落が起きた（写真23）。

屋内運動場において、屋根の鉄骨ラチストラスと鉄筋コンクリート造柱の接合部のコンクリートの剥落が生じた。この屋内運動場（写真24）は1階ばかりでなく2階の長辺方向にも壁体を有する構面がある。これらの壁体が水平力を伝達し、躯体の被害はほとんど観察されない。

3.5　宮之城農業高等学校

この高等学校の敷地（31.91° N、130.48° E）は標高50mであり、周辺のそれと比較して16m程高い丘の上にある。本震1、および本震2の震央からの距離はそれぞれ11km、および15kmと算定される。大きな地震被害を受けた建物は3棟ある。鉄筋コンクリート造3階管理棟（1）（1968.8竣工、床面積1960m²）、鉄筋コンクリート造3階特別教室棟（2）（1968.8竣工、床面積2135m²）、および鉄筋コンクリート造2階に鉄骨造屋根を持つ屋内運動場（1970.3竣工、床面積1113m²）である。本震1、および本震2の震央からの水平距離はそれぞれ12.2km、および14.9kmである。

管理棟（1）は南面西側の洗面所に開口のある耐震壁がある（開口はほぼ中央部にあり開口比0.31）。本震1により、この開口周りに剪断亀裂が入り、両側の柱にも剪断破壊が生じた（写真25）。この面の

中央より東の数本の柱に顕著な剪断亀裂が入った。

本震2が発生したとき、この建物に鉄骨造の矩形の枠にX字型のブレース工事が進行中であった。柱に枠を構成するH型鋼を上下3本の直径18mmのボルトで接合したあと、H型鋼のブレースを取り付ける補強工事である。8カ所で進行中であった。ほぼこの工事が完了していたブレースは北面の4カ所であったものと思われる。

本震2によって、両方の妻の耐震壁に取り付く柱は軽微な被害であったものの、この建物の1階のほぼすべての柱は剪断破壊した（写真26、27、28）。ブレースの補強工事が完了していた部分はブレースが水平力を負担し、効果が有った事が伺われる。しかしながら、柱に鉄骨造の枠を固定していたボルトが剪断力で切断し（写真29）、ブレースの耐力を十分生かす効果は発揮されなかった。枠の固定が終了し、ブレースのボルト接合が未完了のものも、枠の柱を構成するH型鋼が柱の剪断破壊に抵抗した事が伺えた。

特別教室棟（2）は鉄筋コンクリート造3階であり、1階東側は6スパン長辺方向に長い形状をとっている（写真30）。本震1で西側の開口を有する壁に亀裂が入った（写真31：本震2後に撮影）。また、北面の数本の柱に比較的大きな剪断亀裂が入った。本震1の後、北面の剪断亀裂が入った4箇所に上記管理棟と同様のブレースが取り付けられていた。これらは工事が完了していたものと思われる。

本震2を受けて、曲げや剪断亀裂の数、および幅が増大した。ブレースの柱へのアンカーボルトが柱頭で、あるいは柱脚部で3本とも切断した（写真32）。応急補強のブレースの一部は破壊したにもかかわらず、ブレースは有効に作用したものと判断できる。ブレースが配置された位置の近くにある2階の柱に剪断亀裂が1階より多く入っているからだ。しかしながら、この建物は上記の形状から1階の柱の数が12本、2および3階の柱より多いことも、1階の柱の損傷を軽微にする効果を持ったようである。

屋内運動場は2階の長辺方向にギャラリーを有し、この部分のみが2階の建物である。長辺方向の1階は9スパン、2階は8スパンである。1スパン大きくなった部分に出入口がある。1階は耐震壁の他、袖壁を有する柱が配置されている。短辺方向は西側（舞台側）は妻壁、東側は入り口周りに壁を有する（写真33）。2階は長辺方向に水平力を負担する有効な壁体を持たない鉄筋コンクリート造ラーメン構造（柱の寸法350×700mm、帯筋9ϕ@250）で構成されている。南面、および北面の外壁は柱の端部から30cm離れた外側にある。この側面の両側に60-100cmの外壁が設置されている。屋根は正三角形状に鋼管（ϕ114×4.5）を配置したラチス円筒シェルである。一方向は短辺方向のリブと平行に配置されている。この屋根は鉄筋コンクリート造のリブ、および梁にアンカーされている。このラチス円筒シェルの両側、長辺方向に幅650mmの鉄筋コンクリート造ドレインがある。このドレインの外側と長辺方向の外壁が2階の窓の枠組みを構成している。

本震1によって、2階長辺方向の両側の外壁が剪断破壊し、2階の柱に曲げ剪断亀裂が入った。妻壁の上にあるリブと鋼管屋根のアンカーが損傷し、コンクリートが剥落した。コンクリートが剥落した位置に、リブの主筋やあばら筋は見えない（写真34）。また、リブのアンカーが外れた位置から長辺方向のフレームに斜めに配置された鋼管と鉄筋コンクリート造の梁の接合部において、コンクリートが剥落した。本震2によって、2階の柱の損傷は激しく、妻壁側の柱は剪断破壊し（写真35-1）、桁行き側の柱に曲げ亀裂が入った（写真35-2）。床の沈下が顕著となり、舞台のもとで約40mm沈下した（写真36）。

鉄筋コンクリート造躯体と鉄骨造屋根は同様の構造を有する宮之城高等学校の屋内運動場（写真24）とこの宮之城農業高等学校のそれ（写真33）を比較すると、地震被害を受けない条件が理解されよう。この高等学校に鉄骨造1階の武道場があり、ブレースとガセットプレートを接合していたボルトの破断（写真37）、およびブレースと羽子板の溶接切れの被害が見られた。

3.6 川内商工高等学校

この高等学校は（31.81° N、130.31° E）に位置し、標高29.3m、周囲より9m程高い丘にある。この鉄筋コンクリート造1階の機械実習棟（1971.3竣工、床面積846m2）の地震被害について報告する。この

実習棟はふたつの小さな丘の間の谷を盛り土した場所に建設されている。ほぼ6×3スパンの平面を有する。柱の寸法は450mmの矩形であり、帯筋は9ϕ@250、階高は4700-5000mm、一部コンクリート・ブッロク造の壁体が利用されている。本震1、および本震2からの震央からの水平距離はそれぞれ19.0km、および14.6kmである。

本震1の後、この建物は目立った被害は報告されなかった。しかしながら、余震1の後、柱が3箇所剪断破壊した。この建物に30本ある柱のうち破壊した3本が短柱（h0/D=2.22のもの2本、およびh0/D=1.5）であった。

本震1によってコンクリート・ブッロク造の壁体の目地が破壊したものの、柱の剪断亀裂は確認できなかった。この壁体は余震1によって生じた水平力を伝達出来なかったので、短柱に剪断力の形で伝達された。このため、3本の短柱に剪断破壊が生じた（写真38、39、40）。本震2の水平力を受けて、短柱の剪断破壊は主筋が露出した（写真41、42、43：写真はそれぞれ写真38、39、40に対応）。コンクリート・ブロック壁の目地の破壊を写真44に示す。腰壁、たれ壁を有する建物の外周りの柱（h0/D=4.5-6.7）に曲げ亀裂が数多く入った（写真45）。建物内部の柱は腰壁や垂れ壁を有しないのでh0/Dは9.4程度であり、曲げ亀裂は観察されるものの、剪断亀裂は発生していないようである。袖壁（幅180cm、厚さ13cm）を有する柱があり、壁は剪断亀裂が入ったものの、柱には進展していない（写真46）。

3.7 川内高等学校

この高等学校は（31.83° N、130.28° E）に位置し、標高10mの場所にある。地震の被害を受けた主な建物は鉄筋コンクリート造4階の特別教室棟（1971.4竣工、床面積1611m²）である。この特別教室棟は鉄筋コンクリート造4階の普通教室棟約3100m²とエキスパンション・ジョイントを介して一列に並んで増築されている（写真47）。このジョイントに発砲スチロール（1階では4cmの厚さ（写真48）、最上階はこの2倍程度の厚さか）を介してコンクリートが打設されている。本震1、および本震2からの震央からの水平距離はそれぞれ18.2km、および13.2kmである。

本震1の後の被害は報告されなかった。本震2の後、特別教室棟のほぼすべての柱に比較的大きな一方向の剪断亀裂が発生した（写真49、50）。これは地震時に特別教室棟と普通教室棟がエキスパンション・ジョイント部分において衝突し、重量が小さく水平耐力も小さい特別教室に大きな水平力が伝達されて、剪断亀裂が発生したことを如実に現わしている。また、高さ6cm、幅15cm程度の二段窓の中敷居（段窓無目（ダンソウムメ））が柱を短柱化する作用が有ることが観察される。

4 建物被害

文教施設の地震被害で観察された損傷や破壊の主なものを示す。

1 構造物の種類に関係しない主な被害

① 地盤沈下に起因する被害。1階床の沈下等。

② エキスパンション・ジョイントにおける建物間の衝突による被害。

2 鉄筋コンクリート造建物

③ 柱や梁の剪断破壊

④ 短柱にX字型に亀裂が入る剪断破壊。柱の寸法によっては、二段のサッシュ窓間の横木（段窓無目）が柱を短柱化する効果を示す。

⑤ 柱の曲げ破壊

⑥ 壁体の剪断破壊

3 鉄骨造建物

⑦ 溶接不良に起因する破断。

⑧ ブレース、ターンバックル、およびブレース接合のボルトの破断・破壊。

⑨ 鉄骨造と鉄筋コンクリート造との接合部の被害。アンカーボルトの破断、コンクリート部分の破壊・剥落等。

4.1 構造物の種類に関係しない主な被害の説明

① 地盤沈下に起因する被害。1階床の沈下等。

支持杭の基礎を有する建物は表層の地盤が沈下しても、建物自体は沈下しない。しかしながら、多くの1階の床は直接地面からの反力を期待した構造を有している。鉄筋コンクリート造の土間コンクリートや束を用いて支えられた木造床である。平川小学校や宮之城農業高等学校等の屋内運動場の床が沈下した被害、および床が浮いてしまう被害が東郷町立東郷中学校の教室棟に見られた。

② エキスパンション・ジョイントにおける建物間の衝突による被害。

川内高等学校の特別教室は大規模な建物がこれによって破壊した代表例であろう。宮之城高等学校、川内高等学校、および川内商工高等学校において鉄筋コンクリート造2階建ての渡り廊下が衝突して、コンクリートの剥落や柱に剪断亀裂が生じた。このジョイントの空き間隔、充填材が適切ではなかったようだ。このジョイントの構造に工夫の余地がある。

4.2 鉄筋コンクリート造建物

③ 柱や梁の剪断破壊

帯筋比（9φ@250 ような帯筋）の小さな柱は h0/D が4程度でも剪断破壊すると指摘されている。この値より小さな柱は水平力に起因する大きな剪断力を受けて、斜めに亀裂が入り、耐力を失ったことが、先述したような大きな地震被害につながった。

特に建物の出入り口の両側の柱に短柱が形成されやすく、これが剪断破壊した例が平川小学校の教室棟、川内商工の実習棟等に見られた。柱の h0/D が5以下の柱に剪断破壊や、剪断亀裂が発生しているようだ。

④ 短柱にX字型に亀裂が入る剪断破壊。柱の寸法によっては、2段のサッシュ窓間の横木（段窓無目）が柱を短柱化する効果を持つ。柱の h0/D ばかりでなくこの横木も剪断破壊の大きな要因となる

⑤ 柱の曲げ破壊

柱の h0/D が5以上の柱（帯筋は9φ@250程度）は曲げ破壊を起こしているようだ。

⑥ 壁体の剪断破壊

壁体が剪断破壊を起こすことは当然であるものの、耐震壁や雑壁の破壊は次の2点を教えてくれる。

1) 壁体は剛性が高く応力が集中する。柱を短柱化する腰壁、たれ壁、および袖壁の配置や配筋に配慮が必要である。

2) 壁体は剪断破壊しても急激に耐力が低下しないように鉄筋の耐力に期待する設計が重大な被害を防止する上で肝要である。

4.3 鉄骨造建物

鉄骨造の施工上の瑕疵として、目立ちやすい被害として、⑦や⑧の被害がある。⑨の一部も同様である。鉄骨造建物は耐力の正確な算定が行い易いものの、余力が少ない構造である。地震時の応力が耐震設計法で規定した値より3-4倍大きいことが振動解析から明らかになっている。⑧や⑨の被害の要因のひとつとなっていると考えられる。

4.4 その他

天井の一部や広告等の落下等、構造体の被害ではなくても、地震時に人的な被害を起こす要因は多い。

5 まとめ

1923年に発生した関東大震災以来、地震に耐えられる建築を目指す耐震設計法が採用され、大きな地震被害が発生する度に改訂されてきた。甚大な被害を発生させた1995年の兵庫県南部地震の被害を検討する中で強震の地震動の特徴、耐震設計法の下で建設された建物の強震のもとでの挙動や被害の特徴が理解されてきている。しかしながら、我々の社会環境が地震時にも安全であると言えるまでに、今の経済状態が続いても、少なくても数十年かかるものと考えられる。今回の地震のもとで生起する応力は耐震設計法が要求している応力の数倍に達し、設計上の余力で相殺するには大き過ぎる。滅多に生起しない地震では有るけれど、継続的な改修や被害を最少にとどめる防災システムの構築が重要であろう。

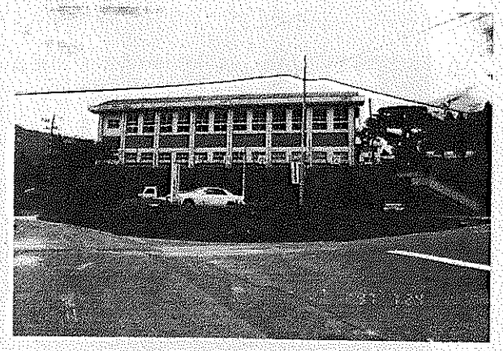


写真1 平川小学校屋内運動場（盛り土の上に建つ）

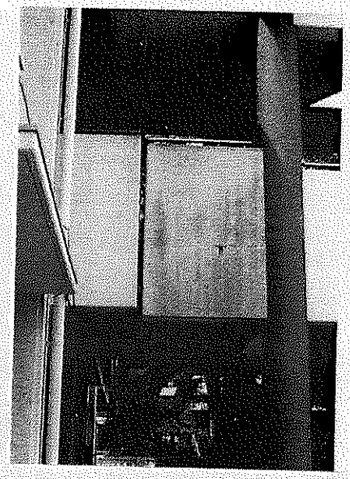


写真2 平川小教室棟の沈下（管理棟と教室棟の不同沈下、恒常的な沈下も含まれていよう）

写真3 出入口の柱の剪断破壊（左側が出入り口、柱の右に腰壁、左に見えないが垂れ壁がある）

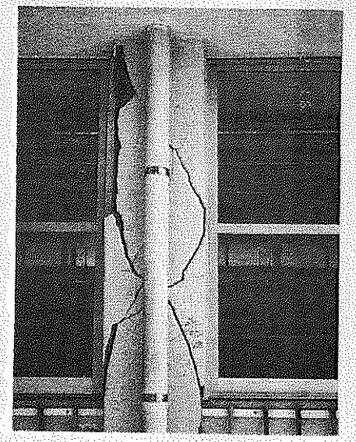


写真4 柱の剪断亀裂（2段サッシュの横木が柱を短柱化した様子も伺える）

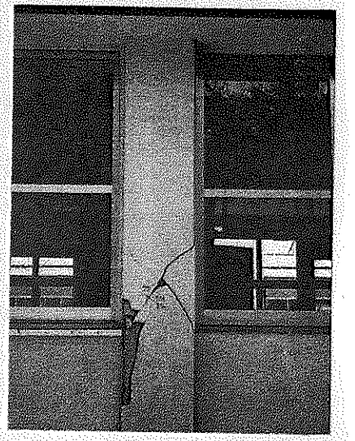


写真5 柱の剪断亀裂

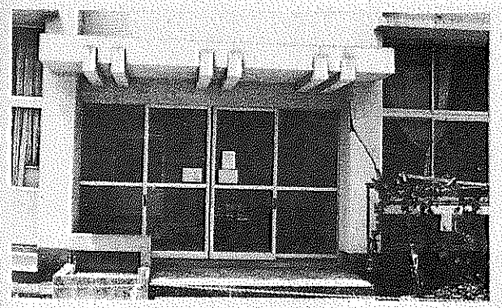


写真6 柱の剪断亀裂（写真3の出入り口と反対側）

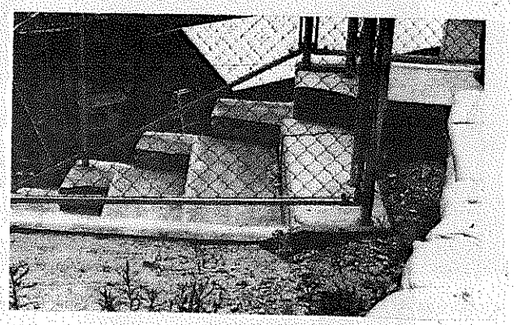


写真7 平川小の地盤沈下（擁壁と手前の階段を含む地盤の間に約20cmの不同沈下が観察された）

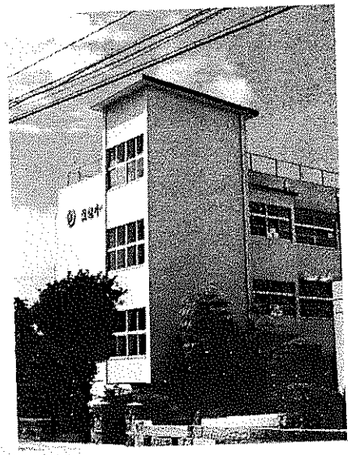


写真 8　盈進小(管理教室棟東端の連続耐震壁)

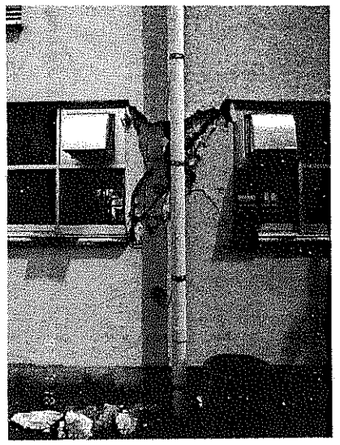


写真 9　盈進小の短柱の剪断破壊

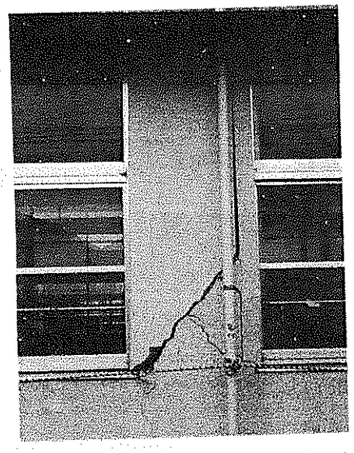


写真 10　柱の剪断亀裂(柱のかぶりコンクリート 70mm)

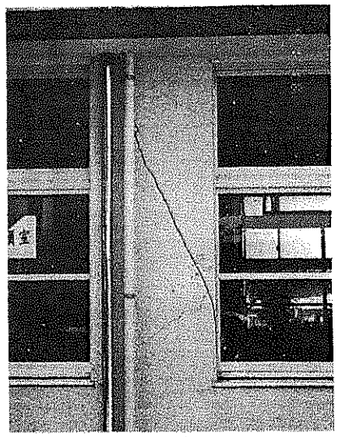


写真 11　盈進小の柱の剪断亀裂

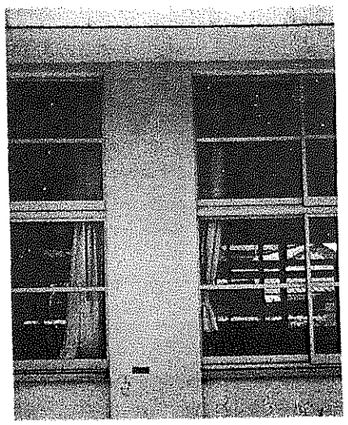


写真 12　盈進小の柱の曲げ亀裂

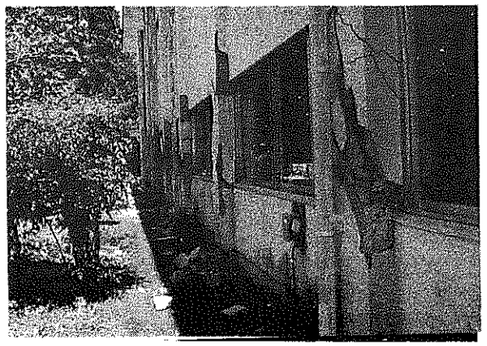


写真 13　鶴田小の特別教室棟北面柱の剪断破壊

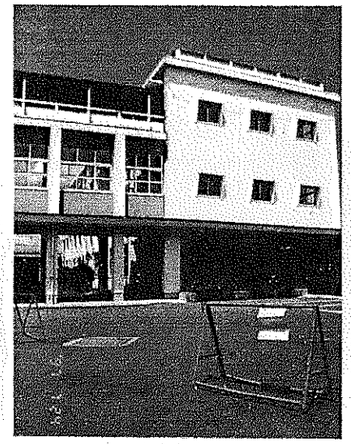


写真 14 宮之城高校特別教室棟と廊下棟

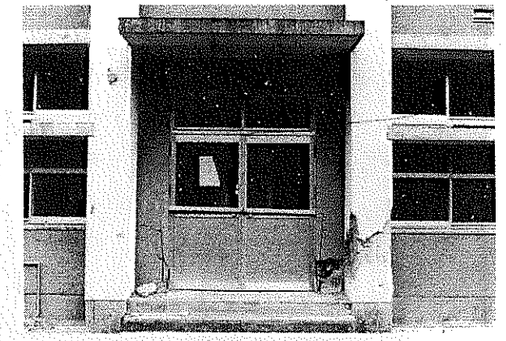


写真 15 宮之城高校管理教室棟の袖壁付柱の剪断破壊

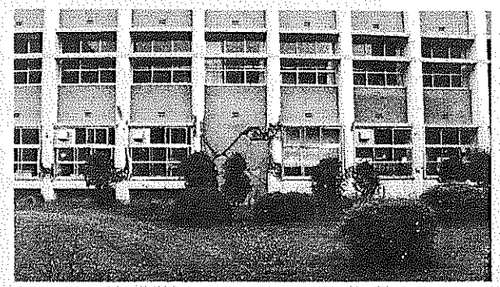


写真 16 宮之城高校特別教室棟南面中央部の損傷

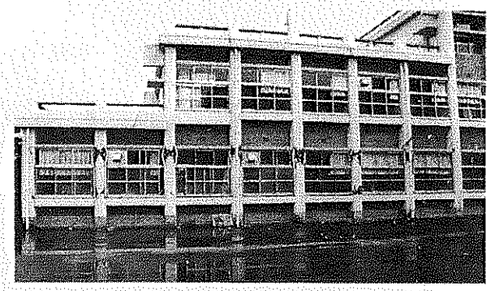


写真 17　宮之城高校特別教室棟南面西端の損傷

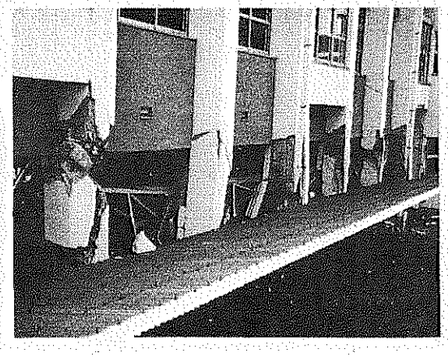


写真 18 宮之城高校特別教室棟北面東端の損傷

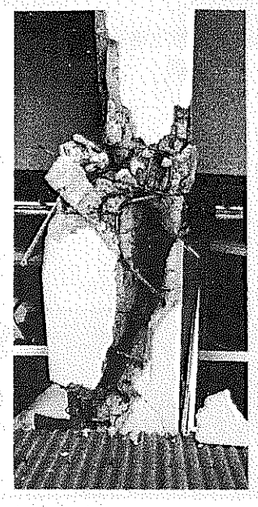


写真 19 特別教室棟の柱の曲げ剪断破壊(写真 18 左の柱)

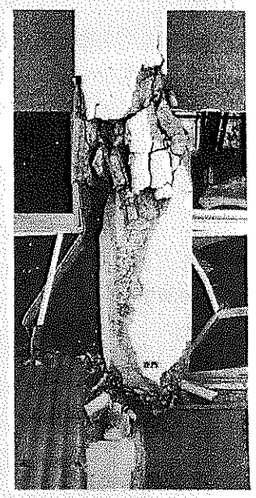


写真 20 特別教室棟の柱の曲げ剪断破壊(写真 18 左から 5 番目の柱)

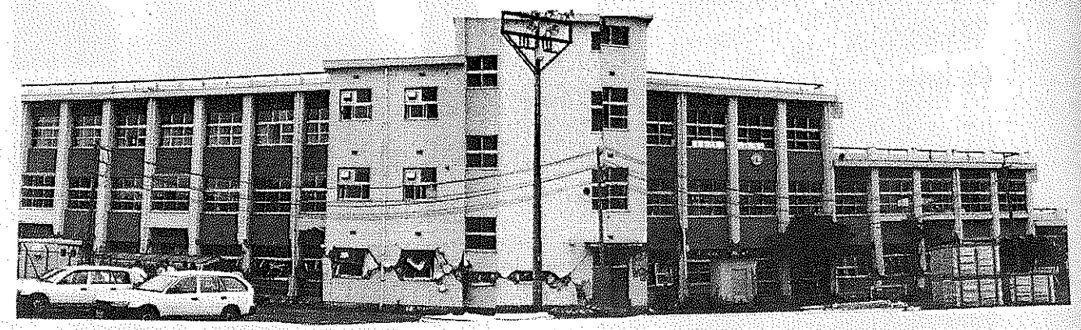


写真 21 宮之城高校特別教室棟北面の損傷

写真 22 宮之城高校特別教室棟北面東端の
耐震壁の剪断破壊

写真 23 宮之城高校管理教室棟と渡り廊下棟の
エキスパンション・ジョイントの損傷

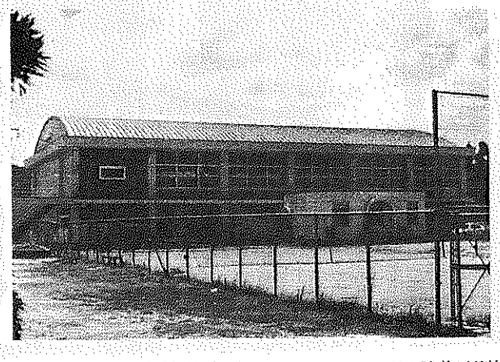


写真 24 宮之城高校体育館(アーチのファサードの建物は別棟)

写真 25 宮之城農業高校管理棟南面西側の有開口壁の
剪断破壊(本震 1後)

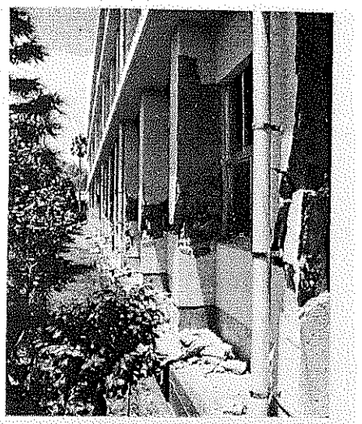


写真 26 宮之城農業高校管理棟南面東側の
損傷(ほぼすべての柱に顕著な剪断破壊)

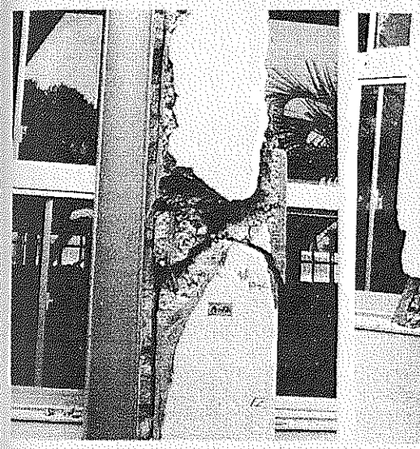


写真 27 管理棟の柱の剪断破壊
(写真 26 右から 8 番目の柱)

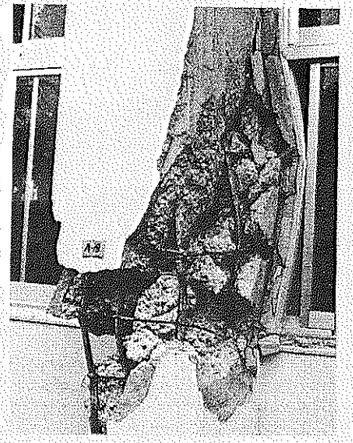


写真 28 管理棟の柱の曲げ剪断
破壊 (写真 26 右から 2 番目の柱)

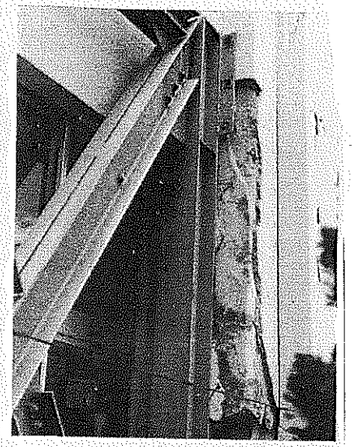


写真 29 宮之城農業高校管理棟北面の
ブレースのアンカーボルトの破損

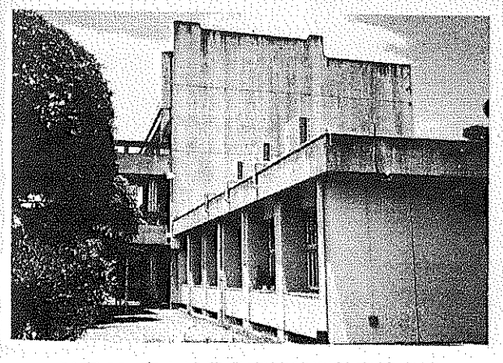


写真 30 宮之城農業高校特別教室棟東端
(2、3 階はセットバックしている)

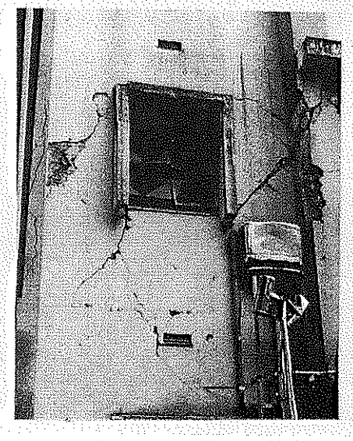


写真 31 宮之城農業高校特別教室棟南面西側の
有開口壁の剪断亀裂 (本震 2 後、2 階部分に剪断亀裂)

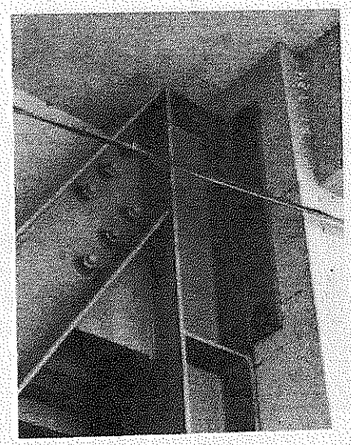


写真 32 宮之城農業高校特別教室棟北面の
ブレースのアンカーボルトの破断

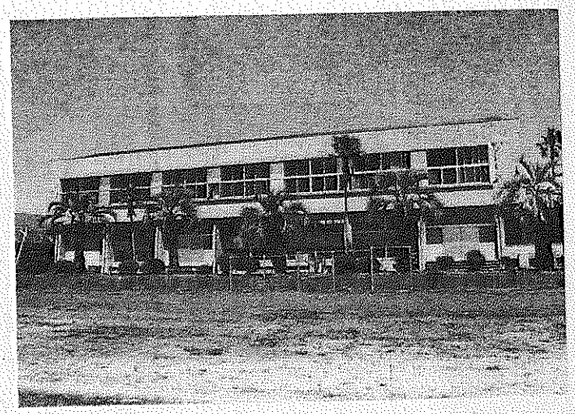


写真 33 宮之城農業高校屋内運動場南面
(2 階に耐震壁は存在しない)

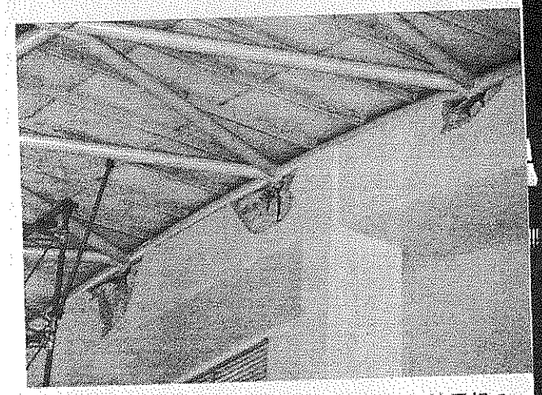


写真 34 宮之城農業高校屋内運動場の鋼管屋根の
アンカー部の損傷

写真 35-1 宮之城農業高校
屋内運動場の柱の剪断破壊
(2 階妻壁部)

写真 35-2 宮之城農業高校
屋内運動場の柱の曲げ破壊
(2 階長辺方向)

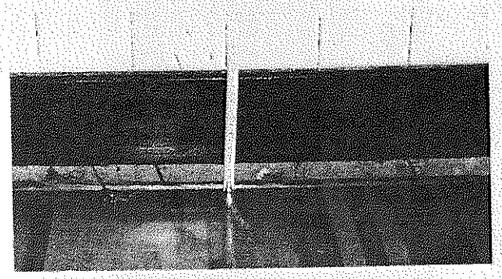


写真 36 宮之城農業高校屋内運動場の
床の沈下(舞台下)

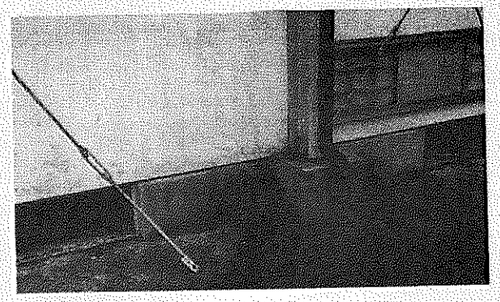


写真 37 宮之城農業高校武道場(ブレースとガセット
プレートを接合していたボルトの破断)

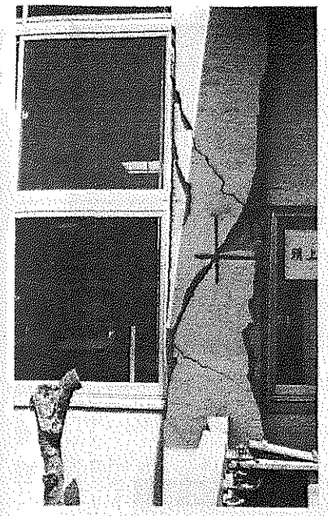


写真 38 川内商工高校機械実習棟
の短柱1の剪断亀裂(余震1後)

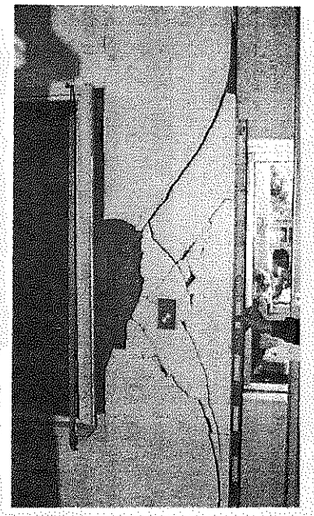


写真 39 川内商工高校機械実習棟
の短柱 2 の剪断亀裂(余震1後)

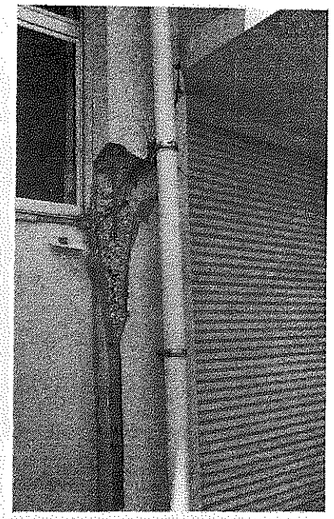


写真 40 川内商工高校機械実習棟
の短柱3の剪断亀裂(余震1後)

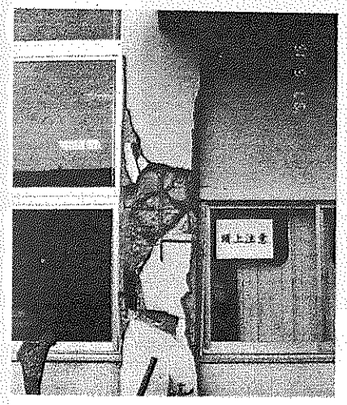


写真 41 川内商工高校機械実習棟
の短柱1の剪断破壊(本震2後)

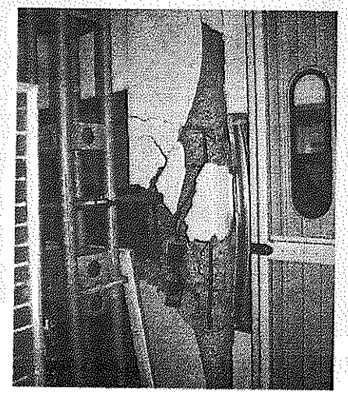


写真 42 川内商工高校機械実習棟
の短柱 2 の剪断破壊(本震2後)

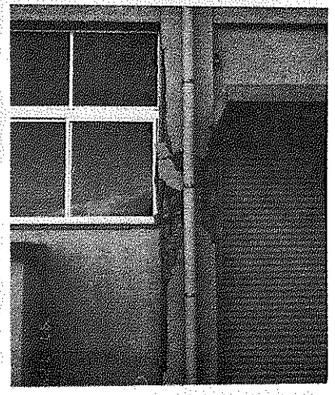


写真 43 川内商工高校機械実習棟
の短柱 3 の剪断破壊(本震2後)

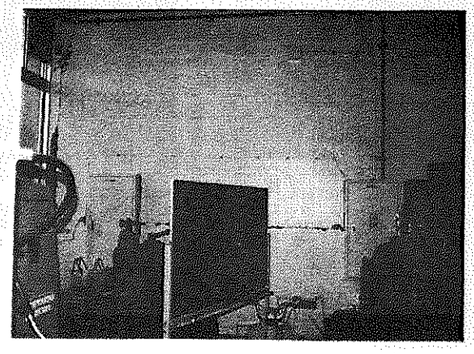


写真 44 川内商工高校機械実習棟のコンクリート
ブロック壁の目地の破壊(本震2後)

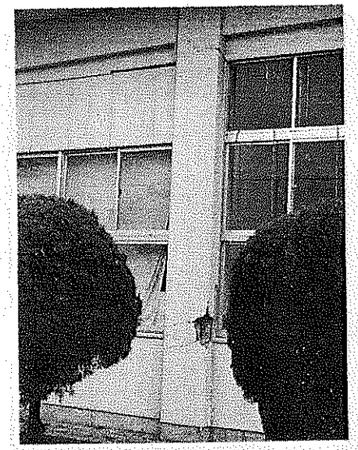


写真 45 川内商工高校機械実習棟の長柱の曲げ破壊(本震 2 後)

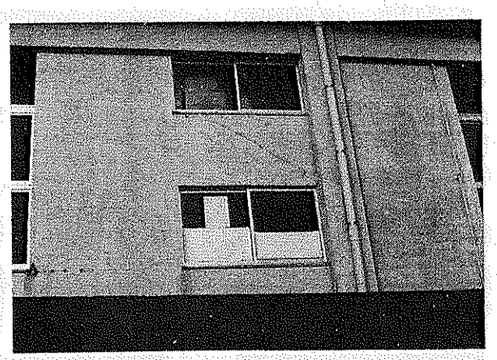


写真 46 川内商工高校機械実習棟西側の雑壁(剪断亀裂と柱の曲げ亀裂)

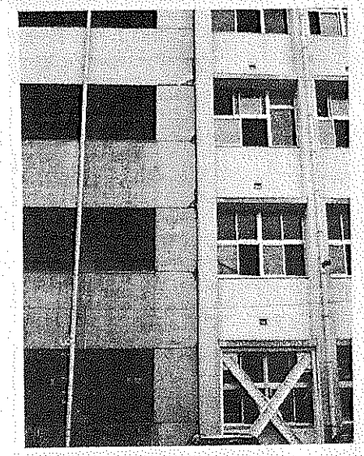


写真 47 川内高校特別教室棟と普通教室棟のエキスパンション・ジョイント

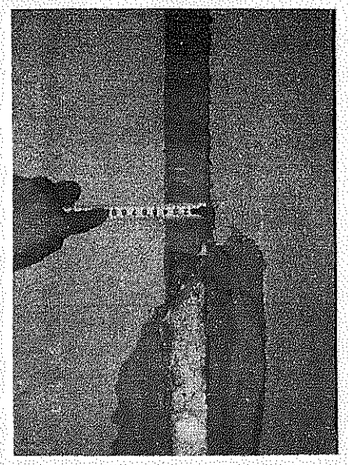


写真 48 川内高校特別教室棟と普通教室棟のエキスパンション・ジョイント 1 階北側

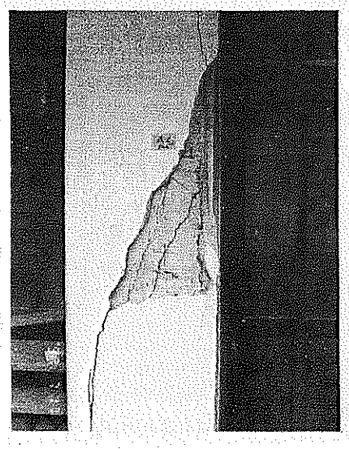


写真 49 川内高校特別教室棟北側 1 階の柱の剪断亀裂(本震 2 後)

写真 50 川内高校特別教室棟北側 1 階の柱の剪断亀裂(本震 2 後)

木造住宅とこれに関連する施設の被害

工学部　徳廣育夫　徳富久二
塩屋晋一　黒木康博

1　はじめに

平成9年3月26日17時31分、鹿児島県薩摩地方（北緯32．0度、東経130．3度）を震源としてマグニチュード6．3の地震が発生した。震度の最も大きかった地域は、鶴田町、宮之城町、阿久根市などを中心とする地域であり、震度5強から6弱であった。この地震による人的被害は重傷2、軽傷34人の計36人であり、死者のなかったことは、地震規模から考えると不幸中の幸いであった。その他に住家、非住家、各種施設など多くの被害が発生した。

地震発生直後、阿久根市、宮之城町、鶴田町、東郷町の1市3町において木造住宅に関して調査された資料をもとに被害の程度の大きいものについて損傷を生じた箇所とその原因について調査した。

また、さらに5月13日（火）14時38分には、震源を若干、南西に移すマグニチュード6．2の地震が発生した。この地震による被害は、鹿児島県からの要請を受けた建築士会の会員が多数現地に行き、危険度判定を行って事態に対応した。この地震については我々は特定の木造住宅について詳しく調査する機会を得た。

本報告は、3月26日を中心とした地震に対する市町による被害調査と、5月13日の地震に対する建築士会による危険度判定の調査を集計して、今回の一連の地震における木造住宅の被害に関する全般的傾向を報告するとともに、被害程度の大きい住宅について現地調査を実施し、その結果について報告するものである。

2　木造住宅の被害の概要

3月26日の地震から後4月3日、4月5日と4月9日に震源を等しくした比較的に大きな余震も発生した。本震で被害の程度が小さかった住宅にも、余震によって被害が拡大した例があるなど厳密には本震と余震の被害を特定して分離することができない。本報告における被害はこれら余震による被害も含めたものとして扱うことにする。

人的被害は重傷2人、軽傷34人の計36人であった。この付近の地震災害には、昭和43年のえびの地震（死者3、負傷24、家屋の全壊406、半壊854余震も含め）によるものがあるが、それと比較してこれだけの規模の地震において死者のでなかったことおよび住宅建物の全壊の少なかったことは注目される。

表－1、表2は住宅と牛舎、作業所など非住家の被害の戸数である。

表1　住家の被害　　鹿児島県住宅課資料より

	3月26日	4月 3日	4月 5日	4月 9日	計
全　壊	4 棟	――	――	――	4 棟
半　壊	24 棟	9 棟	――	――	33 棟
一部破損	2068 棟	108 棟	20 棟	29 棟	2225 棟
計	2096 棟	117 棟	20 棟	29 棟	2262 棟

表2　非住家の被害　　鹿児島県住宅課資料より

	3月26日	4月 3日	4月 5日	4月 9日	計
全　壊	3 棟	3 棟	1 棟	――	7 棟
半　壊	――	1 棟	――	――	1 棟
一部破損	238 棟	10 棟	1 棟	6 棟	255 棟
計	241 棟	14 棟	2 棟	6 棟	263 棟

3　調査の目的と調査方法

調査の目的は、地震による木造住宅被害の実態を把握し、木造住宅の構法的問題に関する原因を検討するとともに、今後の対策について考察することである。

調査の方法は、地震発生直後に上記１市３町より調査された資料より被害ランクの大きい（被害の程度について５段階に評価されている(後述)。被害の大きい）木造住宅を抽出し、これらの１軒１軒について現地に行って聞き取り調査をすると同時に現地の状況について調査した。上記市町で調査された結果も主として聞き取り調査と現地調査であるが、地震直後の被害状況の速報的調査であることと、対象物件が多数にわたるため調査者が多く、その調査の程度にばらつきが感じられた。調査資料中の被害ランクの種別にも部分的損傷の程度と総合的損傷の程度のランクに記入のあるものとないものなど様々であるなど、これによって原因を考察することができない。一方、我々の行う調査は人的関係から、全ての住宅を取り上げることができないので、上記総合ランクにおいて、Ｅランク（住宅の被害程度が８０%以上）と、個別ランクにおいてＤランク（損傷の程度６０%以上）が２項目以上存在する住宅を調査対象とした。

調査表を作成しこれらの項目について、聞き取り調査を行うとともに、実態を把握することに努めるものである。調査表は新築年、構造種別、などの一般的調査項目と性能保証住宅、住宅金融公庫融資を受けた住宅かどうかなど住宅の新築に際して、構造的配慮がはらわれたかどうかについても調査する。また、住宅宅地の周辺状況について住宅に与える影響を考慮して設問および現地での調査対象とするものである。

地震被害に関する項目は、宅地周辺を含む盛土、切土などの敷地の状況と地震による土地の異常に関する項目であり、地盤沈下の有無、地割れの有無、崖崩れの有無、地滑りの有無である。ブロック

塀のあるとき、異常の有無、そのブロック塀に鉄筋が入っているかいないかなどの項目、基礎部分にあっては犬走りの被害、布基礎の被害など基礎部分の異常の種類に関する項目である。屋根については、屋根瓦のずれ、割れなどの屋根の異常に関する項目である。柱に関する項目は、柱の倒れなどの項目である。壁については、ひび割れの程度とモルタル壁とそれ以外の壁に関してそれぞれ異常の項目を設ける。その他床や天井に関する項目である。

これらの事項に加えて、被害実態を見聞して調査表に記入する。調査表には現地で考えられる被害の原因についてできるだけコメントを付記することに心がける。

また、１市３町による被害調査は、調査員（市町の災害対策本部から指示をうけた担当職員もしくは町から依頼をうけた町内の建築士、大工など建築に関係する者）が手分けして、早急に調査したいわゆる被災状況を緊急に把握する目的で行われたものである。多くの木造住宅を短期間に調査したもので地震被害に関する全体的傾向を知るうえで貴重な資料である。調査項目の中にランクが付され、その損傷箇所が記入されている。表3は、その調査された結果を表にまとめたものである。まとめる方法は、各住宅における調査表から表３の該当する箇所について、パソコンにて記入するものである。

表3　地震被害全体調査表と結果の例

NO.　05	○○　　○○				宮之城　町　　泊野				○○○		総合	D
損傷度	屋根	D	外壁	－	基礎	－	傾き	－	ﾈｼﾞﾚ	－	宅地	C
構　造	構　造		木造		階　数		1階建て		屋　根		瓦	
損　傷	■宅盤に亀裂 □落石による損傷 □犬走りの亀裂 □外壁の亀裂 □天井の損傷 □ブロック塀転倒 □				□宅地近接法肩崩壊 □附属物転倒ｺﾝｸﾘ損傷 □布基礎の亀裂 □外壁仕上げ材落下 □屋根瓦のズレ □ブロック塀傾斜 □				■宅地近接法尻崩壊 □自然物転倒ｺﾝｸﾘ損傷 □束と束石のずれ □柱の傾斜、建付 □屋根瓦の落下 □煙突等突出物損傷 □			

総合は損傷度の総合評価ランクであり、また各部位毎にランクが付されている。ランクの目安は、ランクＥが損傷度８０%以上、ランクＤが損傷度６０%以上と以下、ランクＣは４０、Ｂが２０%以上で、ランクＡは被害がないものである。また、表を作成するにあたり不明の部分（－）はランクＡを含むものであろうが、そのままに取り扱った。損傷箇所は該当する場合に■とする。その他の損傷部分があるときには最後行に記入して■とする。実際の調査におけるランクはＡが損傷度の大きい表現であり、Ｅが損傷度の小さい表現として表されている。ここでは、後述のように、防災協会の木造建築物危険度判定調査シートのランクと形式的に合わせるために表現方法を変えて示した。表現を合わせるといってもランクが一致するものではない。この調査では、軽微な被害から重度の被害までＡ～Ｅの５ランクで表され、木造建築物危険度判定調査シートでは、Ａ、Ｂ、Ｃの３ランクである。

一方、５月１３日発生の地震については、鹿児島県建築士会が総動員して危険度判定調査を行った。この調査は地震に対する木造住宅の全般的傾向を知るうえで貴重な資料である。調査の目的は、地震

発生直後に建物を応急的に診断し、その危険度を予測して二次的災害から人命・財産を守ることを目的とするものである。本調査の当面の目的は上述の判断によって、危険と判定された建物への立ち入り禁止などの措置をとり、また要注意の建物へは細心の注意を促すことである。本調査は地震発生直後に相当数の木造住宅を一定の調査表をもとに調査したものであるため、地震による木造住宅の全般的傾向をみることができる。したがって、本報告ではこれらの調査表を集計して解析するものである。

この調査表は、建物種別、建築年度などの建物概況から、不同沈下、建物傾斜、内外装仕上げ材の落下、落下危険性などの建物被害について、その被害の程度が３ランクで調査されている。また、備考にはその他特記すべき事項が記入されていて、危険度を判定するための被害状況ばかりでなく、そのような危険度を示す周囲の状況についても知ることができる。

さらに、今回の一連の地震では、住宅の瓦屋根が被害を受けたことが、地震発生当初から特筆すべきこととして注目された。したがって、瓦屋根が受けた被害の分布を知ることによって、地震被害の地域的特性を知ることができると考えられた。屋根瓦に被害を受けた建物は、一般に青いビニールシートで被われている。そこで、５月１３日直後の航空写真を撮って、その分布状況について調査した。

具体的には航空写真の住宅に青く写る部分を住宅地図上にプロットして、さらに縮尺の小さい地図上にプロットするものである。これによって、５月１３日とさらには３月２６日の瓦屋根の被害状況、ひいては地震の揺れの大きい地域について見ることができる。

4　調査結果

現地で調査された結果と全般的調査結果（市、町において調査された結果を一定の書式で整理した）について分析する。解析はこれらの結果表から、総合評価の各ランクの度数、および部位別ランクの度数を集計すること、また損傷箇所について集計することである。

本報告では、上記の１市３町で行われた調査結果をまとめることと聞き取りおよび現地調査をもとに、地震による住宅に関連する被害の実態について報告すること、およびこれらの結果から被害程度の大きいものについて、現地調査して考えられる原因について考察するものである。

４．１　全般的調査の結果

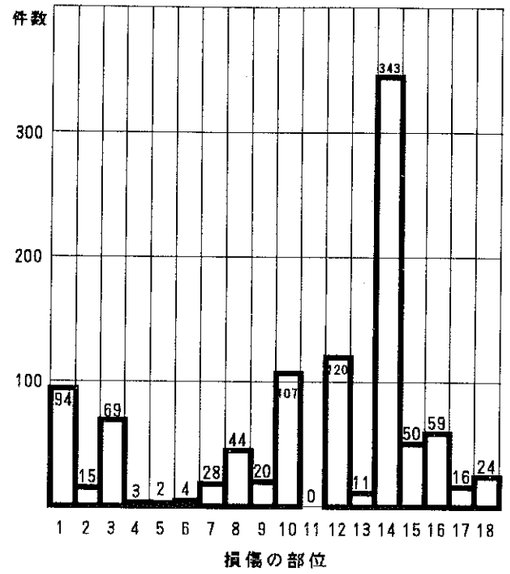
図－１は調査された１２００棟の調査表の中から、損壊の部位が明示されていない棟を除いた８６９棟について損傷の部位に対する件数を集計した。一棟について複数の損壊箇所もあって、これらを含めて集計したものである。これから最も多い損傷部位は瓦屋根であり、瓦のズレであったことが判る。

これら件数の多いものから、順に挙げると

１．屋根瓦のズレ　２．柱の傾斜と建て付け　３．外壁に亀裂　４．宅盤の亀裂　５．法尻の崩壊

である。屋根瓦のズレが圧倒的に多く、つづいて、柱の傾斜、外壁の亀裂および宅盤の亀裂であるが、一般に宅盤の亀裂は法肩の崩壊と連動するので、これらをあわせると、上の　２、３、４は同レベルの損傷状態であることが予想される。東郷町の結果もおよそこれらの割合と考えられる。

各評価のランクについて集計すると、表４となる。これらの中で総合評価がＥおよびＤランクの損



1. 宅盤に亀裂　2. 法肩の崩壊　3. 法尻の崩壊　4. 落石による　5. 付帯物転倒　6. 自然物転倒
7. 犬走り亀裂　8. 布基礎亀裂　9. 束石と束ズレ　10. 外壁に亀裂　11. 外壁仕上落　12. 柱傾斜建付
13. 天井に損傷　14. 屋根瓦ずれ　15. 屋根瓦落下　16. ブロック塀転倒　17. ブロック塀傾斜　18. 突出物損壊

図１　損傷の部位とその件数

傷を蒙ったものについて、損傷箇所がどの部分であるかを集計したものが、図２である。これらの大きいものから挙げると、

１．屋根瓦のズレ　２．柱の傾斜、建て付け　３．宅盤亀裂　４．法尻崩壊　５．布基礎の亀裂

であり、この結果からは大きい被害を蒙った住宅の原因は、振動の強さと宅地に関する要因であることが判る。現地調査によってもこれらの原因が相互に作用して被害を大きくしたものであることが考えられる。

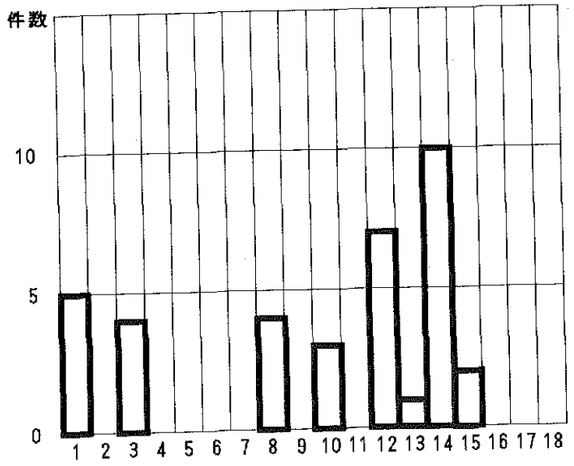
５月１３日の地震については、建築士会で２０２０戸の住宅の応急危険度判定が行われた。これらは、判定基準にしたがって、危険（Ｃ）、要注意（Ｂ）、安全（Ａ）に判定される。ここでの判定は、判定Ｃが被害程度の大きいもので、判定Ａが安全である。これらの判定となった要因および建設年代との関係などについて集計した。

総数２０２０戸のうち、安全（Ａ）と判定された総数は１４４６戸、要注意と判定されたものは４４８戸、危険と判定されたものは８７戸である。３９戸は判断されてなく不明であるが、これを安全として判断すると、安全となった戸数は７４％、要注意は２２％、危険は４％である。そのうち、危険である（Ｃ判定）と判定された住宅について、判定要因を集計したものが表５である。危険度が要注意の住宅における判定要因は表６である。この中で、瓦の落下の危険性によって判定された住宅が最も多く、傾斜によるもの、内外装仕上げ材、不同沈下によるものとつづく。

危険C判定となった原因は、主としてその下欄に記入されたコメントから推測できる。それらを列記すると、

表4　総合評価と部位別評価

ランク	E	D	C	B	A
損傷度 %	80 % 以上	60 % ～80	40 % ～60	20 % ～40	記入無 無被害
総合評価	7	21	151	68	622
屋根	31	41	63	62	672
外壁	8	9	24	53	775
基礎	6	14	5	62	782
傾き	3	10	7	39	810
捻れ	5	5	11	41	807
宅地	6	14	11	51	787



1.宅盤に亀裂　2.法肩の崩壊　3.法尻の崩壊　4.落石による　5.付帯物転倒　6.自然物転倒
7.犬走り亀裂　8.布基礎亀裂　9.束石と束ズレ　10.外壁に亀裂　11.外壁仕上落　12.柱傾斜建付
13.天井に損傷　14.屋根瓦ずれ　15.屋根瓦落下　16.ブロック塀転倒　17.ブロック塀傾斜　18.突出物損壊

図2　総合評価がAまたはBランクの損傷箇所

●玄関庇の傾斜危険。建物全体の内、半分の地盤が下り危険●不同沈下等はなかったが、瓦の隅棟が２ヶ所ずれていた。ブロック塀が大変危険。●建物東側の崖が地震で崩れ、処置はしてあるが、上部にひび割れがあり、梅雨時が再度崩れる可能性有り。●裏側一部土砂崩壊●建物の北側の崖、危険地盤陥没、ＣＢ塀倒壊の恐れ●束石よりすべての柱がずれて柱は地面に刺さった状態●危険建物の解体必要●建物周りが不同沈下●風呂棟ﾌﾞﾛｯｸ壁クラック有り。ﾌﾞﾛｯｸ塀修理中。別棟倉庫棟倒壊のおそれ有り●道路側壁、落下恐れ。風呂　木組み腐れ●一部建物の破壊●基礎一部ＣＢ被害大注意。擁壁（石積み）崩れ。●木造部東立基礎である。●キレツがあるがシート養生済み●IFの柱をなおしたが今回の地震でまたずれた。●瓦落下有り・ブルーシートで養生中●瓦全体がずれている。●瓦落下のためブルーシート養生中●瓦落下のためブルーシート養生中・敷地のクラック有り●瓦のズレ●ﾌﾞﾛｯｸ塀一部崩壊●工場内は徹底した調査が必要。●外壁ﾓﾙﾀﾙが落下しており危険。 ●前回の地震でこわれたため　増改築中●建物の移動12CM・ｺﾝｸﾘｰﾄ一部剥落・裏の崖一部崩壊・瓦の落下。●石積みの崩れ・内壁の剥離・土台部分の破壊　地面にひび割れ　基礎にひび●地面にひび・基礎のズレ・ﾌﾞﾛｯｸ塀の倒壊●ズレ50㎝・一部柱折れ・床束束石よりはずれ。●修理不能（別な所に避難している）●屋根瓦・地割れ有り ●川側が地割れで下がっている。●川側の擁壁が崩壊して建物不同沈下著しい● 屋根瓦のみ被害有り・ブロック塀修理済み・住宅金融公庫融資住宅●・畑に地割れが生じて、雨季になればくずれそうです。・再調査の必要あり。●門・土留石積のくずれる可能性がある。●内部建具がおされ開閉不能、建物がひじれてて倒れているようである。●要連絡・基礎石（小屋）ずれ有り、転倒有り。●建具が外にとびだしている。・北側基礎沈下有り。●柱が傾く。建具が動かない所がある。●タイル除去●浴室タイル●シロアリの害有り。・瓦・アルミ手すり・外壁ラスモルタル、至急応急処置の必要有り。●建物半壊、液状化の後が見られる。●角地擁壁が崩れ、床が浮いている。外部の柱が２本倒れて危険。・立入り禁止の標示が急がれる。●外壁が落ち危険。階段亀裂。ブロック倒壊。●建物全壊。使用不可。●前面がけが地滑りしている。住宅の傾きや床が落ちており倒壊の恐れ大。・地震後住んでいない様子。●裏山前面がけ一部崩壊。建物被害は小。家具散乱し地震後住んでいない様子。また、住宅へ通じる道は落石や報崩土有り。●前面がけ崩れにより、建物倒壊の危険大。●裏山に崩土有り。●裏山の崩壊。束のずれ。●役場へ確認。●建物周辺に地割れあり。裏はがけ崩れあり。●通路にひび割れ有り、敷地内にも有り。● ジャッキアップにて補修中、今は使用していない。使用予定有り ●平屋部分はＡランク・増築部分は１Ｆ車庫、２Ｆ住宅。・筋かい不足Ｃランク●建物の１．５間位から地割れ有り●進入路石積み（Ｈ：３ｍ＋ＣＢ１．５ｍ）の早急な改善が必要●土間に不同沈下によるひびが入っている・擁壁の石積みに亀裂が入っており、落下してくる可能性が強い●裏山の土手が崩れて、危険性が高い。不在

表5　危険度Cランクのときの判定要因

判定の要因	箇所	百分率
不同沈下による	18	12.6%
建物傾斜による	31	21.7
内外装仕上による	22	15.4
落下物の危険性		
瓦	29	20.3
外装材	22	15.4
ガラス	4	2.8
その他	17	11.9
計	143	100.0

表6　危険度Bランクのときの判定要因

判定の要因	箇所	百分率
不同沈下による	93	11.8%
建物傾斜による	141	17.9
内外装仕上による	125	15.9
落下物の危険性		
瓦	246	31.3
外装材	125	15.9
ガラス	19	2.4
その他	38	4.8
計	787	100.0

である。これらから判ることは、大きい損壊を伴う原因は、地盤に問題があることが多い。崖の崩壊の可能性であったり、地盤の亀裂・移動であったり、と地震動の強さと宅盤の移動といった相互作用による問題である。その他には、コンクリートブロックの倒壊の危険性が、危険度を大きくしている。これらの事情は３月２６日に発生した地震による調査結果と変わるところはないと考えられる。

図3は、住宅の建設年とランク別の件数を表したものである。１９８０年から１９９０年に新築された住宅の被害が多いが、これは母集団の多いことを意味し、安全な住宅数と比較して、要注意、危険と判定される割合は少ないものと解釈される。

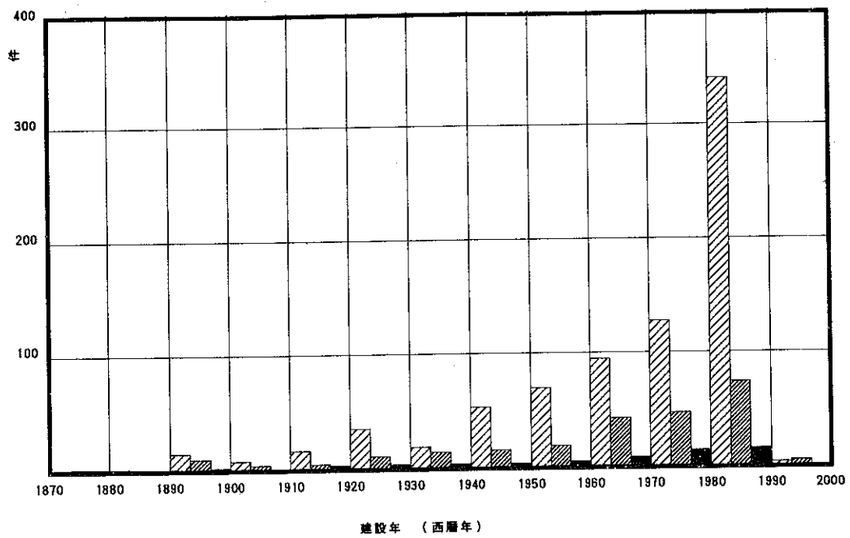


図3　建設年と損傷件数

4．2　住宅の被害分布（3月26日の地震に関連する）

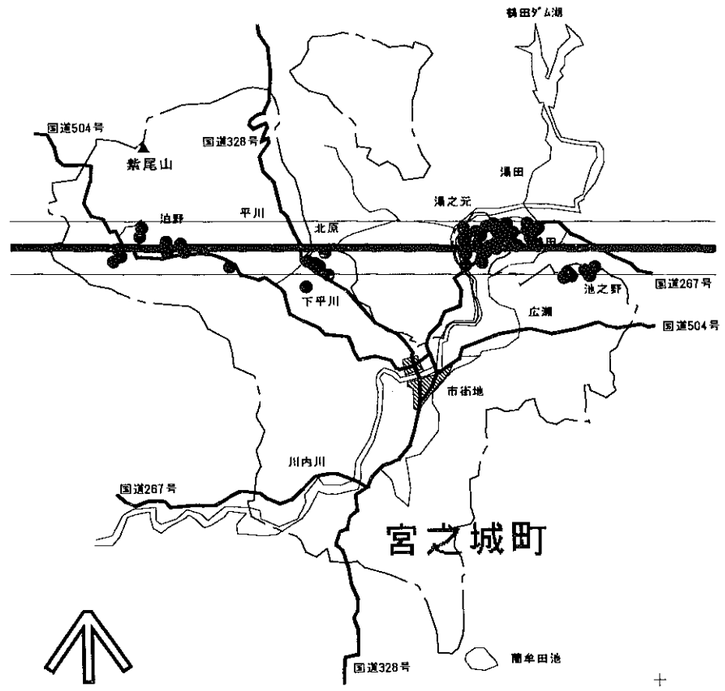


図4　3月26日の地震による被害程度の大きい住宅の分布

他の建築物と異なり、住宅は分布域が広い。同一レベルで住宅の地震による被害調査を行ったとき、被害の分布域をみることができ、間接的ではあるが、地震による揺れの程度を見ることができる。1市3町による住宅被害の調査は全く同一レベルといえないまでも被害の大きかったところを推定することができる。

図4は3月26日発生の地震において、1市3町が調査した住宅被害箇所における損傷の大きい箇所、具体的には総合評価がEランクおよび個別評価のEランクが2個以上存在する住宅について、調査表の住所から住宅地図上で確認し、これを地図上にプロットしたものである。およそ、紫尾山南山麓から宮之城温泉街と鶴田市街地を結ぶ、幅がおよそ2kmの直線帯に分布していることが判る。

4．3　瓦屋根の被害分布

今回の地震における木造住宅の被害の特徴は、瓦屋根の損傷が多いことである。その後の降雨と度重なる余震の発生を考えると、瓦屋根の修復は早急に行われることがなく、ビニールシートが被われたままの状態が比較的長く続いた。5月13日の地震の直後に航空写真を撮り、損傷を受けた瓦屋根の分布を調べた。したがって、上空よりこれらを見るとき、青のビニールシートが鮮明に映り、被害の分布域を知ることができる。

写真は航空会社に撮影範囲を依頼して、直線状の帯として撮影するもので、撮影範囲は、紫尾山頂を左上端とし、祁答院町笑止岳を右下端とする帯状の領域を108枚の写真に納めた。

写真1、写真2はそれらの一例である。写真1は宮之城市街地の、写真2は宮之城湯田温泉の瓦屋根の被害状況である。これらの地域が被害程度の大きい地域である。

これらの写真において、川、道路、橋、地形から撮影された地域が住宅地図のどの部分に相当するか特定し、写真からビニールシートで被われた屋根を写真から判読して、地図上の該当する住宅に印を付ける。このように撮影された写真の一枚一枚について住宅の屋根を判読する。住宅地図の宮之城町、東郷町、鶴田町、祁答院町、薩摩町、川内市東部町村に被害屋根の箇所が特定される。

これら住宅地図上の分布を5万分の1の地図上にプロットしたものが、写真3である。

写真1　宮之城市街地の航空写真

写真2　宮之城市湯田地区の航空写真

この結果は瓦屋根がビニールシートで被われている住宅の分布であり、主として2回（3月26日と5月13日）の地震による瓦屋根の被害分布であると見てよい。つまり、3月26日の地震から余震がつづき、屋根を補修する暇もなく補修してもまた大きな地震が発生するのではないかといったことから補修が行われていないと見られる理由からである。このような状況に5月13日の震源と揺れの位置を異にする地震が発生した。航空写真は、この地震直後のものであることは、3月から5月まで発生した地震における瓦屋根の被害分布であると見るものである。

被害の大きい地域（写真3）は、宮之城湯田地域と宮之城市街地地域であることが判る。

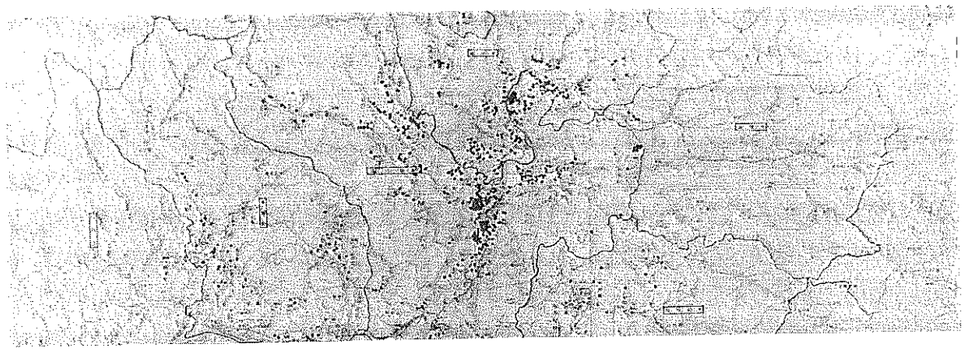


写真3　航空写真による瓦屋根の被害分布

4．4　木造住宅の部位別被害

今回の地震の住宅に関する部位別被害で最も多かったものが、瓦屋根の損傷であった。瓦の損傷が多く、さらに夕方からの降雨が雨漏りとなって住宅内部に侵入し、屋根裏の汚物とともに流下して、建具、寝具などを汚染した。これらの損害も計り知れなく、振動による損害とともに、この二次的損害も大きい。

写真4は全般的に見られる、棟およびけらば付近の損傷である。この地方の屋根は粘土瓦かセメント瓦で葺かれ、特に棟にはのし瓦を幾重にもしっくいあるいはモルタルで重ねて重厚さを演出する形

写真4　瓦屋根の被害　（棟およびけらば付近の損壊）

式である。このため特に下向に造られた隅棟を主とした棟瓦がすべり落ちるなど、振動には弱点となって損傷したものである。また、けらば付近の損傷は、この付近が自由度が大きいことによると考えられる。

写真5と写真6は損壊の程度の大きいもので、写真5は屋根瓦全体が瞬時に粉砕された様相を呈する。板に将棋の駒を並べて、一定の高さから落下させたような形容があたる。この住宅は2所帯住宅で左部は老夫婦、右部は若夫婦用で、右部は後に隣接して設けられたものであり、左部は旧来の住宅、右部は布基礎を有する現代の住宅である。左部の屋根瓦の損壊の程度が右部より大きい。前述の被害の大きい箇所は紫尾山の南山麓から宮之城温泉街をとおり湯田、鶴田町に引かれる直線上であり、この写真の住宅は、写真5が宮之城湯田、写真6が宮之城温泉街であり、その直線上に位置する場所である。写真6は棟部から、棟瓦がそのままそっくり移動している。この棟部分が、下からの衝撃によって飛び跳ねて移動したのか、振動でころがって移動したのかは不明であるが、ころがったにしては全体の形をそのままに留める。

写真7はセメント瓦の棟部分の損傷の例と納まりかたを示すものである。前述のようにがんぶり瓦はむな木と緊結されることなく、棟の先端が揺すられて落下したものである。

図5は現行推奨されている粘土瓦の止め方である。現在の住宅公庫仕様では棟積みは、のし瓦を互いに緊結し、がんぶり瓦または丸瓦を1枚ごとに、地棟に緊結線2条で締め付けるかまたはのし瓦およびがんぶり瓦を一緒に鉢巻状に緊結することになっている。当地方ではセメント瓦ののし瓦が左右一体で製造されていることから、幾重にものし瓦が重なる場合には図6のように、がんぶり瓦は地棟との緊結を行いにくい状態にあった。地棟との確実な緊結がなされない。このような構法では地震の揺れに棟瓦部分が損傷を蒙ることが考えられる。さらに、のし瓦を幾重にも重ねることは、地震時においては損傷の確率を高くする。

写真5　瓦の全体崩壊

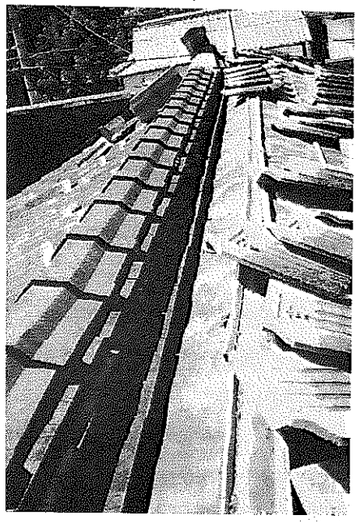


写真6　棟瓦部分の損傷

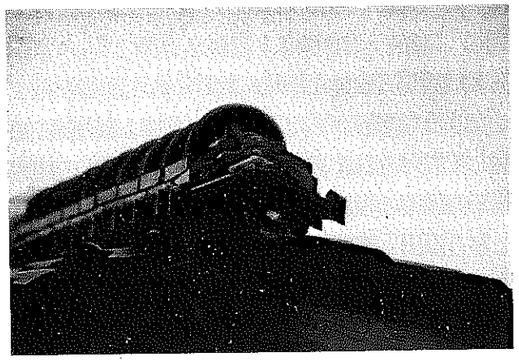


写真７　瓦の損傷と納まり

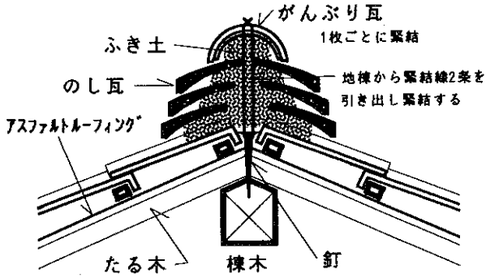


図５　粘土瓦の一般的止め方（住宅金融公庫）

以上のような瓦屋根の損傷にたいして、図7は、セメント瓦屋根の棟部分における構法として提案されているものである。棟木にスクリューボルトを全のし瓦を通して打込み、そのボルトを異形鉄筋にて連結し、異形鉄筋から各がんぶり瓦を緊結線によって緊結する。その他に谷部分、隅棟部分などの提案がなされている。これらの提案は時宜をえたもので今後はおおいに参考となるものであろう。

木造住宅の被害として現象する箇所の２番目は、障子、襖、ドア、窓などの開口部の柱、敷居、鴨居が変形して建て付けが悪くなったことであった。

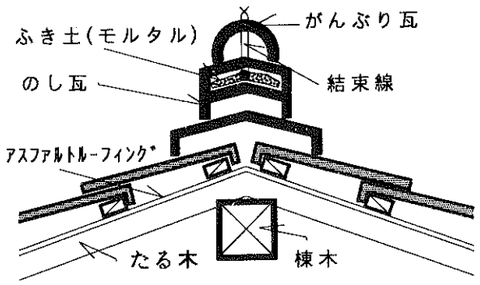


図６　当地方の屋根瓦の標準的納まり

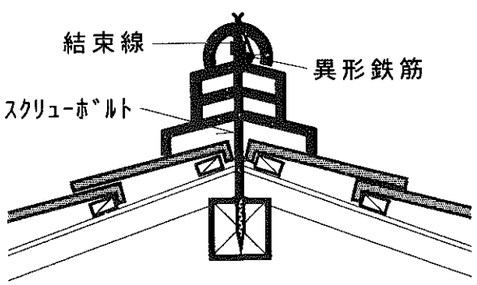


図７　今後のセメント瓦屋根の構法

写真１０、写真１１は住宅が変形し、建具類の建て付けが悪くなった例である。このような例は枚挙に暇がなく、調査した住宅の多くがこのような変形を示す。これは地震の揺れによって柱、梁、桁などが変形していることを示す。およそこれらの例で判るように、上部あるいは下部の開きは、およそ３ｃｍであり、これを変形角で表すと、３／１８０＝１．７×１０$^{-2}$ラジアンである。調査した地域の住宅は、現代の住宅のように、布基礎にアンカーボルトによって土台を緊結し、また柱と梁および桁を金物によって緊結するものでないため、その変形は大きくなる。写真１０は、束石と束によって床部分が構成された住宅の床下部分の損傷の例である。このような構法は現行床組構法より以前よ

りある一般的構法である。束石の回転、沈下と束の変形が生じ、これら旧来の住宅では写真８や９に示すような柱の変形が見られる。写真１１も同様に、束石の回転、沈下である。

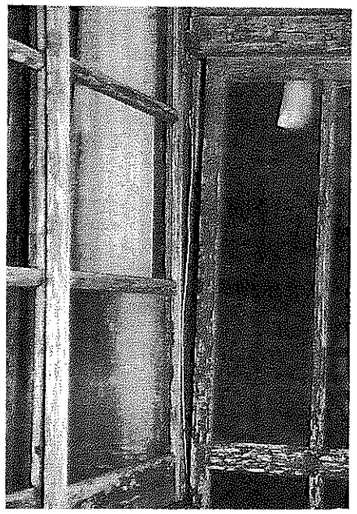


写真８　木製サッシの建て付け

写真９　アルミサッシの建て付け

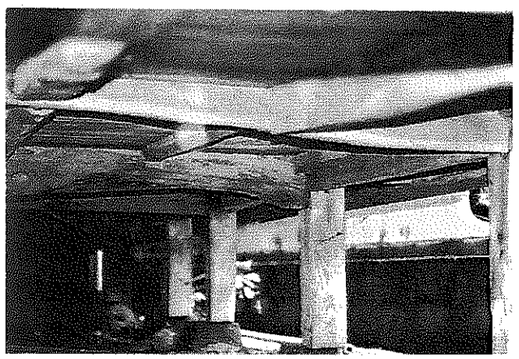


写真１０　束石の沈下と束の変形

写真１１　束石の沈下回転と束の変形

写真１２は上述の建て付けが悪くなったものより、さらに損傷の程度が大きい柱の変形とそれによって障子が変形したものである。この例では、柱が構面外方向にも変形して、障子は鴨居から外れることなく変形し、障子の桟が湾曲している。現在障子には相当の力が加わっていることが予想される。写真１３は、写真１２の例より損傷の程度は少ないものの、写真１２と同様に、柱、桁の変形によって障子が破れたものであり、多く見られた。

写真１４は浴室のタイルの亀裂、剥離である。このような損傷は、上記構造部材の変形に内部仕上げ部材の変形が追随できないことによるもので、調査した住宅のタイル仕上げの大部分に見られた。

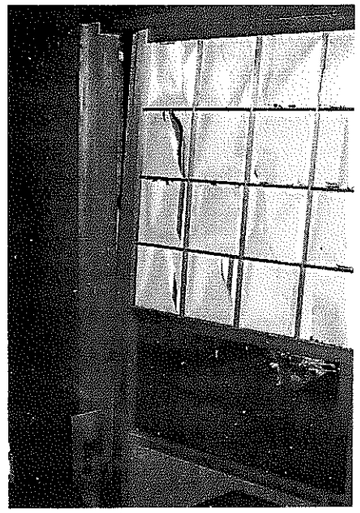


写真１２　柱の変形による障子の変形

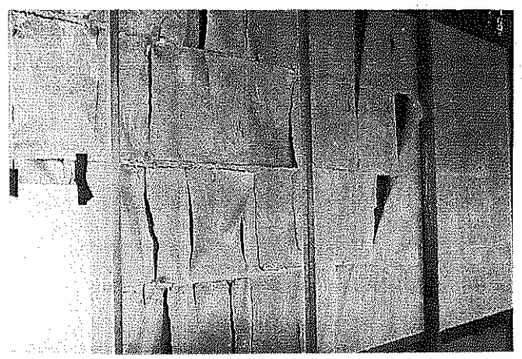


写真１３　障子の変形

写真１４　浴室タイルの剥離と亀裂

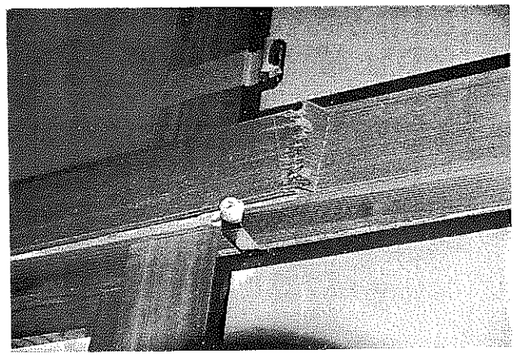


写真１５　長押の圧縮曲げ

写真１６　モルタル外壁の亀裂と剥離

写真１７　突出した玄関の損傷

構造部材の変形の程度を表すものとして、写真１５のように、鴨居の変形によって長押に圧縮、曲げが作用して、長押表面が構面外に座屈したものである。

写真１６はモルタル外壁の亀裂と剥離である。剥離までは伴わないまでも、このような亀裂は、調査した地域（先述の直線帯の地域）において、現在の構法（在来構法）で建てられたモルタル外壁にはこのような多くの亀裂が見られた。

写真１７は、突出した玄関あるいは玄関ポーチ部分に見られる損傷である。玄関部分が南面し、この部分が平面的に突出しているか、または玄関ポーチ部分が突出して、棟を別とする瓦屋根が設けられる例が多い。これらの突出した部分の損傷が見られる。頭の重い屋根と壁の少ない柱のみの構造の揺れによる変形を考慮するとこのような損傷を蒙ることが理解できる。

写真１８の戸袋の脱落がある。これらの例では戸袋全体の脱落で表面には損傷は見られないものの、戸袋全体の接合部が脱落している。その他にアルミサッシの戸袋では表面の仕上げ材が、先の押入ベニア板のように脱落したものがある（写真１９）。接合方法にいっそうの考慮が払われることが必要である。

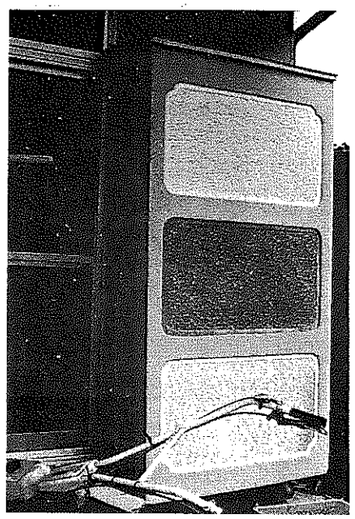


写真１８　戸袋の脱落

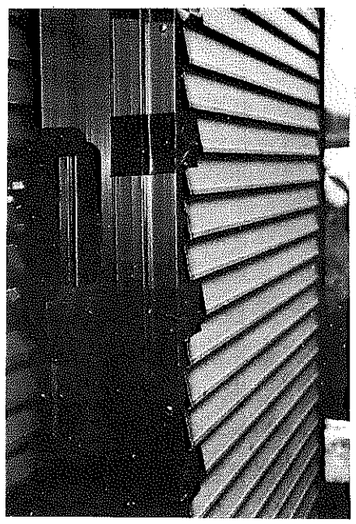


写真１９　戸袋（アルミ製）の脱落

現地に行き住民の人々との話を聞いていると、今回の地震で、「被害の程度が大きい住宅は、古い旧来の住宅より、新しい現代の住宅のほうである」との意見を耳にした。古い旧来の住宅とは新しい現代の住宅の概念に対する意味である。現代に建設される住宅は、地盤から布基礎とそれをアンカーボルトによって接続された土台へ、さらに柱から桁、梁から小屋束、母屋、垂木、野地板、瓦と構成されるいわゆる在来構法の住宅であって、水平抵抗材として壁には筋違が入っているものと解釈される。これに対して古い旧来の住宅は、基礎としての束石の上部に束、柱から梁と小屋組と構成されるもので、平面的には近世西日本一帯に存在する農家住宅である田の字型プランである。壁は板貼りで

あるところが現代の在来構法の住宅と異なるところである。

「旧来の住宅が、現代の住宅より強い」といった風聞は、全壊または半壊するような住宅のことではなく、目で見たとき住宅に亀裂や損傷が明白であるという意味と考えられる。これは、現代の住宅は揺れによって変形したとき、モルタル壁のように仕上げ材が下地材に追随できずに壁の亀裂や基礎の亀裂となって顕在化することと考えられる。旧来の田の字プランの住宅には、平面的凹凸がないのに対して、現代の住宅は比較的凹凸が存在することにも関係する。また、当然、固有周期の異なることにも関係するであろう。

また、写真２０のように壁の筋違が形式的に入り、土台と柱に結合されていないなど施工の不良によって、モルタル壁の剥落を招いたものも存在する。

住宅の質を向上させることを目的に「性能保証住宅登録機構」が、登録業者を認定し、その登録業者が施工する住宅で「性能保証住宅」として申請すると、住宅登録後、１０年間について瑕疵を保証する制度がある。これらに登録されている住宅の被害状況について調査された。損傷箇所としては、瓦屋根の損傷であり、瓦のずれ、と建て付けすなわち柱、桁などの構造材の変形であった。これらの項目について、僅かでも異常のあるところを挙げると、

瓦屋根の損傷	瓦のずれ	２５棟中　５棟
建て付け	柱の傾斜	〃　１棟

であった。

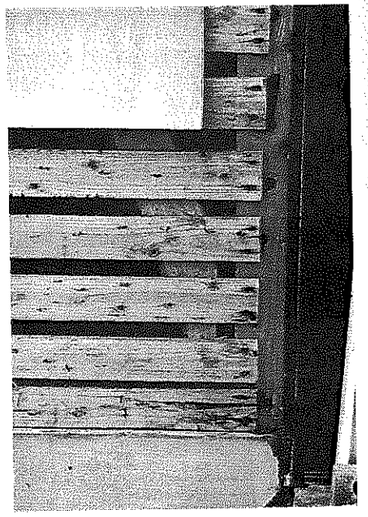


写真２０　筋違の施工不良

性能保証住宅では、構造上問題となる部分は見あたらなく、このように構造的にきちんとした対策がとられている限り、今回のような地震規模では問題となるような被害は受けないものであることが判る。もっとも、被害を皆無にすることは不可能であって、壁などへの亀裂は避けられない。

このように、古い木造住宅と新しい木造住宅の地震にたいする被害の程度に差があって、新しい木造住宅は古い木造住宅より被害を受けやすい、弱いということはなく、旧来の住宅と比較して現代の構法で設計・施工された在来工法の住宅に問題があることはない。ただ、旧来の住宅と現代の住宅を比較するとき、旧来の住宅はおきまりのプランでおきまりの構法で造られていて、一定の施工スタイルが確立されていた。つまり田の字型プランで耐力壁はないものの、架構には水平力が均等に作用するものである。これに対して、現代の住宅は平面の形状も千差万別であり、立面的にも複雑な形状をしていて、架構には思わぬ水平力の集中や捻れが生じることが考えられる。

５　宅地の損傷とそれによる住宅の被害

調査した住宅で、重大な被害を受けた木造住宅は宅盤の損傷によるものであった。住宅そのものの問題ではないものの、木造住宅に関連する問題として特に重要であると思われるので、宅盤を構成する土質も含めて、取り上げる。

写真２０は法肩部分の崩壊による宅盤の移動、沈下である。高さが４ｍ～５ｍの法の存在によって、振動の方向にもよるが、宅盤の移動とその沈下が見られた。現象として、宅盤の亀裂、沈下である。この例を宅盤とする住宅の損傷も大きく、住民は避難生活を余儀なくしている。

このように法肩部の崩壊、移動は住宅に致命的な損傷を与え、修復は極めて困難である。また、その下部の住宅に与える影響も大きい。

一方、法尻部の崩壊による住宅の損傷もある。この場合は、崩土の大きさにもよるが、一般に住宅の部分的損傷が多い。また、その他として落石などによる損傷もある。写真２１は宮之城泊野地区においては法尻部のマサ土が崩壊し、非住家であるが、全壊状態となったものである。住家においてもこのような被害を受ける。

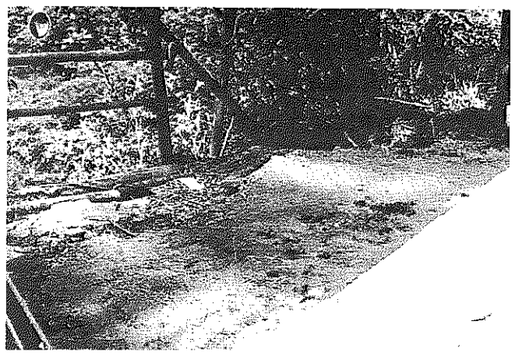


写真２１　宅地法肩部の崩壊と沈下

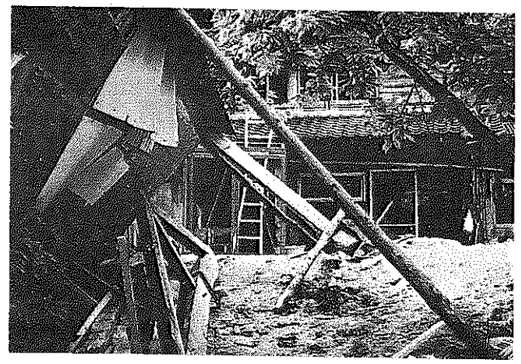


写真２２　マサ土の崩壊による被害

図８は、宅盤の損傷と住宅の位置およびその損傷の関係を示す例である。北側が道路に連続する崖下で、南側が田圃に連続する自然斜面に図のように土間を接続する田の字プランを有する住居部分と作業所よりなる典型的な農家住宅である。宅盤の移動は、宅盤が少し凸に湾曲した部分を中心として発生し、これを中心に亀裂が入る。また、上部崖でも亀裂の入る宅盤に最接近するところの崖が崩壊した。住宅への影響は非住家の作業所が上部崖の崩壊による崩土によって損壊するとともに、図に示すように柱脚部が移動して、全壊状態となった。また、住家部では土間に大きな亀裂がはいり、建て付けが悪くなるなどの損傷がある。その他には裏山および宅盤を構成する地盤が後述するマサ土であり、その崩壊によって住家部分に損傷を受けた例などある。

法尻部の崩壊による住宅の損傷は、崩土の大きさにもよるが、一般に住宅の部分的損傷が多い。また、その他として落石などによる損傷もある。法肩部の損傷は一般に崩壊まで至らなくとも亀裂・沈下を生じて、住宅の基礎の沈下、柱脚の移動につながるとともに、一旦損傷を蒙るとき、その修復には多大の費用を要する。

ここで、調査地域に関する崩壊した地盤の土質的特徴について触れる。

調査した、宮之城町泊野地区は紫尾山山麓で、泊野川に沿った地域である。この地域では崩壊した

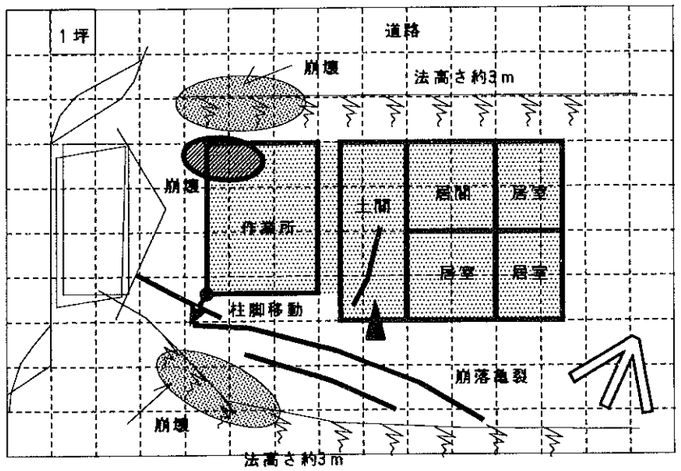


図8　法肩・法尻の損傷による住宅の損傷と傾斜

地盤および崖の特徴は、風化花崗岩であることが特徴的である。風化花崗岩はいわゆるマサ土と呼ばれ、特殊土の一種である。その特徴を表現する場所が「きららの里」であろう。きららの里は町、地区民の憩いの施設を有するレクレーション地である。この「きらら」は風化花崗岩に含まれる雲母を云い、マサ土の特徴を冠せた命名である。

崖の崩壊から見るとき、このマサ土はあまり好ましくない。マサ土は、花崗岩が風化したために弱く結合した粒状体の集合であり、少しの外力によってぼろぼろに砕ける。このようなものが崖を形成して地震などの外力を受けるとき、写真２２のようにすべって崩壊する。すべって崩壊したとき、その裾は広く、土砂は遠くまで到達する。その下に住宅があるとき、住宅は崩土によって損傷を受ける危険性が高い。

鹿児島の特徴として、「シラス」の存在がある。シラスもマサ土と同じく日本の特殊土として挙げ

写真２３　風化花崗岩(マサ土)崖の崩壊

写真２４　シラスの崩壊

られる。シラスもこの地区に存在し、地震の被害を受けて崩落した。写真２３はこの地区のシラス崖の崩壊である。シラス崖崩壊の特徴は、滑落する崩壊でなく剥落するといった表現が匹敵する崩壊である。従って、崩壊の規模は崖の高さによって異なることはどのような土質によっても異なるが、その高さの影響は、他の土質の崖に比べて小さいことが考えられる。つまり、シラス自然崖は垂直に近く存在するものである（およそ８０度）。力学的安定からいえば緩い勾配が安定するに決まっている。

シラス土質の特性として地表面流水に弱く、ガリ浸食がよく発達する理由から、シラス形成段階では緩勾配であったものが時間の経過とともに崩壊を繰り返して垂直近くの勾配で存在するようになる。そのような崖の崩壊は滑り崩壊でなく剥落であり、写真はそのように崩壊することを示す。このような崩壊はその下に堆積物のない限り遠方まで崩土が到達するものではない。一方、マサ土などの粒状体の崩壊は、すべりに代表される崩壊であり、その角度は緩く、崩土は遠方まで到達する。崖を含めた建築物の基礎地盤として、シラスはマサ土と比較して取り扱いやすく、優良な土質であると云うことができる。

地震とシラス崖の勾配については緩勾配が安定することは自明であるが、経済合理性からは自立自然勾配に保ち、崩壊危険地帯を緑地として保全することが鹿児島のシラス景観上からも良好と考えるものである。

宮之城温泉街は、昭和２７年に大火に見舞われ、昭和４７年には大水害に見舞われ、今回は地震にとほぼ２０年に大きな被害を被ってきた歴史がある。これらの災害は直接的に因果関係が存在するものではないが、洪水によって温泉街の大部分が被害を受けた。復旧にあたり７～１０mの盛土造成が行われ、その地盤上に現在の温泉街がある。地震の揺れと地盤との関係には相関性があることは多くの研究者が指摘するところであるが、本地震の被害の場合には後述するように現段階では不明である。揺れの大きいと予測される地域と被害程度に差があるとき、それらの原因を考察することが可能であるが、本地震の場合、地震の揺れによるものか、地盤の特性によるものか、これらの相互作用によるものか不明である。これら土質と地震の揺れの関係は今後の課題である。

6　液状化による障害

今回の地震によって、阿久根漁港の漁港周辺の地盤や東郷中学校など、地盤が液状化した事例を散見する。これらの詳細は他の報告書に挙げられるであろう。ここでは住宅の宅地の造成に関連した液状化について報告するものである。

写真２５、写真２６は、同一地区の住宅地一体が液状化したものである（入来愛宕団地）。住宅団地内道路および庭などに写真に見るような噴砂現象が発生し、側溝が破損および住宅の一部が沈下して、犬走りおよび壁に亀裂が生じた。

この宅地は、元来地下水の多い地域である。宅地造成にあたりシラスを盛土して造成したと聞く。先年の８．６豪雨災害において、道路面から図に示すような地滑りが発生し、宅地には地盤沈下が発生した。また今回の地震では液状化が発生した。

本鹿児島県北西部地震には、液状化が各所で見られたが、本地域の液状化はシラス盛土地域の液状

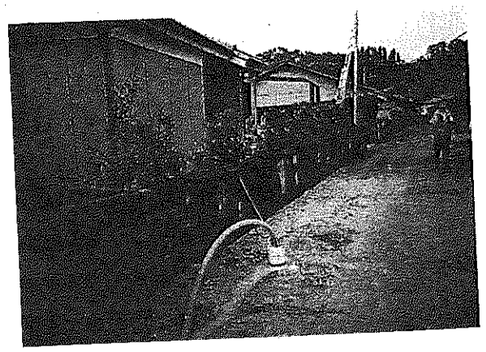


写真２５　液状化　道路沿に砂が噴出

写真２６　液状化　住宅庭に砂の噴出

化といった意味から重要である。シラスを盛土した地盤は液状化の可能性を指摘されながらその実例はなかった。鹿児島市においてもシラスによって埋め立てた地盤上に多くの建築物が建設されている。これらに対する今後の対応の意味からこの液状化は重要な経験であった。

7　ブロック塀、擁壁に関する被害

住宅の塀として、広く普及しているブロック塀の地震による損傷に関して検討することは、住宅の防災安全性の見地から大切なことである。住宅の損傷と同時にブロック塀の損傷についても調査した。

写真２７のように完全に転倒し、学童・幼児の遊ぶ時間帯に地震の発生がなかったことを幸いに思うばかりである。このように完全に倒壊したブロック塀、本来倒壊してもおかしくないブロック塀が樹木の支えによって辛うじて立っている例など、ブロック塀の転倒が多く見られた。

転倒、傾斜したブロック塀を観察すると、

1．　鉄筋が入っていないブロック塀は転倒する可能性が極めて高い。危険である。
2．　鉄筋は入っていても、基礎の根入れのないことによって基礎ごと倒壊したもの。
3．　鉄筋は入っていても申し訳程度に入っていて機能を果たさないもの。ブロック塀における鉄筋の抵抗機構が理解されていない。

といえる。鉄筋の入ってないブロック塀は2～3段ならともかく、これを越えると倒壊するとみてよく、写真２８は今から工事が行われるのかと思えるほどに崩壊したブロックがきれいに積み重ねられているなどの損壊があり、危険極まりない。基礎の転倒に関する検討についても問題がある。また、鉄筋の抵抗機構に対する無理解がある。写真２７では、縦筋の量が少なく、また基礎に十分アンカーされていない、縦筋量に比較して横筋は多い。そのため、斜面長で１．３ｍもある間知ブロック上に同じ高さのブロックが造られ、全体がばらばらになることなく崩壊した。写真２８は鉄筋が入っていないため、ばらばらに崩壊した。ブロック塀は、個人的に工事が可能であり、多くはそれによって造

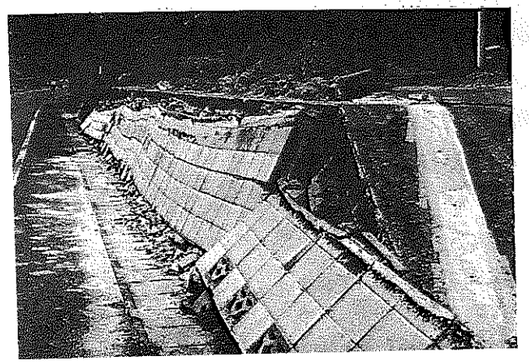


写真２７　鉄筋があるも形式的配置のブロック塀

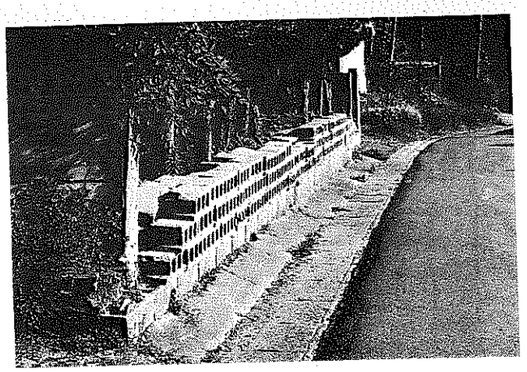


写真２８　ブロック塀の倒壊（無筋）

られることにも問題があると感じる。

擁壁の被害として、石積みの擁壁が崩壊する例が散見される。数日後、崩壊した擁壁に同様の構法で元のように修復する現場に遭遇するとき、従来からある構法上の意識を変化させることの困難を感じた。

写真２９は擁壁崩壊の規模の大きいもので、構法上特殊なものであるので掲載する。この擁壁は、写真３０の詳細に示すように、プレキャストコンクリート製品によって、内側に裏込め石、土を配して組み合わせるものである。この擁壁は表面部材もまた組み合わせ式になっており、掛かり代が少なく、地震による変動によって脱落した。途中の表面材が脱落するとそれより上部の表面材も脱落して、

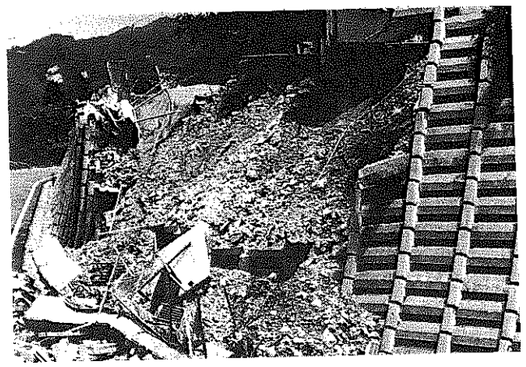


写真２９　擁壁の崩壊と上部の住宅の損壊

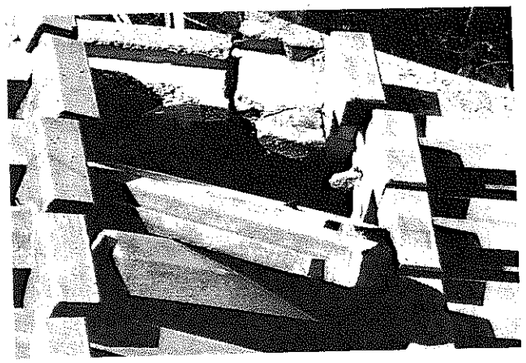


写真３０　特殊擁壁の崩壊部の詳細

裏込め石の施工にもよるであろうが、将棋倒しのように下部に崩壊する。辛うじて安定していたが、５月１３日の地震で崩壊した（写真２９）。この擁壁は本来は低い自然崖であったが、下の道路との接続の関係から道路を切り下げ、擁壁を高く設けたと聞く。この特殊擁壁に連続する間知ブロック擁壁は、擁壁の設置場所による振動の程度にもよるであろうが、隣接する特殊ブロック擁壁と比較して被害の程度は少ない。

住宅に関連する被害として、上述のブロック塀の被害が予想以上に多いものであった。ブロック塀の被害は、宮城県沖地震によって人的被害が多く、これが問題となって大きく取り上げられた経緯を持つ。しかしながら、このブロック塀に注意を喚起することが行われても、その実効が上がっているとは云えないことを今回の地震による被害は示すものであることが判る。

8　まとめ

被災した木造住宅について調査し、それら住宅損傷の原因について検討したものである。その結果と今後の対策を、以下に示すようにまとめることができる。

① 3月26日発生した地震とそれに関連する余震によって、大きな被害を起こした住宅の分布域は、紫尾山の南麓から泊野、平川、湯田温泉、鶴田をとおる直線帯状の区域であった。一方、5月13日の地震による分布域は東郷町、宮之城町市街地を中心とする分布域であった。

② これらの地震によって、最も被害を受けた建物の部位は瓦屋根であった。損傷を受けた部分は棟とけらば部分であり、当地方の屋根瓦独特の工法に起因するものと考えられる。当地方では、のし瓦を幾重にも重ねた瓦屋根が多く、これら棟木への緊結が十分でなかったことが、被害を大きくした。

③ 住宅の被害を大きくした原因はそれが建つ宅地の損傷によるところが大きい。致命的な損傷を住宅にもたらした原因は、宅地が地震による損傷を受けることによる。また、シラスを盛土した宅地が液状化したことも注目される。

④ マサ土における崖の崩壊は、住宅に重大な障害をもたらした。紫尾山南麓の宮之城泊の地区の土質は風化花崗岩であるマサ土で構成され、マサ土の崩壊は崩壊範囲が大きく、これによって住宅に修復が不可能な被害をもたらした。

⑤ 剛性の不均一性が被害の程度を大きくする。地震による水平力を負担する耐力壁がつりあいよく配置されていないとき、ねじれを起こし予期せぬ力が不均一に作用する。これにより住宅に重大な被害を及ぼす。突出した玄関など平面的に均一に変形しないプランであったり、立面的に耐力壁が不均一であることは、規定の耐力壁を満足していても損傷を受ける。一方、旧来の住宅は耐力壁を満足していなくても、均一に変形することによって、建て付けが悪くなるなどの不都合は生じても、重大な損傷まで至らないものであった。現代の構法の住宅のすべてに問題があると云うものではなく、耐力壁がバランスよく配置される住宅では問題はない。

⑥ ブロック塀の倒壊について注意が必要である。住宅に付随するブロック塀の倒壊が多く見られた。倒壊したブロック塀は、規定のとおりに施工されているものでなく、鉄筋が入っていなかったり、鉄筋は入っていても形式的であったり、基礎部分の根入れがなく基礎部分から倒壊したりと、論外の工法であるが、ブロック塀は個人的施工されることが多く、不良なブロック塀が多く存在することに問題がある。

[　謝　辞　] 本報告を作成するにあたり、地震発生後の現地調査、関連資料の提供など下記の多くの方々に便宜をはかっていただいた。記して感謝申し上げる。鹿児島県土木部住宅課、東郷、宮之城、鶴田町の関係者、鹿児島県住宅建築総合センターの関係者である。

鹿児島県北西部地震による文化財建造物の破壊状況とその対策

工学部建築学科　土田充義

1．はじめに

文化財は地域を代表する宝として後世に伝え、その価値を損うことなく、修復・補修を重ねて保存する。これが私達の務めである。そのために私は修復建築家として日々文化財の保存に力を注いでいるつもりである。建造物は美しくやさしい自然を受け入れ、厳しく恐ろしい自然にひしがれ、その都度変化し、工夫をよぎなくされて現在に至っている。その時代その時代の思想と技術で誕生した建造物を現代の最先端技術で維持しなければならないこともある。安全性の確保は大切なことであるにちがいない。

今回の鹿児島県北西部地震で宗功寺墓地の島津家墓、鶴田の庚申塔、大願寺跡の墓塔群、それに出水麓の石垣と土蔵これらに被害があった。まずこれらの被害状況を調査し、その後の対策についてまとめた。その対策については現在進行中であるが、実施できた範囲にとどめた。今回の被害調査でほぼ明らかになったことは宮之城宗功寺墓地において3月26日の被害よりも5月13日の被害の方が大であったということである。

2．地震による被害状況調査

被害状況を3月26日の地震後5日後にあたる31日と，4月17日，24日，25日，5月9日に調査し、再度の地震（5月13日）より11日後の24日と29日に調査した。その結果の報告である。

1・1　宗功寺墓地（県指定史跡　昭和50年3月31日）の被害状況の調査

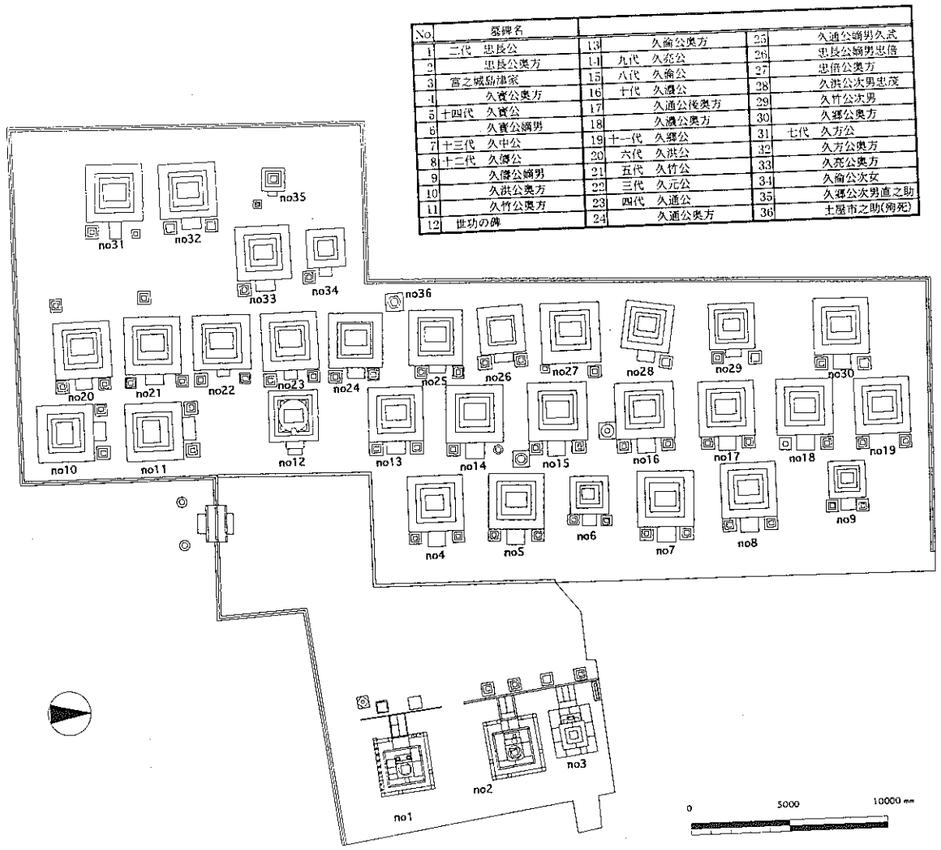
3月26日午後5時31分頃発生の地震による被害状況を5日後にあたる31日に現地に赴き調査した。宗功寺は薩摩郡宮之城町虎居に所在し、江戸時代初め宮之城島津氏によって菩提寺として建てられ、2代忠長から16代長丸までの墓がある（図1参照）。初代尚久は日新斎忠良の子で墓は加世田市にある。江戸時代約350年間を通して墓が一箇所にまとめられていることから、年代と共に墓の形成が変化し、墓の変遷をたどることができる。このことは別の機会にゆずることにして、ここでは墓の形成が四つに分けうることにとどめたい。一つは宝篋印塔の墓石である。それは2代忠長と奥方もう一つは霊屋式墓3代（No.22　図1に示す番号を示す。以下同じ）より14代（No.5）まで30基、社(やしろ)式墓1基（No.34）それに15代・16代（No.3）の墓石と久郷公次男（No.35）の墓石の2基、これは最初の宝篋印塔に類するものとして加えてもよいだろうが、形態が別であるため分けることにした。

宗功寺墓地の被害状況を次の6段階に分けて方針をたてた。

①.ずれた状態

②.転倒だけで破損をしていない状態

③.転倒の折りに他の石とぶつかって破損した状態



No.	墓碑名				
1	二代　忠長公	13	久倫公奥方	25	久通公嫡男久武
2	忠長公奥方	14	九代　久宛公	26	忠長公嫡男忠倍
3	宮之城勘定家	15	八代　久倫公	27	忠倍公奥方
4	久賀公奥方	16	十代　久徳公	28	久洪公次男忠茂
5	十四代　久賓公	17	久通公後奥方	29	久竹公次男
6	久賓公嫡男	18	久徳公奥方	30	久郷公奥方
7	十三代　久中公	19	十一代　久郷公	31	七代　久方公
8	十二代　久傳公	20	六代　久洪公	32	久方公奥方
9	久傳公嫡男	21	五代　久竹公	33	久亮公奥方
10	久洪公奥方	22	三代　久元公	34	久倫公次女
11	久竹公奥方	23	四代　久通公	35	久郷公次男直之助
12	世功の碑	24	久通公奥方	36	土屋市之助(殉死)

図１　墓石の分布

④.地震の力で傾いたり、剥離した状態

⑤.地盤が緩み墓石が陥没しかけた状態

⑥.柱が抜けたり、転倒しそうな危険な状態

これらの破損状況から復旧に対する基本方針を立てなければならない。それには長期展望による基本方針と短期的に緊急性を要する場合とである。緊急性を要し、まずしなければならないことは最後の6段階で、すぐに修復しなければ危険であるし、破損が更に増す可能性がある。それは久倫公次女（No.34）の社式墓石だけである。2.は墓石のずれを直し、転倒した石をもとにもどすことである。3.は破損した石をエポキシ樹脂で継ぐのがよいが、他の方法で修復する方もあるので、調査し検討する必要がある。その調査結果をもとに実施する。それまで臨時に保管をしておく。

最後は墓石の傾きや霊屋式墓石の内部に安置された宝篋印塔の転倒についてである。この工事をするには現状復帰がよいか、霊屋式墓石の位置を現状でよいかまで含めて再検討して、どう整備したらよいか、整備の基本方針を立てて実施する。これこそ長期展望のもとに進めなければならない。地震

表−１　霊屋式墓の合せ壁石の開き幅

墓の番号	面	開き幅(mm)	面	開き幅(mm)
No.10	東	52	西	42
No.11	東	28	西	37
No.13	南	55	北	70
No.18	南	91	北	70
No.19	南	66	北	52
No.21	南	35	北	23
No.22	南	65	北	55
No.23	南	38	北	33
No.29	南	70	北	67
No.30	南	131	北	130

写真１　No.30 久郷公奥方の墓が最も広い開き方をしていた
131ミリ（4月24日撮影）

表−２　墓石の傾き（プラスは外側、マイナスは内側）

No.番号	北	南	東	西	備考
1	−1.0	0.0	−2.0	0.5	
2	−1.0	0.0	0.0	0.0	
3	0.5	−0.5	−0.5	0.5	
4	0.0	0.0	0.0	0.0	
5	0.0	−0.5	0.0	−0.5	
6	1.0	−1.5	−1.0	2.0	
7	0.0	−0.5	−1.0	0.0	
8	0.0	1.0	1.0	0.0	
9	−0.5	0.0	0.5	−1.0	
10	▲3.0	0.0	0.5	−1.0	開き幅大
11	0.0	0.5	−0.5	0.0	
12	0.0	0.0	−0.5	0.0	
13	0.0	−0.5	0.0	▲4.0	開き幅大
14	−1.0	1.0	0.0	2.0	
15	−0.5	0.0	0.5	0.0	
16	−1.0	0.0	0.5	0.0	
17	1.0	−1.0	−1.0	2.0	
18	−2.5	1.5	−2.0	▲5.5	開き幅大
19	−1.5	1.5	−3.5	▲6.0	開き幅大
20	1.0	−2.0	0.0	0.0	
21	1.0	−0.5	0.5	▲2.5	開き幅大
22	0.0	−0.5	−2.0	▲3.0	開き幅大
23	−0.5	0.0	0.5	0.5	
24	−1.5	1.5	−1.0	0.0	
25	0.0	1.5	−1.5	2.0	
26	−1.5	▲−11.5	4.5	−0.5	内側へ傾く
27	0.5	0.5	1.0	−1.0	
28	−3.0	3.0	3.0	−3.0	
29	−1.5	1.5	2.0	2.0	
30	−2.0	2.0	1.0	▲7.0	開き幅大
31	0.0	−1.0	1.0	0.0	
32	−1.5	0.0	1.0	−1.5	
33	0.0	−1.5	2.0	−2.5	
34	−1.5	2.0	2.0	0.0	

による災害がひどかったが、この災害によって墓地の整備がよりよい方向へ展開させることが大切だからである。

5月13日発生の地震以前に行った調査は次の3点であった。

①.霊屋式墓石の合せ壁石の開き幅実測（写真1.表1参照）。

②.墓石の傾きの測定（表2参照）。

③.墓石をのせた台座の傾きの測定（表 3参照）。

これらのうち1.と2.は当然関係し、傾きを大とするものは壁面の繋ぎ合せを開いた墓石となる。その他

は特に大きな傾きをしていなかった。次に台座の傾きは地震によって生じたというよりは経年による変化であり、二つの墓石の台座（No.19,No.28）が急に傾いていて、すぐ近くの中間の台座（No.29,No.30）が変化していないことからも推測しうる。南側が下る場合が多く（表3参照）、規則的でこれも突然の変化とは読みとれない。したがって、被害で注意すべき事は次の2点にまとめられる。

① 壁体の合せ目に鉄のかすがいを入れ、それが腐触で役立たなくなったことによる被害

② 屋根石が三つからなるために揺れによって分離して落下しそうになったこと

これらのことは対策に関係する。その基本は使用されたかすがいを丈夫な材にすることと無理に接合させて屋根を一体化しないことであった。つまり当初の形態を維持する。

1・2 鶴田庚申塔県指定民俗文化財（有形） 昭和50年3月31日

鶴田庚申塔は薩摩郡鶴田町字大角前山3830に所在し、天文3年（1534）水輪が方形で高さ130センチの五輪塔である。最上の風空輪が落ち、それを再びのせていた。地輪の上の水輪が少しずれた程度で被害は軽少であった。

1・3 大願寺跡の墓塔群（薬師堂跡）県指定記念物（史跡） 昭和62年3月16日

大願寺跡は薩摩郡鶴田町柏原字上に所在し、戦国期の宝塔・卵塔と板碑（享保10年1725）がある。それらのうち半分程が転倒し様々な方向に倒れ、被害は少ないものの、中には半分に割れた相輪があった。修復にあたっては専門家の意見を聞いて検討を要す。

1・4 大願跡の墓塔群（開山堂跡）県指定記念物（史跡） 昭和62年3月16日

戦国期と推定されている卵塔・宝塔・五輪塔がある。そのうち卵塔の上部が落ち、幸い破損個所はほとんどなく、再び積み上げれば再現できそうである。

1・5 出水麓の石垣と土蔵の被害、重要伝統的建造物群保存地区 平成7年12月26日選定

3月26日の地震による被害調査を3月31日に行った。被害は石垣と土蔵のみで主屋は別に受けていなかった。

石垣は敷地の土留として使われ、石垣と土の振幅が合わずに崩壊したか、石垣そのもののゆさぶりで崩壊したかいずれかが考えられる。今回の被害は両者であろう（写真2参照）。それらは再び積み直せばよいわけであるが、両側の積み方を参考にして積み、場所によって異なる積み方をしているので、一律にならない配慮が必要である。石垣崩落は6箇所で延長が合計11.2メートルであった(3月27日出水市教育委員会調査)

土蔵2棟が被害を受けた。その1棟は白壁が落ち(川俣国男氏住宅)、もう1棟はなまこ壁の磚がはがれた(志賀節子氏住宅)。その内部の柱・梁に被害はないので、亀裂を補修し、磚をもとの通りに復旧すればよい。白漆喰壁は下地との接着が悪いと地震に弱い。しかし少しモルタルを加えたせいか、二階堂家の蔵にはほんのわずかな亀裂で剥落はない。光沢は失れるがこの調合が参考になるかもしれない。

土蔵は4月3日の再度の地震で被害を大きく受け、特に志賀家の蔵の南壁は崩壊した。阿部正智氏の

表-3 台座の傾き（数値は下る方を示す）

No.番号	北	南	東	西	備考
1	西へ0.5	西へ0.5	南へ1.5	南へ1.5	
2	0	東へ0.5	0	0	
3	西へ1.0	西へ1.0	南へ0.5	南へ1.0	
4	0	西へ1.0	南へ0.5	南へ1.0	
5	0	東へ0.5	北へ0.5	北へ0.5	
6	西へ0.5	西へ0.5	北へ1.0	北へ0.5	
7	西へ0.5	西へ0.5	北へ0.5	北へ0.5	
8	東へ0.5	東へ0.5	0	南へ0.5	
9	東へ0.5	東へ0.5	南へ0.5	南へ0.5	
10	東へ0.5	0	北へ1.5	北へ0.5	
11	西へ0.5	西へ0.5	南へ1.0	南へ1.0	
12	0	0	南へ0.5	0	
13	西へ0.5	西へ0.5	北へ0.5	0	
14	西へ0.5	西へ0.5	南へ0.5	南へ0.5	
15	西へ0.5	西へ0.5	南へ0.5	南へ0.5	
16	西へ0.5	西へ0.5	南へ0.5	南へ0.5	
17	西へ0.5	西へ0.5	北へ1.0	北へ1.0	
18	西へ1.5	西へ2.5	南へ2.0	南へ1.5	
19	▲西へ3.0	▲西へ3.0	南へ2.0	南へ2.0	傾きが大
20	東へ1.5	0	北へ2.0	北へ1.5	
21	東へ0.5	東へ1.0	南へ0.5	南へ0.5	
22	東へ1.0	0	0	南へ0.5	
23	東へ0.5	東へ0.5	0	南へ0.5	
24	東へ2.0	東へ0.5	南へ1.5	南へ1.5	
25	0	東へ0.5	南へ0.5	南へ0.5	
26	0	東へ1.0	北へ0.5	北へ0.5	
27	東へ0.5	東へ0.5	0	南へ0.5	
28	東へ2.0	▲東へ3.0	南へ2.5	南へ2.0	傾きが大
29	東へ2.0	東へ0.5	南へ2.0	南へ2.5	
30	西へ0.5	0	南へ1.5	南へ1.5	
31	東へ1.5	東へ1.0	北へ0.5	北へ0.5	
32	東へ0.5	東へ0.5	南へ0.5	南へ0.5	
33	東へ1.0	東へ1.0	北へ0.5	北へ0.5	
34	東へ1.5	東へ1.0	南へ1.0	南へ0.5	

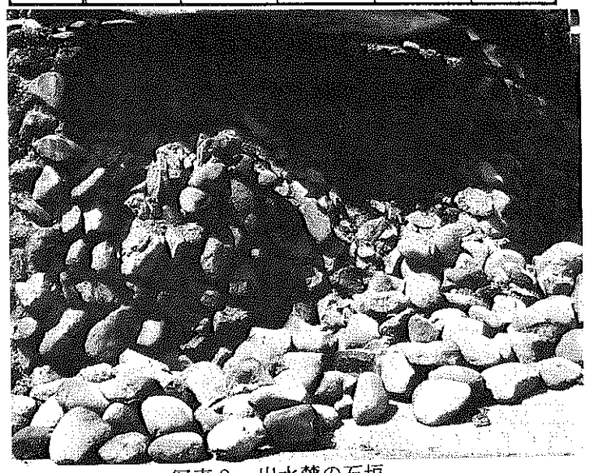


写真２ 出水麓の石垣

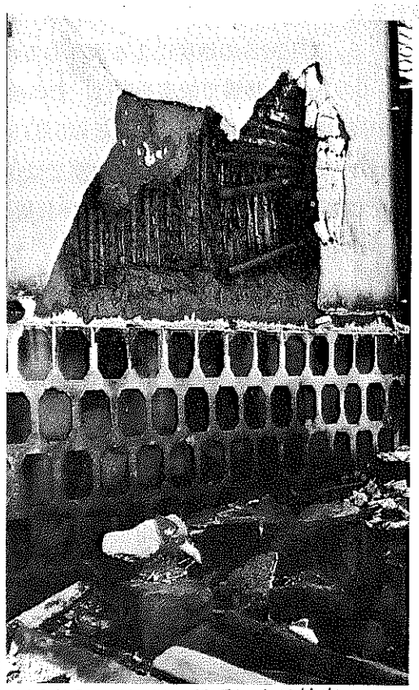


写真３ 4月3日の地震による被害
（5月9日撮影）

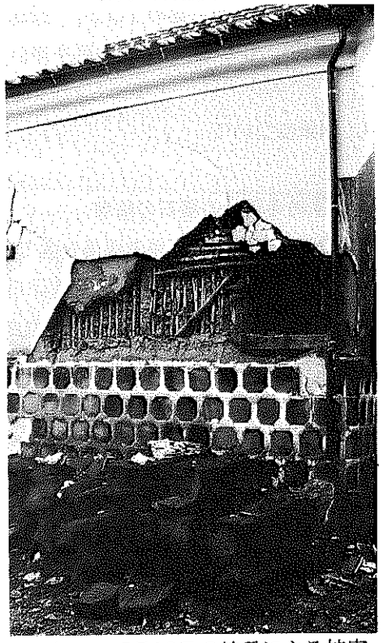


写真４ 5月13日の地震による被害
（5月16日撮影）

蔵も亀裂と剥落が見られた。また宮路家の蔵も被害を受けた(写真3参照)。土壁が地震に弱いことを示している。3月26日の地震による被害の方が大きかったのか。それとも4月3日の方が強かったか決め難い。3月26日の地震で被害を受け、その被害で亀裂が入っている所に更に力を受けた。そのために志賀家の蔵の南壁が落ちた。このことは5月13日の地震においてもいえる。宮路家の蔵は壁に穴が開いてしまった(写真4参照)。5月3日の地震では伊藤家の蔵の漆喰壁が落ち(5月9日撮影　写真3参照)、5月13日では剥落の壁が一層増した(5月16日撮影写真2)。しかしいずれの地震の被害が大であったかは決め難い。

3．5月13日発生の地震について

3月26日・4月3日を頂点にたびたび地震が発生していた。地震の回数は4月23日までの約1ヶ月間に無感回数483、有感回数183、合計にあたる地震回数は666回(483+183)であった(福岡管区気象台地震火山課に基くデータ)。4月10日以降だんだん終息するかに思われた。そこで現状の転倒の様子を記録し、再び立てる前の準備をした。その結果は灯籠は28基でこれは約44パーセントにあたる(図2参照)。その後最上段に置く凝宝珠だけは置かずに全部立てた。ところが5月13日の地震で3基のみを残して転倒してしまった(図3参照)。以前よりも更にひどい結果になってしまったが、再び灯籠を立てたために、地震が起る前の状態にもどり、5月13日の地震の強さを確かめることができた。この結果はつまり5月13日の地震がこの場所では最も大きな被害を及ぼし、強力であったことを実証したことになる。

また灯籠の転倒した様子から、地震の波が北から南へ流れたと予測しうるほどであった。このことは5月13日の地震から認めうるが、それ以前(3月26日、4月3日)の地震では灯籠の倒れ方に規則はなかった(図2参照)。しかし2代忠長の墓を囲む井垣は北から南西へ倒れていた(図4参照)。

4．対策について

4・1宗功寺墓地の墓石の修理

墓石(No.19)の台座の傾きが最も大であったために、基壇石から直した。他の墓石の台座は動かさずに屋根石を全部はずし、内部の宝篋印塔を直し、前後の壁石の間にステンレスのかすがいを入れてエポキン樹脂で固めた(写真5参照)。割れた石もステンレスの軸奉を入れエポキン樹脂で接着した。剥離した石を同じくエポキン樹脂で接着し、石が失われた箇所には同様の凝灰岩を粉沫にして樹脂にまぜて塗ることで修復した。この修理で再度の地震に耐えうるとの判断によるものであった。灯籠に関しては柄穴を掃除する程度で、再び重ねた。例えば笠と火袋をエポキン樹脂等で固めると転倒はしないものの修理の時にはがすことができない。これでは修理しながら保存することができなくなるために、文化財の場合は避けなければならない。だからといって、そのまま同じ方法で積むことがよいかを考えなければならないが転倒して割れた場合はエポキン樹脂を使うことで接着可能とのもとに積むことになった。

4・2出水麓の土蔵の修理

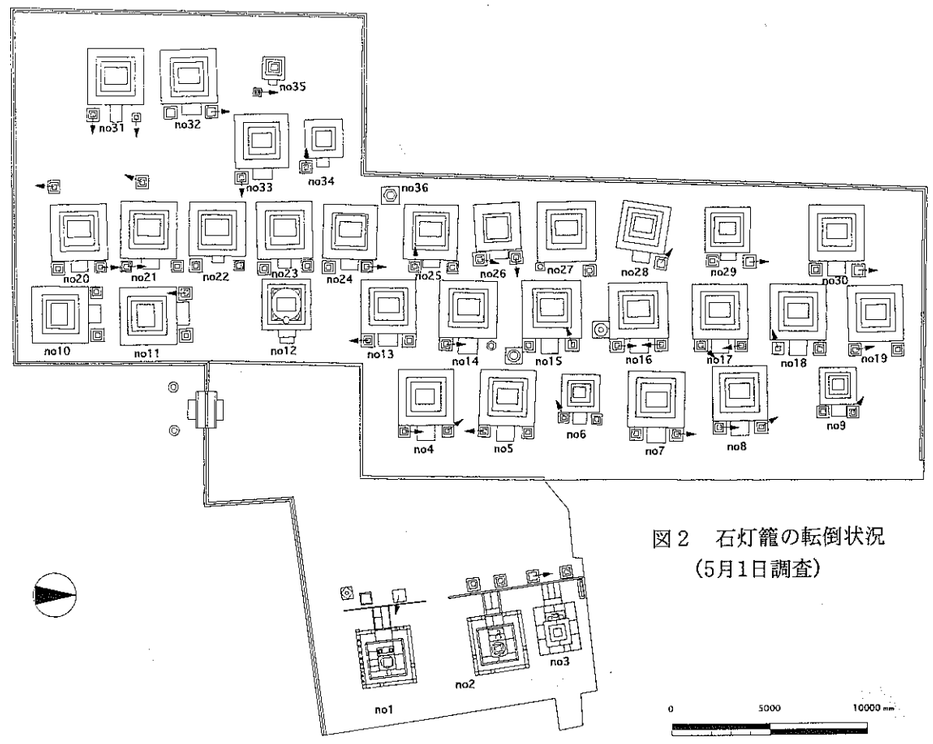


図２　石灯籠の転倒状況
(5月1日調査)

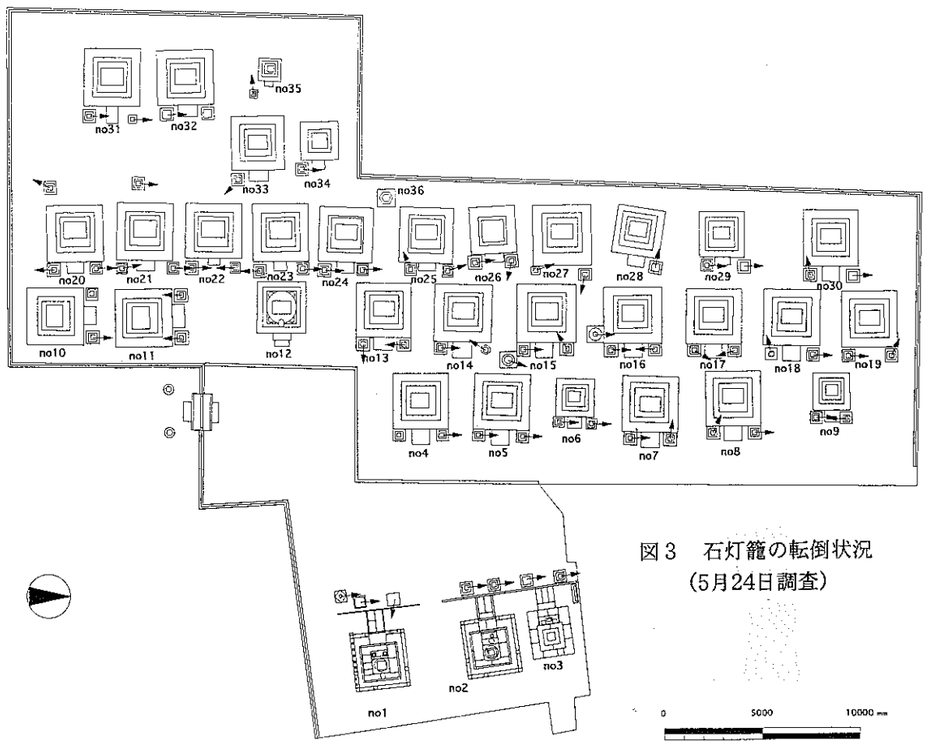


図３　石灯籠の転倒状況
(5月24日調査)

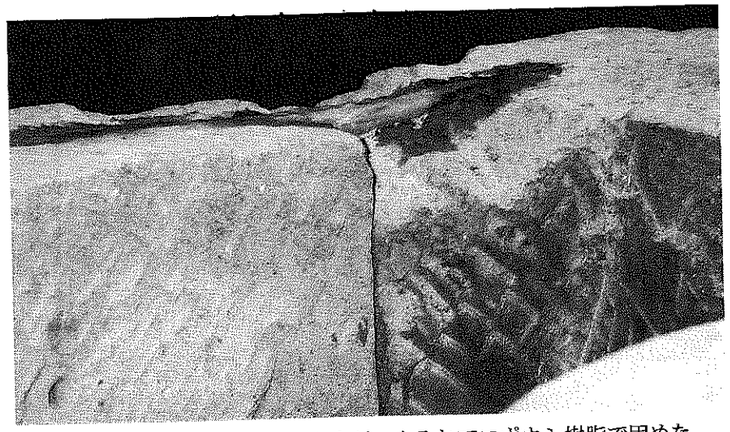


写真５　ステンレスのかすがいを入れてエポキシ樹脂で固めた

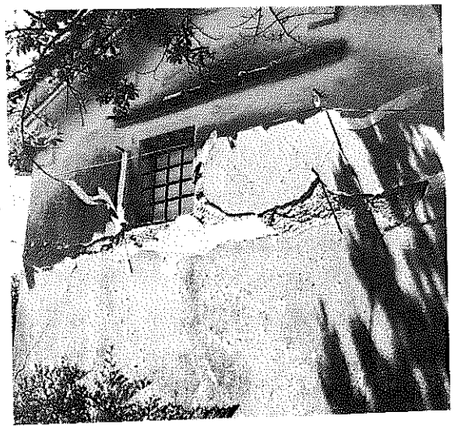


写真６　4月3日の地震で剥離が生じた
伊藤家の蔵（5月9日撮影）

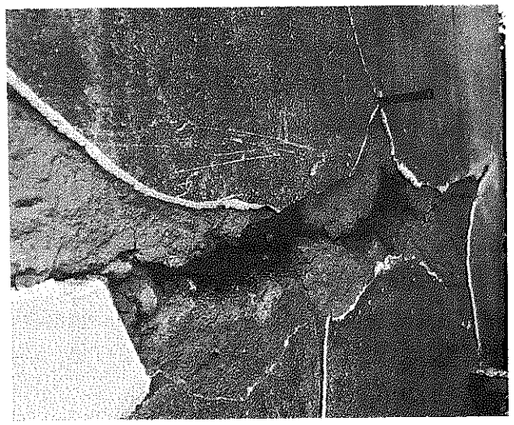


写真７　５月16日の地震で亀裂が一層大きくなる
伊藤家の蔵（5月19日撮影）

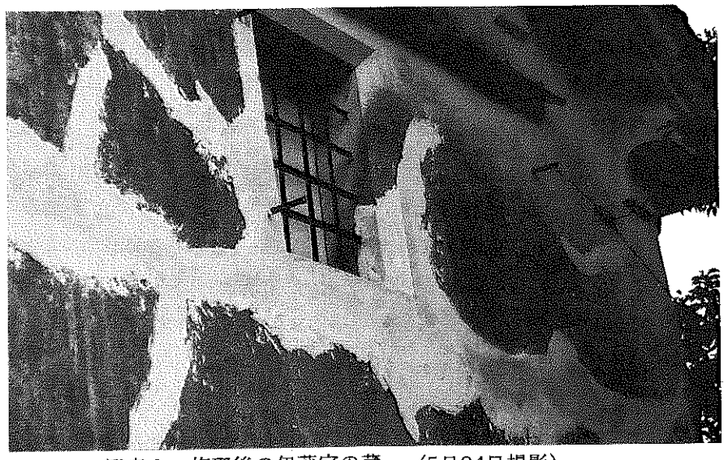


写真８　修理後の伊藤家の蔵　（5月24日撮影）

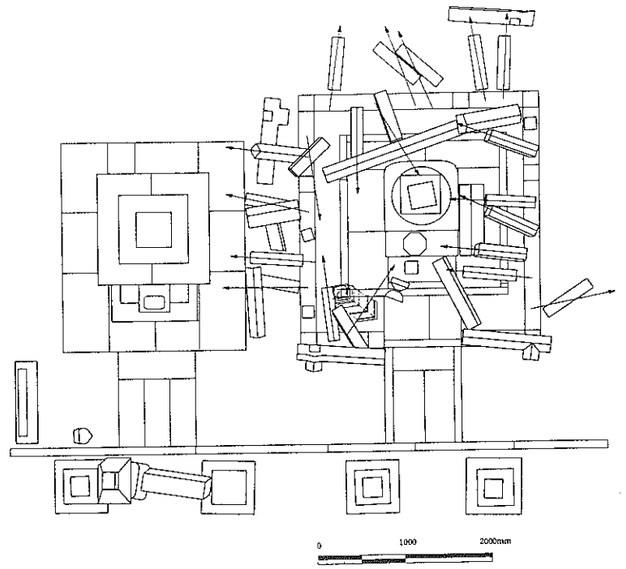


図４　二代忠長の墓を囲む井垣の転倒状況（4月24日実測）

伊藤家の土蔵は3月26日、4月3日、4月13日の3度の地震でその度に被害を受け、亀裂がひどくなった(写真6.7参照)。このことから、ご当主は漆喰を塗って修理した。その時修理した左官屋さんは下地の土を竹と縄に固定すればこの被害は防げるとのことであった。下地全体から修理することで強度が増すことは確かだが、見た目に見苦しくない程度の修理を行った(写真8参照)。この方法も形態の維持には大切なことである。破損修理が保存の基本だから、全部であるにせよ部分であるにせよ評価すべきこととと考える。

この調査にあたり晴永知之助手、比嘉健・三浦将功・田中秀樹・田原圭一郎・福永尚敬以上院生、それに戴菲研究生は不自由な中で実測をしてくれた。また、比嘉健君・田中秀樹君・田原圭一郎君・福永尚敬君・戴菲君には図面を作成してもらい、ここに記して感謝の意を表したい。

1997年３月と５月の鹿児島県北西部地震による農地・農業用施設の被害状況

鹿児島大学農学部　　平　瑞樹　三輪晃一　若松千秋　石黒悦爾

１　はじめに

1997年３月と５月に震源の異なる大きな地震が鹿児島県北西部を襲った。県本土において、マグニチュード６を越える地震の規模は1968年えびの地震以来で、地域住民は不安な生活を強いられた。さらに、地盤が緩んだ状態で梅雨に入るため、大雨による崖崩れ等の二次災害にも注意が払われた。

農業面において；農地や農道の損壊、農業用ダムや溜池の亀裂、水路の破損等多くの被害が出ており、田植え準備を目前に被害状況の調査が急務となった。本報告では、被害の大きかった農地や農業用施設を中心に現地調査した結果と、県農地建設課の資料を参考に被害の概要を報告する。

２　地震の発生状況と被害の概要

1997年３月26日、17時31分川内市の北北東20km、宮之城町の北西15kmを震源とする地震が北薩地方で発生した。その後、本震から4月上旬にかけて強い余震が続き、小康状態から終息に向かうものと予想された。ところが、５月13日、14時38分再び強い地震が起こった。しかも、3.26地震とほぼ同じ規模の地震であり、また震源が西南西に7kmずれる新たな地震であることが判明し、過去に例のない特異な現象として取り扱われた。新たな被害が加わり、地震の影響範囲が拡大したため、復旧作業に着手し始めたばかりの被災地域の住民や関係者の疲労と恐怖はさらに増した[1)]。

鹿児島県は地震発生後、災害警戒本部を設置し、被害情報の収集を行った。また、市町村でも災害警戒本部を設置し、危険個所の点検や避難対策に務めた。一方、県農地建設課は、市町村等との連携のもとに農業用施設の点検と各地域の被害概要をまとめた。3.26地震と5.13地震後の農地・農業用施設の被害個所数と被害額を表１に示す。二度の地震を比較すると、水田と農道の被害が被害個所数、被害額ともに大きい。図１は地震の震源地と被害個所をプロットした結果である。震源から5～15kmの地区に被害が集中していることがわかる。

３　現地調査による農地の被害

３．１　水田（宮之城町泊野）

泊野地区は、泊野川の上流に位置し、花崗岩が広く分布している[2)]。風化の状況により、強風化（礫～マサ土）、中風化、弱風化に区分される。Ｖ字型の谷の両岸部は亀裂の発生が顕著で、一定した風化状態でないことから複雑な地質状況であり、震動に対して敏感に反応したと思われる。付近一帯の棚田は、より広い面積の確保、法面保護対策のため、土羽は野面石積（1:0.2～0.3）が採用されており、高さ1.5～3.0m程度の段階状を形成している。震動による畦畔の亀裂崩壊が大小含めて数多く発

表１　農地・農業用施設関係の被害個所数と被害額

地震		3.26地震		5.13地震	
種別		被害個所数（%）	被害額［千円］（%）	被害個所数（%）	被害額［千円］（%）
農地	田	１０１(31.4)	１８８，０００(20.4)	１０８(32.0)	２９８，８００(24.1)
	畑	３２（9.9）	６０，０００(6.5)	３８(11.2)	６８，２００(5.5)
小計		１３３	２４８，０００	１４６	３６７，０００
農業用施設	溜池	４(1.2)	７０，０００(7.6)	５(1.5)	８１，０００(6.5)
	道路	９５(29.5)	３４８，０００(37.8)	１０３(30.5)	５７０，４００(46.0)
	水路	８３(25.8)	１７４，０００(18.9)	８１(24.0)	２０１，６００(16.3)
	頭首工	１(0.3)	２，０００(0.2)	１(0.3)	６，０００(0.5)
	揚排水機	２(0.6)	７，０００(0.8)	—	—
	堤防	１(0.3)	５３，０００(5.8)	—	—
	橋梁	１(0.3)	５，０００(0.5)	—	—
	その他	２(0.6)	１４，０００(1.5)	２(0.6)	１４，０００(1.1)
小計		１８９	６７３，０００	１９２	８７３，０００
合計		３２２（100）	９２１，０００（100）	３３８（100）	１，２４０，０００（100）

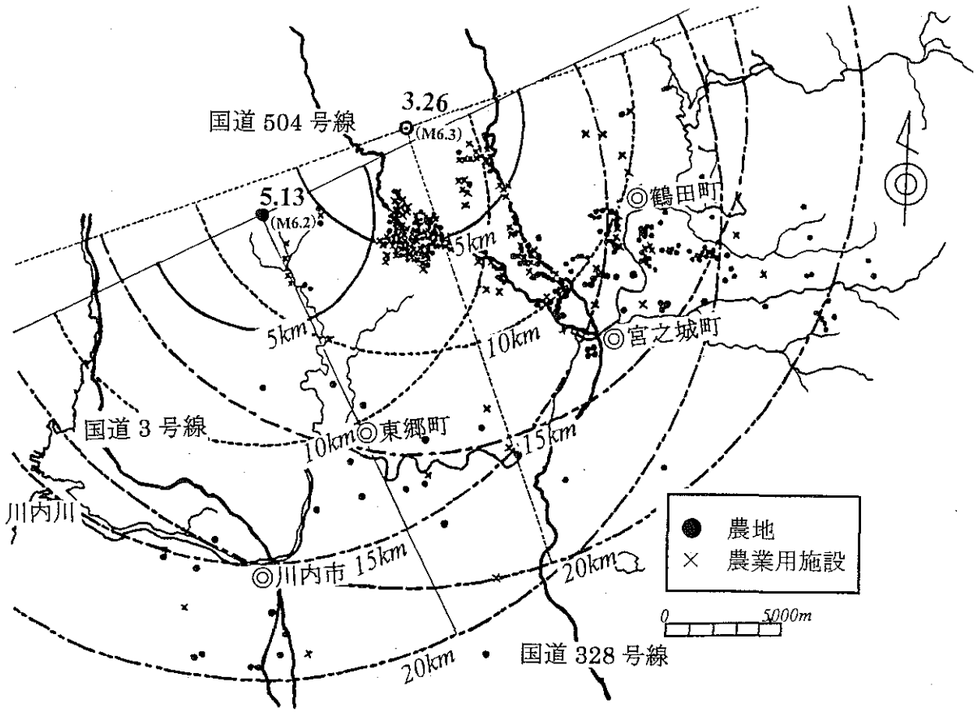


図１　震源地と被害個所のプロット

生し、田畑の中にも一定方向に亀裂が目視により確認できた。

農業農村整備事業の一環で、泊野川上流に「きららの里」と称して整備が進められているが、マサ土の斜面崩壊や農道の下に埋設したパイプが破損したため陥没が起こっている（写真１）。アスファルト舗装の一部には、路床土としてのシラスが降雨によって侵食され、被害を大きくしているようである。また、夏に利用が期待された住民の憩いの場としての公園施設も被害を受けている。

３．２　畑地（宮之城町甫立原）

県営農地開発事業により、77haの山林と原野が農地として造成された甫立原地区は、標高80～120mの起伏の激しいシラス台地である。ほぼ南北に長さ約2.4km、幅100～150mの細長い台地状の山林であったが、1989～1995年にかけて農地造成した地区である。周辺を20～30mの深いシラスの侵食谷に囲まれた圃場は、東西方向に激しく揺すられ、多くの亀裂や沈下、崩壊等が発生したものと推察される。いずれも盛土部分および、盛土と切土の境界部分に多くの亀裂、不等沈下による波状化が発生している。特に盛土部分の開口亀裂、切土と盛土境の地盤のズレなど大きい所で幅10～15cm、深さ1.2m程度の開口が見られ、約40%の圃場が地震災害を受けているため、災害復旧対策個所は24カ所を数える（写真２）。

３．３　その他

他の農地に関する災害としては、山崩れ、シラス崖の崩落による埋没が多い。河川沿いの土羽などは、自然の状態で片方の支えがないために、大きく揺すられ、5～10cmの開口亀裂や土羽崩れが発生している。特にマサ土が分布している所が顕著である。また、谷地田で県営圃場整備の終了した地域では、特に目立った災害は発生していないが、高い法面および地区周辺部に亀裂等が発生している。

４　農業用施設関係の被害

４．１　農業用ダム・溜池

1995年1月の阪神淡路大震災（M7.2）においても約1,200カ所の溜池被害が確認されており[3]、149カ所のダム、溜池がある北薩地域（出水、川内管内）において、これらの決壊による二次災害が予想された。県農地建設課では地震発生直後に情報網の混乱が発生したものの、2時間経過後「防災ダム」に異状がないとの報告を受けた。さらに、溜池の多い川内市では点検情報を受け、異状が確認された溜池については落水を指示した。点検・診断の結果、数カ所の亀裂被害があったのみで大事な被害に至っていない。川内管内には82カ所の溜池が設置されており、うち6カ所について、地山護岸部の亀裂、ブロック練積工の倒壊、漏水の増加等が発生しているが、決壊など危険性につながるものはなかった（表２）。なお、管内入来町の防災ダムは、地震の影響は認められない。また、隣接する出水耕地事務所および伊集院耕地事務所管内に、それぞれ１地区の防災ダム堤体に亀裂が発生しているものの、特に貯留に支障をきたすものではなかった。

表２　溜池の点検・診断結果

溜池名（竣工年）	総合診断*	堤体	洪水吐	池敷	管理道路
宮上溜池（1915）	A	亀裂、中央崩落、護岸亀裂	一部剥離、崩壊、亀裂	記念碑転倒	亀裂
有山溜池（不明）	B	崩落	－	一部剥離	－
天神池（1729）	C	亀裂、ブロック亀裂	－	－	－
須貫段溜池（1850）	B	亀裂	地山落石	自然石積ズレ	亀裂
藤次原溜池（1764）	A	ブロック亀裂	－	護岸擁壁すべり	－
永山溜池（1935）	A	亀裂	－	－	－

＊総合診断　A：緊急に対策が必要、B：緊急に詳細な調査が必要、C：何らかの検討が必要

4．2　農道

重要構造物としての橋梁は、古い石橋も含め、被害は確認されなかったが、取付道路部が盛土であるために、5～10cmの段差が発生している。舗装面の亀裂は、盛土部あるいは盛土と切土境に大きな亀裂が集中している。舗装亀裂の形態としては、側溝とアスファルト舗装間の10～20mmの開口、高い盛土区間の１～10mmの開口亀裂または、片側５～25cm程度の陥没現象が至る場所で見られた。特に、農地災害の大きい甫立原地区の幹線道路は、細長いシラス台地のほぼ中央を南北に走っており、センターラインや、路肩の白線が左右に10～20mm蛇行していることから、東西方向に激しい揺れが起こったと考えられる。この幹線は、延長約2,800mに対し、1,137mが被害を受けている（写真３）。

4．3　水路

中山間地域における用水路は、上流の谷間から水田まで山腹を走る水路や法尻付近を通過する水路が多い（写真４）。そのため、急峻なシラス崖の山崩れ、大きな花崗岩等の落石、法面の斜面崩壊によって埋没したり、決壊している場所が多い。また、排水路も谷間や地区の低い部分に設置されているため、山崩れなどにより埋没している。

4．4　その他

パイプラインの被害は、泊野地区で見受けられたが、川内市内の水田圃場整備内の約270haは地震の影響を受けていない。取水設備としての頭首工については、堤体への影響はないものの、護岸ブロックに亀裂や転倒が発生している。また、15ヵ所の揚水機場が設置されているが、異状は認められなかった。甫立原地区の幹線道路において、直角に埋設された支線パイプ（直径75～150mmVP）の２カ所に折損が認められた。

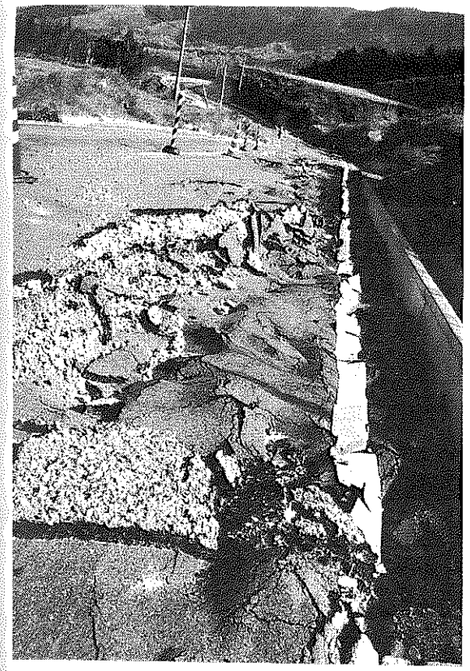


写真１　パイプラインの破損による農道の被害（泊野地区）

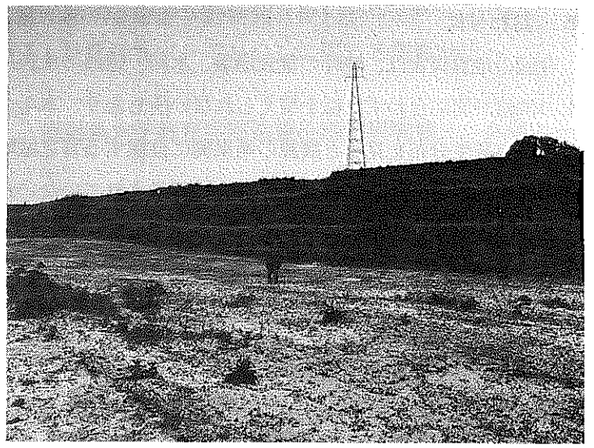


写真２　波状化した圃場（甫立原地区）

写真３　幹線道路の蛇行（甫立原地区）

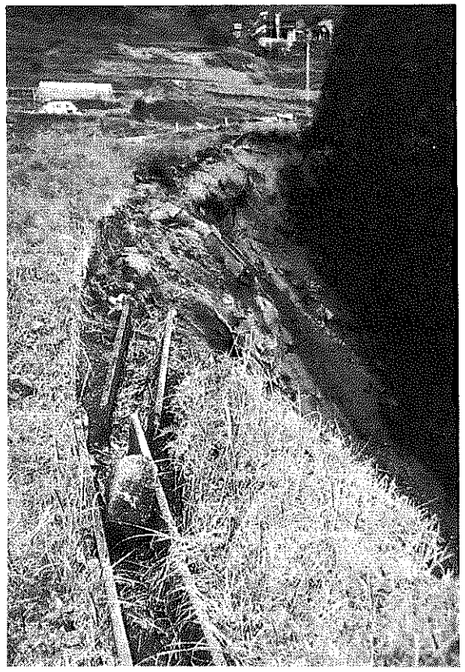


写真４　斜面の崩壊により被害を受けた水路（泊野地区）

5　おわりに

今回の地震災害は、畦畔の亀裂崩壊、水路、道路の亀裂崩壊や埋没が主体となっている。一部、用水の供給が間に合わず、稲を植えられない所もあり、本年の収穫をあきらめざるを得ない農家もあった。災害発生分布を見ると震源の南東側に位置する宮之城町、鶴田町に集中している。震源から北部近辺は山林が多いため耕地関係の被害は報告されていないが、震源から10～15km内、余震の震源地も５～10km内、あるいは、直下に近い地震が発生している地点では、報告にないかなりの被害を受けていると思われる。また前述の地形、地質さらには、強い余震の続くなかで降雨が発生し、開口亀裂への雨水侵入により被害が拡大した個所も少なくない。溜池の多い川内市では、決壊による農業用水の確保が懸念されたが、大事には至らなかった。老朽化した溜池も多く、今後地震に対する対策も検討していかなければならない。

参考文献

1) 鹿児島県北西部地震被災状況調査報告書、（社）鹿児島県地質調査業協会（1997）
2) 鹿児島県の地質、鹿児島県地質図編集委員会、pp. 1-117(1990)
3) 兵庫県南部地震ため池災害復旧査定設計マニュアル（設計編）, 兵庫県農林水産部農地整備課(1995)

「鹿児島県北西部地震に関する心理学的研究（Ⅳ）」
～被災３ヵ月後の児童生徒の外傷後ストレス障害（ＰＴＳＤ）に関する調査分析～

鹿児島大学教育学部治療心理学研究室　　久留　一郎

1．問題

1．1　ＰＴＳＤの概念とその意義

わが国においては、ＰＴＳＤという臨床的単位が数年前までは一般化していなかった（久留、1990、1991、1992、1993、1995）。そのため実際は、よく知られた既存の「神経症的概念（戦争神経症、外傷性神経症、災害神経症、補償神経症など）」により、治療的アプローチや援助がなされていたものと推測される。ＰＴＳＤを神経症の概念としてとらえた場合、そのアプローチは、原因追及とその分析が強調されがちとなり、症状が悪化するという危険性がある。

正確な診断が、適切な治療や援助につながることは言うまでもない。従って、この診断名（ＰＴＳＤ）が、医学や心理学、保健学や看護学などの分野において定着化し、その治療や援助の方法の確立が急がれる。

1．2　ＰＴＳＤの症状

ＤＳＭ－Ⅳ（1993）によるＰＴＳＤの症状を以下に示す（表１）。

Ａ領域は、発症の契機が述べられている。すなわち、人間の生命、存在に重篤な危機感情を及ぼすすべての現象が症状発生の引き金になる可能性があると言われている。例えば、自然災害（地震、洪水、台風など）、戦争、誘拐、暴力、極端ないじめ、性的虐待、交通事故、火災などの他、様々な家庭内の不遇な事件、乳幼児突然死症候群（ＳＩＤＳ；Sudden Infant Death Syndrome）による両親のショック、ハイジャック、収容所体験、事件や事故の目撃などである。最前線に立つ救援隊の側もＰＴＳＤに罹患することがあり、ＣＩＳ（Critical Incident Stress）といわれる。

以下Ｂ、Ｃ、Ｄ領域はＰＴＳＤの症状が述べられている。

Ｂ領域（外傷的な出来事を持続的に再体験）は、想起したくないのに繰り返し思い出される苦痛を意味する。従って外傷的体験を、無理に言わせたり、表現させたりすることは危険である。筆者の印象では、欧米の精神文化に基づく治療技法を、直訳的に日本という「恥の文化」に持込んだ場合、症状を重篤化させる危険性が考えられる。

Ｃ領域は、外傷に関連した刺激状況に対して、無意識的に「回避」する傾向である。回避していることを無理に表現させることは、傷口をナイフでつつくようなものである。また、外傷体験の想起不能という現象が生じることもある。特に、裁判沙汰になると事件、事故との因果関係を厳しく追及され、窮地に追込まれることもある。

その他、内閉的状態に陥り、対人的、社会的に孤立したり、また、離人体験などが生じ、ゆたかな生き生きとした幸福感が縮小する場合もある。

D領域は、「覚醒亢進」である。神経が興奮したような状態になり、些細なことに過度に反応し、集中力の困難、睡眠障害、怒りの爆発、過度の警戒心、驚愕反応などが出現する。周りの人間には、当人の人格がすっかり変わり、別人のような印象を受けることがあるが、ＰＴＳＤの人間は、死よりも辛い状況（worse than death）の中でもがき苦しんでいることを理解しておく必要がある。

表1　　ＤＳＭ－Ⅳ（1994）

309.81　外傷後ストレス障害　Posttraumatic Stress Disorder

A．患者は、以下の２つが共に認められる外傷的な出来事を暴露されたことがある。
（1）実際にまたは危うく死ぬまたは重傷を負うような出来事を、１度または数度、または自分または他人の身体の保全に迫る危険を、患者が体験し、目撃し、または直面した。
（2）患者の反応は強い恐怖、無力感または戦慄に関するものである。
注子どもの場合はむしろ、まとまりのないまたは興奮した行動によって表現されることがある。
B．外傷的な出来事が、以下の１つ（またはそれ以上）の形で再体験され続けている。
（1）出来事の反復的で侵入的で苦痛な想起で、それは心像、思考、または知覚を含む。
注小さい子供の場合、外傷の主題または側面を表現する遊びを繰返すことがある。
（2）出来事についての反復的で苦痛な夢。
注子どもの場合は、はっきりとした内容のない恐ろしい夢であることがある。
（3）外傷的な出来事が再び起こっているかのように行動したり、感じたりする（その体験を再体験する感覚、錯覚、幻覚、および解離性フラッシュバックのエピソードを含む。また、覚醒時または中毒時に起こるものを含む）。
注小さい子どもの場合、外傷特異的な再演が行われることがある。
（4）外傷的出来事の１つの側面を象徴し、または類似している内的または外的きっかけに暴露された場合に生じる、強い心理的苦痛。
（5）外傷的出来事の１つの側面を象徴し、または類似している内的または外的きっかけに暴露された場合の生理学的反応性。
C．以下の３つ（またはそれ以上）によって示される、（外傷以前には存在していなかった）外傷と関連した刺激の持続的回避と、全般的反応性の麻痺。
（1）外傷と関連した思考、感情または会話を回避しようとする努力。
（2）外傷を想起させる活動、場所または人物を避けようとする努力。
（3）外傷の重要な側面の想起不能。
（4）重要な活動への関心または参加の著しい減退。
（5）他の人から孤立している、または疎遠になっているという感覚。
（6）感情の範囲の縮小（例：愛の感情を持つことができない）。
（7）未来が短縮した感覚（例：仕事、結婚、子ども、または正常な一生を期待しない）。
D．（外傷以前には存在していなかった）持続的な覚醒亢進症状で、以下の２つ（またはそれ以上）によって示される。
（1）入眠または睡眠維持の困難。
（2）易刺激性または怒りの爆発。
（3）集中困難。
（4）過度の警戒心。
（5）過剰な驚愕反応。
E．障害（基準Ｂ、Ｃ、およびＤの症状）の持続期間が１ヵ月以上。
F．障害は、臨床的に著しい苦痛または、社会的、職業的または他の重要な領域における機能の障害を引き起こしている。
➡該当すれば特定せよ：
急性：症状の持続期間が３ヵ月未満の場合
慢性：症状の持続期間が３ヵ月以上の場合
➡該当すれば特定せよ：
発症遅延：症状の始まりがストレス因子から少なくとも６ヵ月の場合

1．3　ＰＴＳＤの診断

診断にあたっては適切で極めて慎重な面接が重要である。
特に、面接者によって根掘り葉掘り聞き出されることが、外傷的体験を強化するため、症状と病歴を表明することに強い抵抗を生じることになる。従って、アンケート調査等を実施する際も、慎重に配慮し、ＰＴＳＤの心理的意味を理解しておく必要がある。

ＰＴＳＤをより正確に把握するために、Davidson（1995）は、以下の点を挙げている。

①身体症状：非特異的な身体的な不快感やとらわれ、頭痛、疼痛症候群などがみられる（Benedict と Kolb,1986）。

②睡眠障害：睡眠障害に関係した主訴（出来事に関連した生々しい悪夢など）や就寝を共にしている人が、耐えられないほどに激しい睡眠障害であれば、ＰＴＳＤの可能性が高い。

③易刺激性、爆発性、挑発されないのに生じる攻撃性。

④他人と距離をとり、引きこもる。孤立化、不機嫌、頻回のふさぎ込み。特に、本来の性格と一致しないならば、ＰＴＳＤが疑われる。

⑤抑うつ、自殺念慮、自殺企図がある場合。

⑥不安の覚醒レベルが高いこと、生理的な不安定性。

⑦反社会的な行動や法律違反。成人に達し初めてこれらの行動が出現する場合、その原因にＰＴＳＤが考えられる。

⑧物質乱用、アルコール乱用。例えば、ＰＴＳＤによる精神的苦痛を回避するため、それを必要とする場合。

ＰＴＳＤの諸症状は、その他の障害の諸症状と類似していることがある。

ＰＴＳＤと似て非なる症状に、パニック障害（発作）がある。パニック障害は、身体反応が中心であり、持続時間も短く、突発的に発生するものである。ＰＴＳＤとの大きな違いは、生命を脅かすような状況を体験したことはない（ＰＴＳＤのように、外傷体験がない）点であろう。

またＰＴＳＤは、ヒステリー反応のように、疾病利得的病理性が認められない。しかも、十分な補償がなされても症状は残存する。

1．4　社会的・法的問題

ＰＴＳＤの多くは慢性化しやすい。例えば、戦争捕虜や戦争体験者は、50年後の現在もその症状に苦しんでいる。しかも、適切な治療もうけられず、あげくに補償の問題に関しては、わが国における心の障害の認定基準は未だにアナクロニズム的状況にある。

筆者はこれまで、三例の災害関連死認定と裁判のケース（鹿児島 8.6水害での自然災害関連死による認定、阪神・淡路大震災での震災関連死による認定、インセストによるサバイバーの氏名変更申立て裁判による認定）について、ＰＴＳＤに関する情報を提供し、支援してきた。幸いにも三例とも公的に認定された。このことは、ＰＴＳＤに苦悩する人間に対して、我が国においても、ようやく共通理解の光がさしてきたような感がしている。

法的係争は、ＰＴＳＤに苦悩する人間を矢面に立たせ、苦痛な過去の事故を強制的に再体験させ、

苛せるという（Silverman,1986）。ＰＴＳＤが法的な論議に持込まれた場合、よく問われるのが以下の点である（森山、1990）。

「病前のパーソナリテイの問題」について、病前の健康状態に有意差はないと報告されている。1985年のメキシコ大地震後のＰＴＳＤでも、ほとんどの発症者はそれまで全く正常な生活を送っていたという（角川、1988）。

「事故と症状の因果関係」が判断困難になるのは、遅延性のＰＴＳＤや、発症してから受診するまでの期間が長過ぎる場合であるが、もともとＰＴＳＤは直後に発症することは少ない（森山、1990）。

「詐病」の疑いについては、ＰＴＳＤという症状の動揺性と解離症状の存在が知られていないという誤解から生じるものである。ましてＰＴＳＤの複雑な症状を長期にわたって故意に創出し得るとは考えられない（Modlin,1983）。

「補償と症状の関係」については、Silverman（1986）は、十分な補償がある環境でさえＰＴＳＤは起こり、職場復帰の時期も裁判の継続とは関係がないことを示している。死よりもつらい「ＰＴＳＤ」という症状を故意に作ることは不可能であることが何よりの証拠であろう。

「障害の程度の認定」については、労働能力の低下や障害の程度の測定が問題になるが、身体的損傷と同様に、心理的損傷に対しても同等の価値観を考慮しなければならない（Modlin,1983）。

１．５　出現率と発症の時期

米国では一般人口の約１％がＰＴＳＤの既往を持つとされる（Helzer ら,1987）。通常の災害事故で一般病院に入院している被害者は、半年後に１～４％の割合で本症に苦しむという（Malt,1988）。

事件、事故後の「精神的ショック」で裁判沙汰になっている場合、事情聴取、喚問などにより、フラッシュバックが生じ、通常の出現率の約６倍（23％）がＰＴＳＤになるといわれる（Bellら,1988）。また、スクールバスのバスジャック事件に晒された子どもたちは、そのほとんどにＰＴＳＤが発症したと言われる（Terr,1983）。

発症の時期は、直後の発症は少なく、災害や事故後、１ヵ月から６ヵ月以内といわれているが、それ以降に発症するケースもある（発症遅延）。

ＰＴＳＤの特徴として精神科的治療の遅れが指摘されている。米国でも交通事故後のＰＴＳＤ患者が精神科を訪れるまで、平均 29週を要しているといわれる（Burstein,1986）。精神科受診が遅れるほど、治療からの脱落も増える。その点、総合病院内精神科や心理室の存在は重要である。

１．６　症状に影響を及ぼす心理的因子

Lauferら（1985）は、戦闘後のＰＴＳＤについて、客観的な状況の激しさよりも、本人の叙述する主観的意味づけを重視すべきだと主張している。

同様に、Foaら（1989)も、実際の脅威よりも、「知覚された脅威」の方が重要であると強調している。例えば、同じレイプでも、思いもよらぬ自宅で、絶体絶命の中で遭遇すれば、ＰＴＳＤに高頻度に結びつくという。McFarlane（1988b）が報告する全盲者におけるＰＴＳＤの事例は、信頼していた男性によるレイプ、安全なはずの横断歩道での交通事故、隣人からの暴力行為が契機になっている。

その当人が「いかなる状態でその状況を体験し、受けとめたかという心理的意味」が症状に大きな影響を与えている（Wilsonら,1985）という。

１．７　被災者、被害者の心理的状況

ケースによっては、災害や事故の被害者（ＰＴＳＤ）は治療者に対して、敵（加害者）か味方（援助者）かという二者択一的態度をとる傾向がある。例えば、レイプされた人間は、therapist（治療者）を“the rapist（強姦者）”とみなしかねないという（Rose,1986）。

被害者や被災者の心理的世界は、他人（対外的状況）のせいで自分の人生を台無しにされたという意識が生じやすくなる。そのため、一方的で権威的な治療者に対して、疑心暗鬼の感情や反抗心を持つ場合がある。また、サバイバーとして生き残ったものの、亡くなった人のことを思い、罪責感、恥辱感など精神的葛藤に苛まれる。

従って、治療的、援助的接近において、被害者、被災者に対して、受容的で共感的なかかわりを一層重視すべきである。

１．８　ＰＴＳＤと鹿児島県北西部地震

鹿児島県北西部において、1997年３月26日に震度５強の地震があり、続いて５月13日に震度６弱の地震が発生した。

「外傷後ストレス障害（ＰＴＳＤ；Post-traumatic Stress Disorder）」は、人間の存在、生命に危機的影響を及ぼす「異常な状況」における「正常な反応」と言われる。すなわち、全く突然で予期出来ず（unpredictability）、自らの意志で制御することの出来ない（uncontrollabilty）事件・事故・災害状況に巻き込まれると、誰もがＰＴＳＤという心理的状況に晒される。今回の二度の大地震からは、ＰＴＳＤ発症が大いに予測される。

ＰＴＳＤという心的状態は、主訴と症状の隔たりや、外傷体験後の発症が遅れるため、その診断は非常に困難になる。しかも、適切な治療がなされなければ、症状の慢性化や重篤化の危険性が十分に予測される。ことに発達期に受けた外傷的体験は、形成途中の性格に甚大な悪影響を及ぼすといわれる（中井、1996）。

現在、筆者らは、プロジェクト・チームによる支援体制を確立し、ＰＴＳＤ発症の予防、危機介入を行なってきた。震災直後より、スタッフへの研修会で震災後の心のケアに関する啓蒙、啓発をするなど、予防的危機介入を行なった。被災地区を訪ねてみると、建物の損壊のみならず、被災者の心理的状態は、不安や恐怖、不眠や苛立ちなどが生じていた。

わが国における、災害後の児童生徒の心の健康調査は、雲仙・普賢岳噴火災害、北海道南西沖地震、阪神・淡路大震災において、実施されているが、今回の鹿児島県北西部地震のように、短期間のうちに２度の大地震に遭った例はほとんどない。幸いにも死者は出なかったものの、全く予測のつかない、しかも、制御することのできない二度の外傷的体験（地震という状況）にさらされた児童生徒には、ＰＴＳＤ発症が十分に予測される。

ＰＴＳＤの早期発見、早期治療は、その予後を良好にするものといわれる。そこで、今回、震災の

約３ヵ月後に、本県北西部地震により被災した児童生徒の心の健康アンケート調査を実施し、実態把握を試み、危機介入のありようを考察した。

2　方法

2.1　対象

対象地区は、阿久根市、川内市、東郷町、宮之城町、鶴田町、薩摩町の２市４町である。小学校８校、中学校６校、高校４校が対象校になった。

サンプリングは、３学年おきに抽出し、被災後２年間の調査期間を予定し、小学２年生、小学５年生、中学２年生、高校２年生を対象にした。

2.2　回収数

回収数は、小学２年生126名、小学５年生130名、中学２年生188名、高校２年生167名の計611名である（表2）。

鹿児島県教育委員会の協力を得て、各学校にアンケート用紙を配布したため、きわめて高い回収率となった。

表2　鹿児島県北西部地震
児童生徒の心の健康調査（1997.7.）
回収数

学　年	M	F	不明	Total
小学2年	55	67	4	126
小学5年	65	62	3	130
中学2年	89	98	1	188
高校2年	62	103	2	167
Total	271	330	10	611

注）「不明」：性別未記入

2.3　実施時期と方法

調査時期は、３月26日と５月13日の震災から約３ヵ月後にあたる1997年７月中旬であった。

小学生に関しては、アンケートは全て、親あるいはキーパーソンに記入してもらい、中学生と高校生は、本人により、自己チェックしてもらった。いずれも無記名で依頼してあるが、個別面接を希望する場合は、氏名・連絡先を記入する覧を設けた。

2.4　調査内容

調査内容として、「フェイスシート」「ＤＳＭ－Ⅳ（1994）修正版」「ＧＨＱ30」を使用した。

まず、調査用紙に、フェイスシートを添付し、「被災状況」「地震に遭った時、どのような状況で、どのように認知したか」「余震の時に感じること」「地震に対するイメージ」「心配なこと」などを、さしつかえない範囲で（回答することによるフラッシュバックを防ぐため）、記入してもらった。

次に、ＰＴＳＤのスクリーニングを目的にした心理査定は、いくつかみられるが（久留ら、1997）、本研究では、ＤＳＭ－Ⅳ（1994）に準拠し、震災後の状況にあわせ、しかも、回答する保護者や生徒にもわかりやすい言葉で表現した「ＤＳＭ－Ⅳ修正版」を作成した（表３）。

さらに、表4が、WHOによる一般健康調査票：ＧＨＱ60の短縮版、ＧＨＱ30である。震災後に全ての人がＰＴＳＤの診断基準を満たすとは限らないので、児童生徒の心身の健康状態を把握する上で、ＰＴＳＤのスクリーニングと組み合せることにした。質問項目は、児童生徒用に若干平易に表現した。

表３　　あてはまるところに、○をつけてください。

地震は「予期できず」「逃げることのできない」とてもこわい体験です。人のこころに大きなストレスを与えます。そのため、地震のあと、さまざまな体の変化や、気持ちの変化を体験する人がたくさんいます。ここには、大きな地震を経験した人なら、誰もが体験するような心の状態や体の状態をまとめてあります。

お名前（書かなくてもよいです）　　記入した日　　年　月　日

この１ヵ月に、あなたはつぎに述べるような体験（経験）がつづきましたか？

1)	地震のときのこわかった様子が、くり返し思い出される	はい・時々・いいえ
2)	地震のときのこわかった様子をくりかえし夢に見る	はい・時々・いいえ
3)	また地震がおきたのではないかと、びっくりする	はい・時々・いいえ
4)	地震を思い出させるような物を見たり聞いたりすると心が痛む	はい・時々・いいえ
5)	地震のことを思い出すと胸がドキドキしたり、緊張する	はい・時々・いいえ
6)	地震のことを考えたり、話題にすることをさける	はい・時々・いいえ
7)	地震のことを思い出させる出来事や場所をさける	はい・時々・いいえ
8)	地震のことをよく思い出せない	はい・時々・いいえ
9)	地震の後、勉強やクラブ活動などに打ちこめない	はい・時々・いいえ
10)	地震の後、一人ぼっちになった感じがする	はい・時々・いいえ
11)	地震の後、うれしい気持ち、楽しい気持ちが少なくなった	はい・時々・いいえ
12)	地震の後、将来のことを考えられなくなった	はい・時々・いいえ
13)	地震の後、寝つきが悪くなったり、すぐ目を覚ましたりする	はい・時々・いいえ
14)	地震の後、ちょっとしたことで、カッとなり、イライラする	はい・時々・いいえ
15)	地震の後、気がちって、ものごとに集中できない	はい・時々・いいえ
16)	地震の後、ちょっとしたことに、用心深くなる	はい・時々・いいえ
17)	地震の後、ちょっとしたことにもひどく驚いたりする	はい・時々・いいえ

鹿児島大学教育学部治療心理学研究室（久留 修正版）

表4　最近（地震の後）の状態について、あてはまるところに、○をつけてください。

項　　目	0	1	2	3
1　気分や健康状態は	よかった	いつもと変わらなかった	悪かった	非常に悪かった
2　疲労回復剤（ドリンク・ビタミン剤）を飲みたいと思ったことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
3　元気なく疲れを感じたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
4　病気だと感じたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
5　頭痛がしたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
6　頭が重いように感じたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
7　人前で倒れるのではないかという不安は	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
8　からだがほてったり、寒気がしたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
9　よく汗をかくことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
10　朝早く目が覚めて眠れないことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
11　朝起きたとき、すっきりしないと感じたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
12　いつもより元気ではつらつとしていたことが	たびたびあった	いつもと変わらなかった	元気がなかった	まったく元気がなかった
13　夜中に目を覚ましてよく眠れない日は	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
14　夜中に目を覚ますことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
15　落ち着かなくて眠れない夜を過ごしたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
16　いつもより忙しく、活動的な生活を送ることが	たびたびあった	いつもと変わらなかった	なかった	まったくなかった
17　いつもよりすべてがうまくいっていると感じることが	たびたびあった	いつもと変わらなかった	なかった	まったくなかった
18　毎日している勉強（仕事）は	非常にうまくいった	いつもと変わらなかった	うまくいかなかった	まったくうまくいかなかった
19　いつもより容易に物ごとを決めることが	できた	いつもと変わらなかった	できなかった	まったくできなかった
20　いつもより日常生活を楽しく送ることが	できた	いつもと変わらなかった	できなかった	まったくできなかった
21　たいした理由がないのに、何かがこわくなったり、とりみだすことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
22　いつもより、いろいろなことを重荷と感じたことは	まったくなかった	いつもと変わらなかった	あった	たびたびあった
23　いつもより気が重くて、ゆううつになることは	まったくなかった	いつもと変わらなかった	あった	たびたびあった
24　自信を失ったことは	まったなくかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
25　人生にまったく望みを失ったと感じたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
26　不安を感じ、緊張したことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
27　生きていることに意味がないと感じたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
28　この世から消えてしまいたいと考えたことは	まったくなかった	なかった	一瞬あった	たびたびあった
29　死んだ方がましだと考えたことは	まったくなかった	あまりなかった	あった	たびたびあった
30　自殺しようと考えたことが	まったくなかった	なかった	一瞬あった	たびたびあった

表5

被災地区のみなさまへ

被災されて以来、ご苦労の多い生活を送っていらっしゃると思いますが、お体やお気持ちの具合いはいかがでしょうか？どこがどのように悪いという分けではないけれど、何となく元気が出ない、疲れやすいなどさまざまな感じを持っていらっしゃるのではないでしょうか。
このパンフレット（ガイドライン）は、災害（地震）後の、ストレス反応（正常な反応）として、どなたにでも生じる心や体の変化をあらわしたものです。不安やイライラなどのストレスの克服のために、お役に立つよう、作成しました（ガイドライン発行責任者：久留一郎）。

問い合せ先：鹿児島大学教育学部治療心理学研究室（教授　久留一郎）
〒890　鹿児島市郡元1-20-6　　TEL&FAX.099-285-7766

被災された方なら、誰もが感じること

<大人の場合>
1．地震のことが、こわくてたまらない
2．大切なものを失って、悲しみや寂しさを感じる
3．自分をとても無力なものに感じる
4．どうして自分がこんなひどい目にあわなければいけないのかと、怒りを感じる
5．将来に希望がもてず、不安だ
6．何に対しても無関心、無感動になってしまうことがある
<子どもの場合>
1．よく泣く
2．登校しぶりがみられる
3．親の気を引こうとする
4．友達と遊ばなくなる
5．集中力がなくなり、すぐ気が散る
6．反抗的、攻撃的になる
7．地震ごっこなどをする
8．余震をこわがる
このような心の動きは、今回のような大きな災害にあうと、誰にでもおこってくる現象です。時間とともに軽くなりますので、今は無理をせず、自分自身にも周りの人にもにやさしさといたわりが必要です。

体におこりやすい変化

<大人の場合>
1．疲れがとれない
2．眠れない、悪夢よみる、朝早く目が覚める
3．物覚えが悪くなったり、集中できず、イライラすることがある
4．吐き気、食欲不振、胃痛がある
5．下痢になったり、便秘になったりする
6．じっとしているのに胸がドキドキしたり、暑くもないのに、急に汗がでる
<子どもの場合>
1．頭痛や吐き気、かゆみがある
2．怖い夢をみる
3．よく眠れない
4．理由のわからない痛みを訴える
これらの体調の変化もよくあることで、時間の経過にともなって、普通は、徐々になくなります。

少しでも乗り越えやすくするために

1．困っていることを家族や友達と素直に話し合いましょう
安心できる人と一緒に時間を過ごすことは、とても大切なことです
2．睡眠と休息をできるだけ十分にとりましょう
3．軽い運動をして、心と体をほぐしましょう
4．子どもさんへは、あたたかく、ゆったりした気持ちで、十分な安心感をつたえましょう

注意すべきこと

1．このような時期は、不注意による事故やけがを起こしやすいものです
車の運転など、普段より気をつけて生活してください
2．あんまり頑張りすぎないことです。燃えつきてしまいます

次のような場合は、早目に専門家に相談しましょう

1．心身の苦痛がつらすぎる、あるいは長すぎると感じたとき
2．お酒の量が増えて、飲まずにはいられないと感じるようになったとき
3．さみしくてたまらないのに、自分の気持ちを素直に話せる相手がいないとき
4．家族や友人の心や体の変化のことで、心配なことがあるとき

最後に、アンケート調査にご協力いただいた保護者や生徒へは、災害後に誰にでも起こり得る体や心の状態とそのケアのありようについて、ガイドラインを作成し、配布した（表５）。

３　結果

３.１　ＰＴＳＤ出現率

全体の平均は、596名中61名（10.2%）、つまり10人に一人がこのチェックリストでスクリーニングされた（表６）。特に、多感な時期といわれる小学校５年生（13.6%）、中学校２年生（14.0%）に高い出現率がみられた。

1988年のアルメニア地震の３～６ヵ月後に582名の被災児童を対象に調査した結果では、74%がＰＴＳＤに発症していた（Coenjian,1993）。Shannon ら（1994）は、ハリケーンの３ヵ月後に、5,687名の子どもを対象にＰＴＳＤ反応インデックスによる自己評価調査を行ない、５%以上の子どもがＰＴＳＤの症状を有しており、女児の方が男児に比して多いと報告している。

阪神・淡路大震災の約９ヵ月後に、文部省は児童生徒41,105人、保護者32,943人、教師1,162人についての大規模なアンケート調査を行なった。同時に、希望者に対する個別相談を実施した。個別相談によってＰＴＳＤと診断されたケースを基に、アンケート調査でえられた資料から推計すると、震度６以上の地域では、ＰＴＳＤの出現率は、男児で12.5~18.2%、女児で19.5~25.4%と考えられている。しかし、震度４以下の地域でも男児で2.7~7.2%、女児で4.6~11.2%にＰＴＳＤに類似した症状が認められている（山崎、1997）。

米国におけるＰＴＳＤの出現率は１～４%といわれており、今回の調査結果は、決して低い結果ではないといえよう。

表6　鹿児島県北西部地震児童生徒の心の健康調査（1997.7.）
ＰＴＳＤ出現数と出現率

学年／性	M (%)	F (%)	不明 (%)	Total (%)
小学２年	4/52(7.7)	5/ 65(7.7)	1/ 2(50.0)	10/119(8.4)
小学５年	9/63(14.3)	7/ 59(11.9)	1/ 3(33.3)	17/125(13.6) ※※
中学２年	10/87(11.5)	16/ 98(16.3) ※	0/ 1(0.0)	26/186(14.0) ※※
高校２年	2/61(3.3)	6/103(5.8) ※	0/ 2(0.0)	8/166(4.8) ※※
Total	25/263(9.5)	34/325(10.5)	2/ 8(25.0)	61/596(10.2)

注１）DSM-Ⅳ(1994)による「309.81　外傷後ストレス障害（PTSD）」の診断基準に準拠し、Ｂ領域「再体験」より１項目以上、Ｃ領域「回避と麻痺」より３項目以上、Ｄ領域「過覚醒」より２項目以上を満たすことが条件になっている
注２）※　：Ｐ<0.05
　　※※：Ｐ<0.01

３.２　ＧＨＱ30ハイリスク出現率

表７は、ＧＨＱ30項目のうち、心理的に不健康な状態にある７項目以上をチェックした人の割合である。全体の平均は、27.1%。学年別にみると、小学生に高く、また、性差に関しては、男子よりも、女子に有意に高く認められた。ＰＴＳＤの出現率には、有意な性差はみられなかったが、他の研究でも同様に、女子に心身の不健康が高く示されている。

表7　鹿児島県北西部地震児童生徒の心の健康調査（1997.7.）
ＧＨＱ30ハイリスク数と出現率

学年／性	M (%)	F (%)	不明 (%)	Total (%)
小学２年	14/ 53(26.4) ※	24/ 65(36.9)	1/ 2(50.0)	39/120(32.5) ※
小学５年	18/ 62(29.0) ※※	23/ 54(42.6)	2/ 3(66.7)	43/119(36.1) ※※
中学２年	9/ 81(11.1) ※※	29/ 97(29.9)	1/ 1(100.0)	39/179(21.8) ※
高校２年	6/ 61(9.8) ※※	30/102(29.4)	1/ 2(50.0)	37/165(22.4)
Total	47/257(18.3) ※※	106/318(33.3)	5/ 8(62.5)	158/583(27.1)

注１）ハイリスク：ＧＨＱ30の合計得点が７点以上
注２）※　：Ｐ<0.05
　　※※：Ｐ<0.01

被災以前の健康状態が不明であるが、この27.1%（約３～４人に一人）という数値は、決して低くはないと思われる。

今後、震度の低かった地区の統制群との比較検討を試みていく予定である。

３.３　地区別のＰＴＳＤ出現率

表８は、地区別、震度別のＰＴＳＤの出現率である。表中の震度は、３月26日のものである（岩松、1997）。震度５強の宮之城町、５月13日にも震度の高かった東郷町は、高い出現率が示された。

表8　鹿児島県北西部地震児童生徒の心の健康調査（1997.7.）
地区別：ＰＴＳＤ出現数と出現率

学年／性	M (%)	F (%)	不明 (%)	Total (%)
阿久根市：震度５弱	3/ 50(6.0)	8/ 53(15.1)	0/ 2(0.0)	11/105(10.5)
川内市：震度５弱	4/ 78(5.1)	7/ 92(7.6)	0/ 2(0.0)	11/172(6.4)
東郷町：震度５弱	4/ 30(13.3)	3/ 27(11.1)		7/ 57(12.3)
宮之城町：震度５強	10/ 57(17.5)	11/105(10.5)	2/ 4(50.0)	23/166(13.9)
鶴田町：震度５強	0/ 23(0.0)	3/ 21(14.3)		3/ 44(6.8)
薩摩町：震度５弱	4/ 25(16.0)	2/ 27(7.4)		6/ 52(11.5)
Total	25/263(9.5)	34/325(10.5)	2/ 8(25.0)	61/596(10.2)

３.４　地区別ＧＨＱハイリスク出現率

ＧＨＱ30も、ＰＴＳＤと同様、宮之城町、東郷町、加えて薩摩町が高率に認められた（表９）。

表9　鹿児島県北西部地震児童生徒の心の健康調査（1997.7.）
地区別：ＧＨＱ30ハイリスク数と出現率

学年／性	M (%)	F (%)	不明 (%)	Total (%)
阿久根市：震度５弱	4/ 51(7.8)	15/ 53(28.3)	2/ 2(100.0)	21/106(19.8)
川内市：震度５弱	8/ 77(10.4)	25/ 90(27.8)	0/ 2(0.0)	33/169(19.5)
東郷町：震度５弱	6/ 28(21.4)	12/ 26(46.2)		18/ 54(33.3)
宮之城町：震度５強	17/ 55(30.9)	37/102(36.3)	3/ 4(75.0)	57/161(35.4)
鶴田町：震度５強	6/ 21(28.6)	3/ 19(15.8)		9/ 40(22.5)
薩摩町：震度５弱	6/ 25(24.0)	14/ 28(50.0)		20/ 53(37.7)
Total	47/257(18.3)	106/318(33.3)	5/ 8(62.5)	158/583(27.1)

注）ハイリスク：ＧＨＱ30の合計得点が７点以上

３.５　ＰＴＳＤの各項目の出現率

ＤＳＭ－Ⅳ修正版による、各項目の出現率を学年別にみると、まず、小学２年生は、「1)地震のときの怖かった様子が繰り返し思いだされる（55.3%）」「3)また地震がおきたのではないかとびっくりする（70.2%）」「4)地震を思い出させるような物を見たり聞いたりすると心が痛む（71.1%）」「5)地震のことを思い出すと胸がドキドキしたり、緊張する（59.6%）」など、「再体験」の領域に、半数以上みられた。

また、「16)地震の後、ちょっとしたことに用心深くなる」という警戒心は、女子に高く認められた（56.7%）。

小学５年生も小学２年生と同様の傾向がみられた。

中学２年生になると、「再体験」の領域（表３の1)~5)に該当）は小学生に比べると、やや低くなっているが、男女差がはっきりするようになっているのが特徴的である。この傾向は、高校２年生になるとさらに強くみられた。

全体の出現率をみると、「再体験」の領域は、かなり高い出現率が認められ、特に、「3)また地震がおきたのではないかとびっくりする」という項目は、６割以上の児童生徒にみられることが明らかになった（表10）。

また、「再体験」「過覚醒」の領域は、女子に高く認められた。表7のPTSDの出現率では、男女差が有意にはみられなかったが、具体的項目においては、統計上、有意な差が認められ、今後、PTSDに発症する可能性は、十分に予測される。

「不明」は、性別がわからなかったケースであるが、数は少ないにしても出現率が高い点が気にかかるところである。

表10　PTSD：各項目の出現数と出現率（全体）

項目	M：263 (%)	F：320 (%)	不明：8 (%)	Total：591 (%)
1) 地震のときのこわかった様子が、くり返し思い出される	91 (34.6)	161 (50.3)	5 (62.5)	257 (43.5) ※※
2) 地震のときのこわかった様子をくりかえし夢に見る	12 (4.6)	19 (5.9)	1 (12.5)	32 (5.4)
3) また地震がおきたのではないかとびっくりする	145 (55.1)	217 (67.8)	5 (62.5)	367 (62.1) ※※
4) 地震を思い出させるような物を見たり聞いたりすると心が痛む	95 (36.1)	154 (48.1)	5 (62.5)	254 (43.0) ※※
5) 地震のことを思い出すと胸がドキドキしたり、緊張する	99 (37.6)	161 (50.3)	5 (62.5)	265 (44.8) ※※
6) 地震のことを考えたり、話題にすることをさける	45 (17.1)	66 (20.6)	2 (25.0)	113 (19.1)
7) 地震のことを思い出させる出来事や場所をさける	44 (16.7)	46 (14.4)	3 (37.5)	93 (15.7)
8) 地震のことをよく思い出せない	53 (20.2)	58 (18.1)	2 (25.0)	113 (19.1)
9) 地震の後、勉強やクラブ活動などに打ちこめない	20 (7.6)	36 (11.3)	2 (25.0)	58 (9.8)
10) 地震の後、一人ぼっちになった感じがする	18 (6.8)	31 (9.7)	1 (12.5)	50 (8.5)
11) 地震の後、うれしい気持ち、楽しい気持ちが少なくなった	41 (15.6)	65 (20.3)	2 (25.0)	108 (18.3)
12) 地震の後、将来のことを考えられなくなった	18 (6.8)	18 (5.6)	2 (25.0)	38 (6.4)
13) 地震の後、寝つきが悪くなったりすぐ目を覚ましたりする	50 (19.0)	86 (26.9)	2 (25.0)	138 (23.4) ※
14) 地震の後、ちょっとしたことで、カッとなりイライラする	23 (8.7)	43 (13.4)	3 (37.5)	69 (11.7)
15) 地震の後、気がちって、ものごとに集中できない	28 (10.6)	54 (16.9)	2 (25.0)	84 (14.2) ※
16) 地震の後、ちょっとしたことに、用心深くなる	91 (34.6)	162 (50.6)	4 (50.0)	257 (43.5) ※※
17) 地震の後、ちょっとしたことにもひどく驚いたりする	64 (24.3)	135 (42.2)	3 (37.5)	202 (34.2) ※※

注）男女差のχ^2検定
※：P<0.05　※※：P<0.01

3.6　GHQ30の各項目の出現率

GHQ30の各項目の出現率を学年別にみると、まず、小学2年生では、「3)元気なく疲れを感じたことがあった（38.3%）」「6)頭が重いように感じたことがあった（30.0%）」「11)朝起きたとき、すっきりしないと感じたことがあった（41.7%）」「13)夜中に目を覚ましてよく眠れない日があった（35.0%）」「14)夜中に目を覚ますことがあった（45.0%）」「15)落ち着かなくて眠れない夜を過ごしたことがあった（34.2%）」「26)不安を感じ、緊張したことがあった（33.3%）」などは、約3割以上の児童に認められている。

小学5年生も小学2年生と同様の傾向がみられた。

中学2年生になると、全体的に出現率は低くなっており、「9)よく汗をかくことがあった（33.5%）」が3割を越した程度である。しかしここでは、男女差のみられた項目が多く認められた。「9)よく汗をかくことがあった」に加え、「11)朝起きたとき、すっきりしないと感じたことがあった」「17)いつもよりすべてがうまくいっていると感じることがなかった」などは、女子の3割に認められている。

高校2年生では、「11)朝起きたとき、すっきりしないと感じたことがあった（30.3%）」のみが3割を越えている程度であるが、「3)元気なく疲れを感じたことがあった」「11)朝起きたとき、すっきりしないと感じたことがあった」「14)夜中に目を覚ますことがあった」などは、女子の3割以上に認められている。

全体をみると、「3)元気なく疲れを感じたことがあった」「11)朝起きたとき、すっきりしないと感じたことがあった」などが3割以上の児童生徒にみられ、特にその傾向は女子に多いことが認められた（表11）。

表11　GHQ30：各項目ごとの出現数と出現率<全体>　注）男女差のχ^2検定　※：P<0.05、※※：P<0.01

項目	M：257(%)	F：318(%)	不明：8 (%)	T：583(%)
1 気分や健康状態は悪かった	17 (6.6)	39 (12.3)	2 (25.0)	58※ (9.9)
2 疲労回復剤（ドリンク・ビタミン剤）を飲みたいと思ったことがあった	37 (14.4)	44 (13.8)	4 (50.0)	85 (14.6)
3 元気なく疲れを感じたことがあった	59 (23.0)	120 (37.7)	5 (62.5)	184※※ (31.6)
4 病気だと感じたことがあった	20 (7.8)	26 (8.2)	4 (50.0)	50 (8.6)
5 頭痛がしたことがあった	44 (17.1)	79 (24.8)	5 (62.5)	128※ (22.0)
6 頭が重いように感じたことがあった	35 (13.6)	69 (21.7)	5 (62.5)	109※ (18.7)
7 人前で倒れるのではないかという不安があった	13 (5.1)	25 (7.9)	4 (50.0)	42 (7.2)
8 からだがほてったり、寒気がしたことがあった	22 (8.6)	40 (12.6)	1 (12.5)	63 (10.8)
9 よく汗をかくことがあった	55 (21.4)	82 (25.8)	2 (25.0)	139 (23.8)
10 朝早く目が覚めて眠れないことがあった	32 (12.5)	61 (19.2)	3 (37.5)	96※ (16.5)
11 朝起きたとき、すっきりしないと感じたことがあった	79 (30.7)	116 (36.5)	4 (50.0)	199 (34.1)
12 いつもより元気ではつらつとしていなかった	22 (8.6)	29 (9.1)	2 (25.0)	53 (9.1)
13 夜中に目を覚ましてよく眠れない日があった	49 (19.1)	87 (27.4)	2 (25.0)	138※ (23.7)
14 夜中に目を覚ますことがあった	70 (27.2)	114 (35.8)	3 (37.5)	187※ (32.1)
15 落ち着かなくて眠れない夜を過ごしたことがあった	47 (18.3)	84 (26.4)	2 (25.0)	133※ (22.8)
16 いつもより忙しく、活動的な生活を送ることがなかった	40 (15.6)	48 (15.1)	3 (37.5)	91 (15.6)
17 いつもよりすべてがうまくいっていると感じることがなかった	48 (18.7)	75 (23.6)	2 (25.0)	125 (21.4)
18 毎日している勉強（仕事）はうまくいかなかった	20 (7.8)	31 (9.7)	1 (12.5)	52 (8.9)
19 いつもより容易に物ごとを決めることができなかった	19 (7.4)	42 (13.2)	2 (25.0)	63※ (10.8)
20 いつもより日常生活を楽しく送ることができなかった	25 (9.7)	42 (13.2)	2 (25.0)	69 (11.8)
21 たいした理由がないのに、何かがこわくなったり、とりみだすことがあった	22 (8.6)	34 (10.7)	4 (50.0)	60 (10.3)
22 いつもより、いろいろなことを重荷と感じたことがあった	31 (12.1)	56 (17.6)	3 (37.5)	90 (15.4)
23 いつもより気が重くて、ゆううつになることがあった	35 (13.6)	72 (22.6)	3 (37.5)	110※※ (18.9)
24 自信を失ったことがあった	20 (7.8)	50 (15.7)	2 (25.0)	72※※ (12.3)
25 人生にまったく望みを失ったと感じたことがあった	18 (7.0)	21 (6.6)	2 (25.0)	41 (7.0)
26 不安を感じ、緊張したことがあった	43 (16.7)	87 (27.4)	4 (50.0)	134※※ (23.0)
27 生きていることに意味がないと感じたことがあった	16 (6.2)	30 (9.4)	1 (12.5)	47 (8.1)
28 この世から消えてしまいたいと考えたことが一瞬でもあった	19 (7.4)	34 (10.7)	1 (12.5)	54 (9.3)
29 死んだ方がましだと考えたことがあった	10 (3.9)	22 (6.9)	2 (25.0)	34 (5.8)
30 自殺しようと考えたことが一瞬でもあった	8 (3.1)	17 (5.3)	1 (12.5)	26 (4.5)

さらに、GHQ30の要素スケールを分析してみると、23.2%の児童生徒に、中等度以上の「睡眠障害」が認められている（表12）。これは特に、小学生に高率である。PTSDの「過覚醒」の領域とも関連があり、注目すべき点であろう。

表12　鹿児島県北西部地震児童生徒の心の健康調査（1997.7.）
GHQ30 要素スケール：要素別出現数と出現率（中度以上）

	A 一般的疾患傾向	B 身体的症状	C 睡眠障害	D 社会的活動	E 不安と気分変調	F 希死念慮
小学２年	21/120名 (17.5%)	13/120 (10.8)	41/120 (34.2)	13/120 (10.8)	12/120 (10.0)	6/120 (5.0)
小学５年	20/119 (16.8)	20/119 (16.8)	46/119 (38.7)	11/119 (9.2)	18/119 (15.1)	7/119 (5.9)
中学２年	14/179 (7.8)	24/179 (13.4)	25/179 (14.0)	16/179 (8.9)	13/179 (7.3)	17/179 (9.5)
高校２年	8/165 (4.8)	13/165 (7.9)	23/165 (13.9)	6/165 (3.6)	11/165 (6.7)	24/165 (14.5)
Total	63/583 (10.8)	70/583 (12.0)	135/583 (23.2)	46/583 (7.9)	54/583 (9.3)	54/583 (9.3)

注）中度～：５項目のうち、２点以上のもの

3.7　フェイスシートの分析

Lauferら（1985）は、戦闘後のPTSDについて、客観的な状況の激しさよりも、本人の叙述する主観的意味づけを重視すべきだと主張している。同様に、Foaら（1989)も、実際の脅威よりも、「知覚された脅威」の方が重要であると強調している。その当人が「いかなる状態でその状況を体験し、受けとめたかという心理的意味」が症状に大きな影響を与えている（Wilsonら,1985）という。

以上の知見より、「PTSDにスクリーニングされたケース（以下、PTSD群）」と、「PTSDにスクリーニングされなかったケース（以下、non PTSD群）」について、特に、「主観的意味づけ」のありように視点をあて、その比較分析を行なった。

3.7.1　3月26日の地震（震度５強）時に居た場所

PTSD群は、「自宅」が78.7%、次いで「その他の建物」が9.8%であった。non PTSD群も同様、「自宅」が65.3%、「その他の建物」が14.2%であった。３月26日の地震は、春休み中の夕刻であり、「自宅」に居た児童生徒が多かったようである。ただ、一番安全な場所である「自宅」にPTSD群が多くみられた点は臨床的に意味がありそうである。

3.7.2　3月26日の地震時のようす「主観的意味づけ」

本研究の調査では、自由記述で記入する方法をとったため、多種多様の広範囲な内容になってしまった。そこで、「感情的表現」「客観的表現」「混乱的表現」「中立的表現」「その他の表現」と５領域にカテゴライスしてみた。

初回の３月26日の地震時のようすについて、PTSD群においては、「ものが倒れて落ちてきた」などの「客観的表現」が多くみられ、次いで「怖かった」「びっくりした」

表13　Q２：３月26日の地震時のようす
【PTSD群】（全体）　＊複数チェック

表現内容	M:25(%)	F:34(%)	不明:2(%)	T:61(%)
感情的表現（恐怖、驚愕）	15 (60.0)	16 (47.1)	0 (0.0)	31 (50.8)
客観的表現（倒壊、揺れ具合）	13 (52.0)	28 (82.4)	0 (0.0)	41 (67.2)
混乱的表現（統制困難、ﾊﾟﾆｯｸ）	0 (0.0)	9 (26.5)	0 (0.0)	9 (14.8)
中立的表現（平然、平静）	1 (4.0)	2 (5.9)	0 (0.0)	3 (4.9)
その他表現（無回答など）	1 (4.0)	1 (2.9)	2 (100.0)	4 (6.6)

という恐怖、驚愕感情がみられた。ここで注目すべき点は、「動けなかった」という「混乱的表現」が女子に多くみられた点である。PTSDが女子に多いといわれる所以かもしれない（表13）。

non PTSD群では、PTSD群と同様の傾向にあったが、PTSD群よりは低い出現率が示された（表14）。

表14　Q２：３月26日の地震時のようす
【non PTSD群】（全体）　＊複数チェック

表現内容	M:246(%)	F:296(%)	不明:6(%)	T:548(%)
感情的表現（恐怖、驚愕）	95 (38.6)	123 (41.6)	4 (66.7)	222 (40.5)
客観的表現（倒壊、揺れ具合）	127 (51.6)	184 (62.2)	3 (50.0)	314 (57.3)
混乱的表現（統制困難、ﾊﾟﾆｯｸ）	17 (6.9)	37 (12.5)	0 (0.0)	54 (9.9)
中立的表現（平然、平静）	7 (2.8)	1 (0.3)	0 (0.0)	8 (1.5)
その他表現（無回答など）	29 (11.8)	31 (10.5)	0 (0.0)	60 (10.9)

3.7.3　５月13日の地震（震度６弱）時に居た場所

PTSD群は、「学校」が85.2%、次いで「自宅」が6.6%などであった。non PTSD群では、「学校」が76.8%、「自宅」が11.3%であった。

５月13日の地震は、平日の午後２時半頃に起きており、学校に居た児童生徒が多かったようである。友人や教師などとともに「学校」に居た児童生徒が、PTSD群に多くみられている。

3.7.4　５月13日の地震時のようす「主観的意味づけ」

２度目の地震においてPTSD群では、３月の地震時と同様の傾向がみられた（表15）。

nonPTSD群においては、感情的表現は27.2%と、PTSD群の45.9%に比べると、統計的にも有意に低くなっていた（P<0.01）（表16）。

３月の地震に比べ、先生や友達のいる学校での体験で、安心感がみられたが、２度目の強い地震においても、PTSD群の方が「恐怖、驚愕感情」が高いことがうかがわれた。

表15　Q４：５月13日の地震時のようす
【PTSD群】（全体）　＊複数チェック

表現内容	M:25(%)	F:34(%)	不明:2(%)	T:61(%)
感情的表現（恐怖、驚愕、動悸）	10 (40.0)	18 (52.9)	0 (0.0)	28 (45.9)※※
客観的表現（地震時の状況、行動）	15 (60.0)	22 (64.7)	1 (50.0)	38 (62.3)
混乱的表現（統制困難、パニック）	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
中立的表現（平然、平静）	0 (0.0)	4 (11.8)	0 (0.0)	4 (6.6)
その他表現（無回答など）	4 (16.0)	0 (0.0)	1 (50.0)	5 (8.2)

注）PTSD群とnonPTSD群の比較において、有意差がみられたものを※※（P<0.01）、※（P<0.05）で示す

表16　Q４：５月13日の地震時のようす
【non PTSD群】（全体）　＊複数チェック

表現内容	M:246(%)	F:296(%)	不明:6(%)	T:548(%)
感情的表現（恐怖、驚愕、動悸）	70 (28.5)	77 (26.0)	2 (33.3)	149 (27.2)
客観的表現（地震時の状況、行動）	160 (65.0)	201 (67.9)	1 (16.7)	362 (66.1)
混乱的表現（統制困難、パニック）	7 (2.8)	18 (6.1)	0 (0.0)	25 (4.6)
中立的表現（平然、平静）	23 (9.3)	16 (5.4)	2 (33.3)	41 (7.5)
その他表現（無回答など）	24 (9.8)	26 (8.8)	2 (33.3)	52 (9.5)

3.7.5　「余震」時に感じたこと

今回の地震では、余震が強いことが特徴的だった。そこで、余震時にどのように感じたかを尋ねてみた。

PTSD群は、「怖かった」「また大きな地震が来るのではないか」などの恐怖、不安感情が88.5

%と、non PTSD群に比べ、有意に高い出現がみられた（P<0.01）（表17）。

一方、non PTSD群では、「どうもなかった」という「中立的表現」がPTSD群に比べ有意に高く示された（P<0.05）（表18）。「慣れてきて怖くなくなった」という児童生徒が増えているのが特徴的だった。

このように、PTSD群の「心の余震」はまだ残存しているように思われる。

表17　Q5：余震時に感じたこと

【PTSD群】（全体）　＊複数チェック

表現内容	M:25(%)	F:34(%)	不明:2(%)	T:61(%)
感情的表現（恐怖、不安、羞恥）	21 (84.0)	32 (94.1)	1 (50.0)	54 (88.5)※※
客観的表現（余震時の状況、行動）	1 (4.0)	1 (2.9)	0 (0.0)	2 (3.3)
混乱的表現（統制困難、パニック）	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
中立的表現（平然、平静）	0 (0.0)	3 (8.8)	0 (0.0)	3 (4.9)
その他表現（無回答など）	6 (24.0)	6 (17.6)	1 (50.0)	13 (21.3)

注）PTSD群とnonPTSD群の比較において、有意差がみられたものを※※（P<0.01）、※（P<0.05）で示す

表18　Q5：余震時に感じたこと

【non PTSD群】（全体）　＊複数チェック

表現内容	M:246(%)	F:296(%)	不明:6(%)	T:548(%)
感情的表現（恐怖、不安、羞恥）	144 (58.5)	209 (70.6)	1 (16.7)	354 (64.6)
客観的表現（余震時の状況、行動）	17 (6.9)	29 (9.8)	1 (16.7)	47 (8.6)
混乱的表現（統制困難、パニック）	3 (1.2)	1 (0.3)	0 (0.0)	4 (0.7)
中立的表現（平然、平静）	43 (17.5)	45 (15.2)	0 (0.0)	88 (16.1)※
その他表現（無回答など）	57 (23.2)	62 (20.9)	4 (66.7)	123 (22.4)

注）PTSD群とnonPTSD群の比較において、有意差がみられたものを※※（P<0.01）、※（P<0.05）で示す

3.7.6　「地震」について思うこと

「地震」について思うことを尋ねてみた。PTSD群では、「怖い」「もう2度と来てほしくない」という脅威、嫌悪感情が90.2%と、non PTSD群に比べ、有意に高く認められた（P<0.01）（表19）。

一方、non PTSD群は、「なにも思わない」「慣れてきて怖くなくなった」という「中立的表現」が有意に高く示された（P<0.01）（表20）。

表19　Q6：地震について思うこと

【PTSD群】（全体）　＊複数チェック

表現内容	M:25(%)	F:34(%)	不明:2(%)	T:61(%)
感情的表現（脅威、嫌悪）	22 (88.0)	32 (94.1)	1 (50.0)	55 (90.2)※※
客観的表現（抵抗不可能）	1 (4.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (1.6)
混乱的表現（統制困難、パニック）	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
中立的表現（平然、情動鈍化）	1 (4.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (1.6)
その他表現（無回答など）	3 (12.0)	7 (20.6)	1 (50.0)	11 (18.0)

注）PTSD群とnonPTSD群の比較において、有意差がみられたものを※※（P<0.01）、※（P<0.05）で示す

表20　Q6：地震について思うこと

【non PTSD群】（全体）　＊複数チェック

表現内容	M:246(%)	F:296(%)	不明:6(%)	T:548(%)
感情的表現（脅威、嫌悪）	139 (56.5)	221 (74.7)	2 (33.3)	362 (66.1)
客観的表現（予測不可能）	10 (4.1)	21 (7.1)	0 (0.0)	31 (5.7)
混乱的表現（統制困難）	0 (0.0)	1 (0.3)	0 (0.0)	1 (0.2)
中立的表現（平然、情動鈍化）	46 (18.7)	33 (11.1)	0 (0.0)	79 (14.4)※※
その他表現（無回答など）	67 (27.2)	67 (22.6)	4 (66.7)	138 (25.2)

注）PTSD群とnonPTSD群の比較において、有意差がみられたものを※※（P<0.01）、※（P<0.05）で示す

PTSD群には、「恐怖」「避けたい」というイメージが強いことがうかがわれる。

その他、個別面接を希望してるケースもあり、現在、危機介入を行なっている。

以上の結果から、PTSD群は、nonPTSD群に比べ、地震という突然の大きな災害に見舞われたとき、恐怖、驚愕といった危機感情を表現しやすいことが示唆された。そのことがPTSDの契機のひとつになっているものと思われる。

3.7.7　その他

その他、「登校状況」を尋ねてみると、PTSD群は、6.6%の児童生徒が「時々休む」という結果が示された。一方、non PTSD群では、0.7%であった。

「困ったこと、心配なこと」の例として、「一人でトイレに行きたがらない（小2男児、小5女児）」「登下校中の地震が心配（小2・小5、複数）」「少しの揺れでも怖がる（小2、小5女児）」「些細なことに怒りっぽくなり、イライラする（小5男児）」「また大きな地震がくるのではないかと心配（中2、複数）」「家が壊れる、崖崩れが怖い（中2・高2複数）」「地震で家族を失いそう（中2男児、高2男児）」などであった。

4　考察

筆者は、被災1ヵ月後より、被災地を訪ね、被害状況の把握をし、そして、PTSD発症の予防のため、被災地区の町長をはじめ、保健婦、ヘルパー、養護教諭、教師、公民会長などへの研修をおこなってきた。そして、被災地区の実態把握をするため、被災3ヵ月後の今回の研究調査を行なった。その結果、PTSDにスクリーニングされたのは 10.2%であった。また、地震時の「主観的意味づけのありよう」も、PTSD群は、かなり「恐怖」「驚愕」感情を示したことが明らかになっている。また、不安感情もかなり強い。個別面接による確定診断ではないが、早急な危機介入は必然である。今回の結果から、児童生徒にかかわる専門家（担任教師、養護教諭など）への、より具体的な援助のありようを啓蒙、啓発するため、研修会を行ない、PTSDに関する専門家養成と、同時に個別相談を実施している。

現在、半年後を北西部地区と、鹿児島市内（震度4）の児童生徒の調査、分析中である。今後は、震災1年後、2年後の追跡調査、統制群との比較などを実施し、必要に応じて支援体制を確立するよう、早急に危機介入を行なう予定である。

文部省による阪神・淡路大震災後の1年9ヵ月における児童生徒の健康調査結果によると、精神的側面は減少しているが、ストレス身体症状は増加することが明らかになっている。

身体や財産の損傷だけでなく、心に傷を受けた苦しみ、悩み、悲しみは苛酷で悲惨である。欧米などと同様に、予防やケアのルートの確立が早急に必要とされていることが今回の調査結果でも明らかになった。

身体や財産の損傷だけでなく、心に傷を受けた彼らの苦悩、悲しみは苛酷である。絶望感にうち拉がれる人々を治療や援助のルートもないという悲惨な状況に晒してはならない。さらに、PTSDに苦悩する一部の人間は、その症状が多年にわたり、慢性の経過を示すことがある。

従って、治療や援助においては長期的展望に立つ必要がある。「心の余震」は長期にわたって続くのである。特に、一人住まいの高齢者の場合、一戸建ての仮設住宅に転居することは、プライヴァシーが守られる反面、それまでの「癒し」の世界（自然発生的なディブリーフィング集団）から急に孤立してしまうことでもある。個々人の心理的状況にあった配慮が必要になる。

ＰＴＳＤの集団発生が予測される場合は、直後に「ディブリーフィング」、時間の経過とともに「グリーフ・セラピー」を行ない、「自助グループ」などによる「癒し」の場を設定し、集団的援助をする必要がある。「家族療法」においては、家族は援助者であるとともに犠牲者であるという二重性を有している点に留意する必要がある。また、被災者だけでなく、救急隊や支援グループへの心理的援助も忘れてはならない。

治療や援助のポイントを要約すると、次のようになる（久留、1990）。

☆実際にどのような災害的状況であったのかを、あらかじめ慎重に分析、理解しておくこと（本人から直接きくことは、想起や再体験になる危険性がある）

☆次に、災害後に抑制されていた感情を、受容的、共感的関係の中で解放すること（カウンセリングによる自己表明の促進；本人が言いたくないことを無理に聞き出したり表現させることは危険。本人の表明を待つことが大切）

☆最後に、現実を再構成し、被災者の未来に対する「生きる意味の確立」を促進すること（本人の未来が明るく展望できるような精神的、経済的、環境的配慮などが確約されていること）。

ＰＴＳＤに苦悩する一部の人間は、その症状が多年にわたり、慢性の経過を示すことがある。従って、治療や援助においては長期的展望に立つ必要がある。「心の余震」は長期にわたって続くのである。

ＰＴＳＤの治療はもちろんのこと、「予防」に徹することは必須の条件である。ロンドン大学精神医学研究所の Yule 教授に、1995年の夏にいただいた“Wise before the event (Yuleら,1993)”には、学校の管理者、学校をとりまく社会的資源との連携（ネットワーク）のありよう、子どもへの対応など、災害が起きる前の「心構え」の必要性が述べられている。まさに、“備えあれば憂いなし”である。

ＰＴＳＤに苦悩する人間を援助するためには、多くの専門家の連携が必要となる。臨床心理士や精神科医、看護婦や保健婦、ＰＳＷ、教師や両親、法律家や行政サイドなどそれぞれの「臨床援助」の専門家がケースネットワークを設定する必要がある。

病み、悩み、挫折する人間をめぐって、「臨床援助」をおりなす人々が、人間科学という共通の基盤（人間哲学）に立ち、ホリスティック・アプローチ（全人的、統合的接近）を展開し、連携し、継続していく時に、ＰＴＳＤに苦悩する人間の「生きる意味」は確立されていく、と筆者は考えるのである。

＜引用文献＞

・American Psychiatric Association(1994),Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders,Ⅳ Edition,Washington:APA.
・Coenjian,A.(1993) A mental health relief programme in Armenia after the 1988 earthquake:Implemention and clinical observations.British Journal of Psychiatry,163;230-239.
・Foa,E.B.,Steketee,G.& Rothbaum,B.O.(1989) Behavioral/Cognitive Conceptualizations of post-traumatic stress disorder.Behavior.Therapy,20,155-176
・Judith Lewis Herman（中井久夫訳）（1996）『心的外傷と回復』みすず書房
・河合隼雄・日本心理臨床学会・日本臨床心理士会（1995）『心を蘇らせる～こころの傷を癒すこれからの災害カウンセリング～』講談社
・久留一郎編著（1989）『臨床援助の心理学』北大路書房
・久留一郎（1990）「心的外傷後ストレス障害（ＰＴＳＤ）に関する心理学的研究（Ⅰ）」『九州心理学会第51回大会発表論文集』53
・久留一郎（1991）「心的外傷後ストレス障害（ＰＴＳＤ）に関する心理学的研究（Ⅱ）」『日本小児科学会鹿児島地方会第88回大会抄録集』10
・久留一郎（1992）「心的外傷後ストレス障害（ＰＴＳＤ）に関する心理学的研究（Ⅲ）」『日本学校保健学会発表論文集』285
・久留一郎（1993）「心的外傷後ストレス障害（ＰＴＳＤ）に関する心理学的研究（Ⅳ）」『日本応用心理学会発表論文集』220-221
・久留一郎（1995）「外傷後ストレス障害と人的災害」『人間性心理学研究』第13巻第２号,日本人間性心理学会,196-210
・久留一郎・餅原尚子（1995）「外傷後ストレス障害（ＰＴＳＤ）に関する治療心理学的研究～極度のいじめの事例を通して～」『鹿児島大学教育学部研究紀要』47,121-141
・久留一郎（1996）「ＰＴＳＤ：外傷後ストレス障害」日本児童研究所編『児童心理学の進歩1996年版』金子書房,27-56
・久留一郎・餅原尚子（1996）「極度のいじめを機に発症した外傷後ストレス障害（ＰＴＳＤ）～ロールシャッハ・テストを通しての心理治療的経過～」『ロールシャッハ研究』38,金子書房,127-148
・久留一郎（1997）「ＰＴＳＤとは」『教育と医学』第45巻第８号,教育と医学の会編,慶応義塾大学出版会,4-11
・久留一郎・餅原尚子（1997）「ＰＴＳＤの診断的概念と心理査定」『ロールシャッハ研究』39,金子書房,1-16
・Laufer,R.S.,Frey-Wouters,E.& Gallops,M.S.(1985) Traumatic stressors in the Vietnam war and post-traumatic stress disorder.In;Figley,C.R.(ed.),Trauma and its Wake.

Brunner/Mazel,New York.
・森山成彬（1990）「「心的外傷後ストレス障害」の現況」『精神医学』第32巻第５号,458-466
・Shannon,M.P.,Lonigan,C.J.,Finch,A.Jr.,et al.(1994) I.Epidemiology of post-traumatic symptoms and symptom profiles.J. Am.Acad.Child Adolesc.Psychiatry,33;80-93.
・Wilson,J.P.,Smith,W.K.& Johnson.S.K.(1985) A comparative analysis of PTSD among various survivor groups.In;Figley,C.R.(ed.),Trauma and its Wake.Brunner/Mazel, New York.
・山崎晃資（1997）「子どものＰＴＳＤ」『教育と医学』第45巻第８号,教育と医学の会編,慶応義塾大学出版会
・Yuke,W.,Gold,A.(1993),Wise before the event,Published by Calouste Gulbenkian Foundation,London.

鹿児島県北西部地震の被害状況と被害額について

鹿児島大学法文学部　松　本　　譲

１．はじめに

平成９年３月26日午後５時31分ごろ，鹿児島県薩摩地方（北緯32.6度，東経130.3度）を震源とするマグニチュード6.5，震度５強という規模の大きい地震が発生し，その後，震度４を上回る余震が４月３日，４日，５日，９日と断続していたが，さらに，５月13日午後２時38分ごろ，鹿児島県北西部（北緯31.9度，東経130.3度）を震源とするマグニチュード6.3，震度６弱という強い地震が生じ，宮之城町，鶴田町，川内市，阿久根市など23市町村において，死者はでなかったものの多数の重軽傷者，住家や学校など全半壊破損，山崩れ，がけ崩れ，道路の亀裂など，甚大な被害をもたらした。

ここでは，３月26日，５月13日を中心とする鹿児島県北西部地震の被害状況および被害額について考察してみたい。

２．地震の発生状況

(1) 3月26日の地震の状況

平成９月３月26日午後５時31分ごろ，鹿児島県阿久根市南東部付近の北緯32.0度，東経130.3度を震源地とする，震源の深さ12㎞，地震の規模マグニチュード6.5，最大震度５強という強い地震が発生した。

福岡管区気象台によると，震度４以上の市町は，５強＝川内市，阿久根市，宮之城町，４＝枕崎市，大口市，隼人町，鹿児島市である。

引続き，同日午後５時39分，震源の深さ10㎞，地震の規模マグニチュード5.3，最大震度4，ついで，６時５分，震源の深さ20㎞，地震の規模マグニチュード4.7，最大震度4，さらに，10時24分，震源の深さ10㎞，地震の規模マグニチュード4.5，最大震度４というように震度４以上の余震が３回起っている。

４月３日午前４時33分，震源の深さ10㎞，地震の規模マグニチュード5.5，最大震度５強，５強＝川内市，５弱＝阿久根市，宮之城町，４＝隼人町という地震が生じている。

３月26日の地震発生より４月３日午前０時までの地震回数は404回に上り，そのうち有感地震は108回起こっている。

また，４月４日午前２時33分にも，震源の深さ10㎞，地震の規模マグニチュード4.7，最大震度４の地震が生じている。

４月５日午後１時24分，北緯32.0度，東経130.4度を震源地とする，震源の深さ10㎞，地震の規模マグニチュード4.9，最大震度５弱，５弱＝川内市，宮之城町という地震が生じている。

３月26日の地震発生より４月５日午後１時24分までの地震回数は468回，うち有感地震は130

回に上っている。

ついで，4月9日午後11時20分，震源の深さ10km，地震の規模マグニチュード4.9最大震度4，4＝川内市，宮之城町という地震が起こっている。

3月26日の地震発生より4月10日午前0時までの地震回数は549回，そのうち有感地震は153回を数え，震度4以上の余震が7回 も記録されている。

(2) 5月13日の地震の状況

第1表　地震の発生状況

発生日時	3/26　17:31	4/3　04:33	4/5　13:24	4/9　23:20	5/13　14:38
震源地	北緯　32.0度 東経 130.3度	同　左	北緯　32.0度 東経 130.4度	同　左	北緯　31.9度 東経 130.3度
震源の深さ	１２km	１０km	１０km	１０km	９km
ﾏｸﾞﾆﾁｭｰﾄﾞ	6.5	5.5	4.9	4.9	6.3
最大震度	5 強	5 強	5 弱	4	6 弱

5月13日午後2時38分，北緯31.9度，東経130.3度を震源地とする，震源の深さ9km，地震の規模マグニチュード6.3，最大震度6弱，6弱＝川内市，5強＝宮之城町，5弱＝阿久根市，4＝鹿児島市，枕崎市，大口市，隼人町という烈しい地震が発生している。

今回の地震は，3月26日の地震以後，次第に有感地震の回数が減少し，安定化に向かうと思われていた矢先に起こったものであり，3月26日の地震とは別の断層が活動して生じたものとされている。

気象庁によれば，今回活動した断層は，3月の地震を起こした断層と並行に近接して走っており，このような地殻活動は珍しく，今回の地震の震源域は，3月からの震源域の約5km南側で東西方向に並び，西端付近から南に向かうように並んでおり，地震の規模は大きいが，余震活動はやや不活発なのが特徴とされている。

3月26日の地震から5月13日午後2時38分までの地震は，714回，うち有感地震は197回であり，6月27午後10時までの地震は，910回，うち有感地震は287回に上っている。これに対して，5月13日の地震から6月27日午後10時までの地震は，196回，うち有感地震は90回と減少している。

これらは，いずれも鹿児島県北西部地震と第2北西部地震の一連の余震であるが，震源の位置が微妙で，どちらの余震であるかは詳しく解析しなければわからないとされている。

3．被害の状況

3－1，人的被害

(1) 鹿児島県北西部地震の人的被害

鹿児島県北西部地震の人的被害は，震度5強の川内市，阿久根市，宮之城町を中心に，3月26日に32人（重傷2人，軽傷30人），4月3日に5人（重傷1人，軽傷4人）の37人（重傷3人，軽傷34人）に上っている。

その市町村別の内訳は，3月26日に，宮之城町13人（うち重傷2人），阿久根市8人，鶴田町3人，川内市3人，出水市2人，大口市1人，入来町1人，高尾野町1人であり，4月3日に，東郷町2人（うち重傷1人），川内市3人となっている。

これら重傷者のうちの2人は，3月26日の宮之城町の63歳の女性と4月3日の東郷町の61歳の男性であり，宮之城町の女性の場合は，職場で落ちてきた乾燥機で右腕を骨折する重傷を負っており，東郷町の男性の場合は，避難しようとした際，両開き戸に右足を挟まれ骨折する重傷を負ったものである。

(2) 第2鹿児島県北西部地震

第2表　人的被害

区分	3／26	4／3	4／5	4／9	5／13	計
重傷	2人	1人			2人	5人
軽傷	３０人	4人			７２人	１０６人
計	３２人	5人			７４人	１１１人

第2鹿児島県北西部地震の人的被害は，震度6弱の川内市，5弱の宮之城町を中心に，74人（重傷2人，軽傷72人）に上っている。

市町村別では，川内市37人（うち重傷1人），宮之城町16人，鶴田町10人（うち重傷1人）などとなっている。

このうち重傷は，川内市49歳の女性と鶴田町の62歳の女性であるが，川内市の女性は職場で書棚からの落下物にぶつかり，ろっ骨を骨折したものであり，鶴田町の女性は自宅の庭などを見回っていて転び，右足骨折の重傷を負ったものである。

負傷の種別では，落下物によるものと，避難中のけががそれぞれ約20％を占めており，壁や置物，かわら等が落ちてきて頭や足などにけがをした人が8人，地震直後に逃げる途中でねんざしたり，物干し台から飛び降りて負傷したりした人が7人，割れた窓ガラスや瓶などによるけがが5人，倒れてきた鉄柱やテレビ，タンスなどに当った人が4人などとなっている。

第2北西部地震は，平成8年10月の震度階級改定以降，最大の震度6弱を観測したにもかかわらず，死者が出なかったこと，負傷者74人（うち重傷2人）で，阪神大震災以来の揺れの割に，人的被害が少なかったとされている。

3－2，住家の被害

(1) 県北西部地震の住家の被害

県北西部地震の住家の被害は，震度の大きかった鶴田町（県の地震計による震度6強），東郷町（県の地震計による震度6弱），宮之城町，阿久根市，川内市，などの18市町村において，3月26日に2,481棟（全壊4棟，半壊26棟，一部破損2,451棟），4月3日に191棟（半壊8棟，一部破損183棟），4月5日に20棟（一部破損20棟），4月9日に1棟（一部破損1棟）に上っている。

第3表　県北西部地震の住家の被害

区　分	3／26	4／3	4／5	4／9	計
全　壊	4棟	———	———	———	4棟
半　壊	26棟	8棟	———	———	34棟
一部破損	2,451棟	183棟	20棟	1棟	2,655棟
計	2,481棟	191棟	20棟	1棟	2,693棟

これら住家の被害2,693棟（全壊4棟，半壊34棟，一部破損2,655棟）を市町村別にみると，鶴田町1,402棟（全壊2棟，半壊11棟，一部破損1,389棟），宮之城町433棟（一部破損433棟），東郷町318棟（半壊1棟，一部破損317棟），阿久根市200棟（全壊2棟，半壊5棟，一部破損193棟），川内市156棟（半壊8棟，一部破壊148棟），出水市68棟（半壊1棟，一部破損67棟），入来町44棟（半壊7棟，一部破損37棟），高尾野町18棟（一部破損18棟），樋脇町17棟（一部破損17棟），薩摩町15棟（一部破損15棟），祁答院町9棟（半壊1棟，一部破壊8棟），野田町5棟（一部破損5棟）などとなっている。

これら住家の被害は，地震動による崩壊，山崩れ，落石，地割れによる倒壊や傾斜，屋根がわら落下などによる破損であるが，鶴田町では，ほとんどの家屋でかわらが落ち，宮之城町泊野地区では，石垣は崩れ，地面のあちこちに亀裂が走り，同町湯田地区では，宮之城温泉を中心にほとんどの旅館，民家の屋根がわらが落ち，ブロック塀は崩れ落ち，壁には亀裂が走り，阿久根市山下地区でも，屋根がわらが1棟当たり数10枚から数百数が落下したり，割れたりしたとされている。

住家被害のもっともひどかった鶴田町では，全世帯数の8割に当たる1,402棟（4,077人）が被災しているのである。

(2) 第2県北西部地震の被害

第4表　第2県北西部地震の住家の被害

全　壊	半　壊	一部破損	計
4	31	4,608	4,643

第2県北西部地震の住家の被害は，震度の大きかった川内市，宮之城町，鶴田町（県の地震計による震度6強）などで，3月の地震を上回る4,643棟（全壊4棟，半壊31棟，一部破損4,608棟）に上っている。

これらを市町村別にみると，川内市2,683棟（全壊2棟，半壊12棟，一部破損2,669棟），宮之城町1,015棟（全壊2棟，半壊12棟，一部破損1,001棟），鶴田町484棟（半壊4棟，一部破損480棟），東郷町178棟（一部破損178棟），阿久根市45棟（一部破損45棟），祁答院町24棟（一部破損24棟），横川町19棟（一部破損19棟），出水市13棟（一部破損13棟），薩摩町10棟（半壊1棟，一部破損9棟），入来町7棟（半壊2棟，一部破損5棟），高尾野町5棟（一部破損5棟）などとなっている。

住家被害のひどかった宮之城町では，第2県北西部地震によって，全世帯の約15％に当たる1,015棟（2,677人）が被害をうけ，3月の地震以来では，1,448棟（3,936人）が被害をこうむったことになる。

また，鶴田町では，第2県北西部地震によって，484棟（1,459人）が住家被害をうけ，3月以来では，1,886棟（5,544人）が被害をこうむっている。

4．被害額の算定

4－1，教育関係の被害額

(1) 県北西部地震の被害額

県北西部地震では，学校などの教育関係の被害額がもっとも大きく，14市町村で，公立学校943百万円（52校），私立学校25百万円（22校），社会体育施設14百万円（3カ所），文化財13百万円（6カ所）などで，1,013百万円にのぼっている。

第5表　県北西部地震による教育関係の被害額

区　分	3／26		4／3		4／5		4／9		計	
	箇所	金額(千円)	箇所	金額(千円)	箇所	金額(千円)	箇所	金額(千円)	箇所	金　額（千円）
公立学校施設	37	870,858	9	60,553	2	2,900	4	8,200	52	942,511
私立学校施設	20	24,405	1	30	—	———	1	760	22	25,195
社会体育施設等	—	———	3	13,800	—	———	—	———	3	13,800
文　化　財	6	13,448	—	———	—	———	—	———	6	13,448
共済住宅等	14	4,689	—	———	—	———	12	1,340	26	6,029
社会教育施設等	3	11,150	2	600	—	———	—	———	5	11,750
計	80	924,550	15	74,983	2	2,900	17	10,300	114	1,012,733

これらのうちの公立学校についてみると，宮之城町166百万円（小学校3，中学校1，高等学校2），鶴田町152百万円（小学校2，中学校1），川内市16百万円（高等学校2），東郷町5百万円（小学校2，中学校1），樋脇町5百万円（小学校1，中学校1），阿久根市2百万円（小学校2，中学校1）などとなっている。

このような公立学校の被害の主要なものをあげると，校舎や体育館の柱，壁，梁への亀裂10校，地盤沈下や不同沈下による亀裂，ずれ5校，ガラス破損4校，モルタール落下3校，壁材，床材の剥離3校，配管破損3校，校舎，体育館躯体破損2校などである。

もっとも被害額の大きかった鶴田小学校144百万円は，2階建ての特別教室の1階の柱が10カ所程度，せん断破損され，梁や壁にも多数の亀裂が走っている。

また，宮之城農業高校110百万円では，校舎，体育館躯体が破損し，柱や壁にクラックが多数走り，壁仕上材が剥離し，ガラスが割れ，パソコンが破損したとされている。

(2) 第2県北西部地震の被害額

第2県北西部地震による教育関係の被害額は，公立学校6,927百万円（64校），私立学校2百万

円（18校），社会体育施設149百万円（18カ所），社会教育施設27百万円（15カ所），共済住宅31百万円（47戸）など，7,139百万円（165カ所）にのぼっている。

第6表　第2県北西部地震による公立学校の被害額

区　　分	校数	学　　校　　名	被害額（千円）
小　学　校	30校	串木野,東郷,鳥丸,藤川,求名,高千穂,佐志,盈進,平川 ほか	2,190,342
中　学　校	16校	郡山,大川,東郷,薩摩,栗野,牧園,ほか	211,332
高　等　学　校	15校	鶴丸,錦江湾,武岡台,市来農芸,串木野,川内,樋脇川内商工,入来商業,宮之城,宮之城農業,阿久根出水,牧園,加治木工業	4,523,229
特殊教育諸学校	3校	串木野養護,鹿児島盲,鹿児島聾	1,925
計			6,926,828

これらのうち被害額の大きいのは，高等学校4,523百万円（15校），小学校2,190百万円（30校）などである。高等学校については，宮之城高校，宮之城農業高校，川内高校，川内商工高校などで，校舎の支柱のせん断，壁の亀裂，モルタール落下，校庭の亀裂，パソコンの落下破損などが生じたものであり，小学校につては，宮之城町の佐志小学校，盈進小学校などで，校舎の壁の亀裂，水道管破裂，パソコンの落下破損などが生じたものである。

第7表　第2県北西部地震による社会体育施設の被害額

区　　分	被害箇所数	被害額（千円）
宮之城町	5か所	60,700
横　川　町	1か所	10,500
鶴　田　町	2か所	25,000
東　郷　町	3か所	30,090
川　内　市	5か所	5,850
吉　松　町	1か所	15,090
薩　摩　町	1か所	1,500
計		148,730

宮之城高校では，校舎が壊滅的な被害をうけ，半ば押しつぶされた状態の教室，曲がった柱からむき出しになった鉄筋，崩れ落ちたコンクリート片など，すさまじい状態になっており，佐志小学校では，鉄筋2階建ての校舎の北側の柱に大きなひびが入り，崩壊の危険性さえ指摘されている。

このような被害額の算定は，実際の損失額ではなく復旧費ベースによるものであり，昭和56年に耐震設計が改訂され，現在では，この基準にもとづいて学校施設は，十分な地質調査をした上で建築されているが，被災した校舎は，いずれもそれ以前に建てられたものであり，また，補強工事で対応できるものか，建て替えが必要であるのかによって，被害額は大きく異なるのである。

4－2，土木関係の被害額

(1) 県北西部地震の被害額

第8表　県北西部地震による土木関係の被害額

区　分	3/26・4/3・4/5・4/9		計	
	箇所	金額（千円）	箇所	金額（千円）
河　川	15	71,900	15	71,900
道　路	179	2,466,100	179	2,466,100
橋　梁	5	262,000	5	262,000
砂　防	3	266,000	3	266,000
土砂災害	33	757,750	33	757,750
港　湾	3	76,728	3	76,728
公営住宅	23	136,973	23	136,973
都市公園等	1	16,000	1	16,000
計	262	4,053,451	262	4,053,451

6／12　08：30現在　　**第9表　3月26日からの地震による交通規制状況**

事務所	道路種別	路線番号	路線名	市町村　自　至	原因	事前事後の別	現在の規制内容	規制内容の推移 通行止 月日	時間	片側 月日	時間	解除 月日	時間
3月26日													
鹿児島国道工事事務所	国	直轄10	１０号	隼人道路	地震	前		3/26	不明				
栗野土木事務所	国	223	２２３号	丸尾滝から丸尾交差点側へ50m	落石	後	▲	3/26		4/13	08:00		
宮之城土木事務所	国	267	２６７号	宮之城町 須杭	ﾌﾞﾛｯｸ倒壊	後				3/26	17:40	3/27	10:00
宮之城土木事務所	国	267	２６７号	鶴田町 神子	ﾌﾞﾛｯｸ亀裂	後	▲			3/27	19:00		
伊集院土木事務所	国	270	２７０号	日置郡 東市来町　江口	崩土	後				3/26	17:40	3/27	10:00
出水土木事務所	国	328	３２８号	出水市 今ノ木場	落石	後				3/26	19:00	3/27	13:20
宮之城土木事務所	国	328	３２８号	宮之城町 平川	路面亀裂	後	▲			3/26	17:40		
宮之城土木事務所	国	328	３２８号	宮之城町 登尾～紫尾	崩土	後				3/26	18:00	4/ 7	17:00
出水土木事務所	国	447	４４７号	出水市 上大川内	落石	前		3/26	18:30			3/27	08:50
出水土木事務所	国	504	５０４号	高尾野町 中屋敷～平八重	崩土	後	●	3/26	18:50				
宮之城土木事務所	国	504	５０４号	宮之城町 佐志	ﾌﾞﾛｯｸ倒壊	後				3/26	20:00	3/27	09:00
宮之城土木事務所	国	504	５０４号	宮之城町 堀切峠	路面亀裂	後		3/26	18:50			3/28	08:30
宮之城土木事務所	国	504	５０４号	宮之城町 泊野	路面亀裂	後	▲	3/26	17:40	3/27	11:00		
加治木土木事務所	主	40	伊集院蒲生溝辺	加治木町 西麓場	崩土	後				3/26	18:00	3/27	11:00
出水土木事務所	主	48	出水菱刈	出水市 宇津良	路面亀裂	後		3/26	19:20	3/27	12:10	4/17	17:00
加治木土木事務所	一	391	下手山田帖佐	姶良町 管野	落石	後		3/26	20:00			3/27	14:00
宮之城土木事務所	一	397	鶴田定之段	鶴田町 神子園	橋梁	後		3/26	17:40			3/27	13:00
宮之城土木事務所	一	397	鶴田定之段	鶴田町 紫尾上～出水市 定之段	崩土	後		3/26	17:40			3/31	17:10
出水土木事務所					崩土	後	●	4/ 1	13:45				
宮之城土木事務所	一	397	鶴田定之段	鶴田町 柳野	路欠	後	▲	3/26	17:40	3/28	14:00		
宮之城土木事務所	一	404	鶴田大口	鶴田町 神子	路面亀裂	後		3/26	19:30			3/27	12:10
道路公団	高		九州縦貫自動車道	鹿児島ｲﾝﾀｰ～栗野ｲﾝﾀｰ	地震	前		3/26	17:33			3/26	19:40
4月3日													
大口土木事務所	国	267	２６７号	大口市 元古屋(熊本県境)	落石	後				4/ 3	06:00	4/ 3	08:00
宮之城土木事務所	国	504	５０４号	宮之城町 楠八重	崩土	後		4/ 3	06:30			4/ 9	08:00
出水土木事務所	主	46	阿久根東郷	阿久根市 上鶴河内	崩土	後		4/ 3	06:30			4/ 3	16:30
大口土木事務所	主	53	菱刈横川	菱刈町 小川添	路欠	後				4/ 3	08:15	6/ 3	08:30
川内土木事務所	一	335	市比野東郷	川内市 中村町 戸田	路欠	後				4/ 3	08:30	4/ 7	17:00
川内土木事務所	一	345	下東郷阿久根	川内市 宇都川路	落石	後		4/ 3	09:00			5/ 9	15:00
川内土木事務所	一	339	東郷西方港	川内市 別府原	路欠	後				4/ 3	15:30	4/15	16:00
4月5日													
宮之城土木事務所	一	462	盆山宮之城	祁答院町小牧(宮之城町との境)	落石	後	▲	4/ 5	14:00	4/17	12:00		
宮之城土木事務所	一	394	山崎川内	宮之城町 荒瀬	崩土	後				4/ 5	14:00	4/ 5	18:30
宮之城土木事務所	一	404	鶴田大口	鶴田町 山神	崩土	後		4/ 5	15:45			4/ 7	14:30
4月9日													
宮之城土木事務所	国	328	３２８号	宮之城町 登尾	落石・崩土	後				4/10	00:30	4/10	11:00

●は，通行止継続中　　通行規制継続中の　通行止　2箇所
▲は，片側通行継続中　　片　側　6箇所
計　　8箇所

県北西部地震による土木関係の被害額は，道路 2,466 百万円（179 カ所），土砂災害 758 百万円（33 カ所），砂防 266 百万円（3 カ所），橋梁 262 百万円（5 カ所）など，4,053 百万円（262 カ所）となっている。

これらのうち被害額の大きい道路についてみると，3 月 26 日に 93 カ所，4 月 3 日に 75 カ所，4 月 5 日に 9 カ所の被害が発生しているが，その原因は，地震による崩土 11 カ所，路面亀裂 5 カ所，路肩欠壊 3 カ所，ブロック倒壊 2 カ所などとなっており，6 月 12 日現在，国道 504 号（高尾野町，中屋敷～平八重）をはじめ通行止 2 カ所，片側通行 6 カ所の交通規制が行なわれている。

(2) 第2県北西部地震の被害額

第10表　第2県北西部地震による土木関係の被害額

区　分	被害箇所数	被害額（千円）
砂　防	13 カ所	399,500
公営住宅	23 カ所	155,918
港　湾	4 カ所	330,000
道　路	180 カ所	1,979,350
河　川	11 カ所	42,900
都市公園	2 カ所	2,200
土砂災害	44 カ所	1,040,000
橋　梁	1 カ所	30,000
計		3,979,868

第 2 県北西部地震による土木関係の被害額は，道路 1,979 百万円（180 カ所），土砂災害 1,040 百万円（44 カ所），砂防 400 百万円（13 カ所），港湾 330 百万円（4 カ所）など，3,980 百万円（278 カ所）になっている。

これらのうち被害額の大きい道路についてみると，崩土，法面クラック，転石落下，路肩欠損などによるものであり，6 月 12 日現在，国道 504 号線（宮之城町堀切峠）など，通行上 4 カ所，片側通行 6 カ所の交通規制が行われている。

6／12　08：30現在　**第11表　5月13日の地震による交通規制状況**

事務所	道路種別	路線番号	路線名	市町村　自　至	原因	事前事後の別	現在の規制内容	規制内容の推移 通行止 月日時間	片側 月日時間	解除 月日時間
5月13日										
道路公団			九州縦貫自動車道	鹿児島IC～えびのIC	点検のため	前		5/13 14:42		5/13 15:30
鹿児島国道工事事務所	国	10	隼人道路	全線	点検のため	前		5/13 14:42		5/13 15:30
川内土木事務所	—	345	下東郷阿久根	川内市宇都川路	落石の恐れ	前	●	5/13 15:30		
宮之城土木事務所	主	51	宮之城加治木	宮之城町木牛	崩土	後	▲	5/13 15:30	5/17 19:00	
宮之城土木事務所	—	404	鶴田大口	鶴田町山神	崩土	後	●	5/13 15:40		
宮之城土木事務所	国	504	504号	宮之城町泊野	路面亀裂	後	▲	5/13 15:40	5/13 16:00	
宮之城土木事務所	国	504	504号	宮之城町堀切峠	崩土	後	●	5/13 16:00		
栗野土木事務所	主	1	小林えびの高原牧園	牧園町ﾐﾔﾏﾊﾞﾝ地内(鹿児島寄り1km先)	崩土	後	●	5/13 15:40		
川内土木事務所	—	341	吉川川内	川内市高城	崩土	後			5/13 16:00	5/15 13:00
出水土木事務所	—	345	下東郷阿久根	阿久根市弓木野	落石	後	▲		5/13 16:30	
川内土木事務所	主	36	川内郡山	川内市百次	路面隆起	後			5/13 16:40	5/16 17:00
伊集院土木事務所	国	270	270号	東市来町江口	崩土の恐れ	前			5/13 16:35	5/14 13:00
川内土木事務所	—	304	仙名伊集院	樋脇町疇本	落石の恐れ	前	▲		5/13 18:15	
宮之城土木事務所	国	267	267号	鶴田町柏原	路欠	後	▲		5/13 17:30	
川内土木事務所	—	394	山崎川内	川内市天辰馬場	民家塀損壊	後	▲		5/14 09:20	

●は，通行止継続中
▲は，片側通行継続中

通行止　4箇所
片　側　6箇所
計　10箇所

4－3　農業関係の被害額

(1)　県北西部地震の被害額

県北西部地震による農業関係の被害額は，3 月 26 日に 440 百万円（121 カ所），4 月 3 日に 368 百万円（116 カ所），4 月 5 日に 255 百万円（145 カ所），4 月 9 日に 5 百万円（3 カ所）で，1,068 百万円（384 カ所）である。

第12表　県北西部地震による教育関係の被害額

区　分	3／26 箇所	3／26 金額(千円)	4／3 箇所	4／3 金額(千円)	4／5 箇所	4／5 金額(千円)	4／9 箇所	4／9 金額(千円)	計 箇所	計 金額（千円）
耕　地	105	372,000	111	356,000	145	255,000	—	———	361	983,000
農作物	—	3,450	—	375	—	———	—	———	—	3,825
農業施設	15	63,200	2	8,500	—	———	2	5,300	19	77,000
県有施設等	1	1,192	3	3,269	—	———	—	———	4	4,461
計	121	439,842	116	368,144	145	255,000	2	5,300	384	1,068,286

それらの内訳は，田や畑の耕地 983 百万円（361 カ所），牛舎や鶏舎などの農業施設 77 百万（19 カ所），試験場などの県有施設 4 百万円（4 カ所），卵，花きなどの農作物 4 百万円となっている。

(2) 第2県北西部地震の被害額

第 2 県北西部地震による農業関係の被害額は，耕地関係 1,236 百万円（320 カ所），農業用施設 111 百万円（38 カ所），農作物 10 百万円（4 件），県有施設 33 百万円など，1,390 百万円（367 カ所）となっている。

第13表　第２県北西部地震による農業関係の被害額

施設名	被害箇所数	被害額(千円)
農　地	１４６か所	368,000
道　路	９５か所	569,000
水　路	７１か所	200,000
その他の農業用施設	８か所	99,000
計		1,236,000

施設の種類	被害箇所数	被害額(千円)
畜産関係	１６か所	68,600
耕種関係	１１か所	16,300
園芸関係	２か所	5,300
その他	９か所	21,100
計		111,300

これらのうち被害額が大きいのは，農業用道路 569 百万円（95 カ所），農地 368 百万円（146 カ所），水路 200 百万円（71 カ所），畜産関係 69 百万円（16 件）などである。

農業用道路については，農道の路肩および法面の崩壊，舗装面の亀裂によるものであり，農地については，田（110 カ所）や畑（36 カ所）の畦畔の崩壊，亀裂によるものであり，水路については，崩土による水路埋没によるものである。

また，畜産関係については，牛舎倒壊，牛舎，豚舎などの床のひび割れ，鶏舎の傾斜，選卵機破損などによるものである。

4－4　林務水産関係の被害額

(1) 県北西部地震の被害額

県北西部地震による林務水産関係の被害額は，3月26日に1,387百万円（155カ所），4月3日に370百万円（155カ所），4月5日に227百万円（20カ所），4月9日に112百万円（10カ所）で，2,095百万円（340カ所）となっている。

第14表　県北西部地震による教育関係の被害額

区分	3／26		4／3		4／5		4／9		計	
	箇所	金額(千円)	箇所	金額(千円)	箇所	金額(千円)	箇所	金額(千円)	箇所	金額（千円）
林地崩壊	23	254,800	20	225,000	20	227,000	10	111,900	73	818,700
治山施設	1	6,000							1	6,000
林道	126	127,660	134	142,600	—	———	—	———	260	270,260
特用林産施設	1	600	—	———	—	———	—	———	1	600
林業構造改善施設	1	2,000	1	2,000	—	———	—	———	2	4,000
漁業共同利用施設	1漁協	287,000	—	———	—	———	—	———	1漁協	287,000
漁業施設	2港	708,500	—	———	—	———	—	———	2港	708,500
計	—	1,386,560	—	369,600	—	227,000	—	111,900	—	2,095,060

これらのうち被害額が一番大きいのは，林地崩壊819百万円（73カ所），林道270百万円（260カ所），漁港施設709百万円（2港），漁業共同利用施設287百万円（1漁協）などである。

林地の被害は，林地崩壊，落石，土砂流出などによるものであり，林道については，法面崩壊，舗装亀裂などによるものである。

漁港施設の被害は，岸壁エプロンの沈下および亀裂などによるものであり，漁業共同利用施設については，外壁剥離，柱の亀裂，床の陥没などによるものである。

(2) 第2県北西部地震の被害額

第15表　第２県北西部地震による林務水産関係の被害額

区分	被害箇所数	被害額(千円)
林地崩壊	５６か所	606,200
林道	７路線89か所	82,700
特用林産施設	１か所	500
林業構造改善施設	２か所	2,500
緑の回廊拠点施設	２か所	1,131
漁業共同利用施設	１漁協	4,380
漁業施設	１港	40,000
計		737,411

第2北西部地震による林務水産関係の被害額は，林地崩壊606百万円（56カ所），林道83百万円（89カ所），漁港施設40百万円（1港），漁業共同利用施設40百万円など，737万円となっている。

4－5　商工労働関係の被害額

(1) 県北西部地震の被害額

県北西部地震による商工労働関係の被害額は，3月26に379百万円（744カ所），4月3日に　16百万円，4月9日に3百万円など，400百万円（927カ所）となっている。

これらのうち被害額が大きいのは，店舗207百万円（114カ所），商品など123百万円（713カ所）などであり，店舗については，かわらの破損，壁，天井，床などの破損であり，商品などについては，商品の破損，原料などの損傷によるものである。

第16表　県北西部地震による商工労働関係の被害額

区分	3／26		4／3		4／5		4／9		計	
	件数	金額(千円)	件数	金額(千円)	件数	金額(千円)	件数	金額(千円)	件数	金額（千円）
店舗	86	199,100	22	6,620	2	200	4	1,100	114	207,020
その他施設等	42	65,900	1	500	—	———	1	100	44	66,500
商品等	565	112,533	104	8,405	21	227	23	2,060	713	123,225
県有施設	16	1,898	2	50	—	———	—	———	18	1,948
誘致企業関係	35	———	3	———	0	———	—	———	38	———
計	744	379,431	132	15,575	23	427	28	3,260	927	398,693

(2) 第2県北西部地震の被害額

第２県北西部地震による商工労働関係の被害額は，商工業関係992百万円（692カ所），県有施設関係2百万円（4カ所）など，994百万円（699カ所）となっている。

第17表　第２県北西部地震による商工労働関係の被害額

区分	被害箇所数	被害額(千円)
商工業関係	６９２か所	991,971
県有施設関係	４か所	2,183
国民宿舎	３か所	70
計		994,224

4－6　その他の被害額

(1) 保健福祉関係の被害額

第18表　県北西部地震による保健福祉関係の被害額

区分	3／26		4／3		4／5		4／9		計	
	箇所	金額(千円)	箇所	金額(千円)	箇所	金額(千円)	箇所	金額(千円)	箇所	金額(千円)
保健所	3保健所	2,451	—	———	—	———	—	———	3保健所	2,451
県立病院	2病院	83	—	———	—	———	—	———	2病院	83
食肉衛生検査所	1検査所	———	—	———	—	———	—	———	1検査所	———
温泉監視施設	1施設	1,043	—	———	—	———	—	———	1施設	1,043
精薄福祉施設	7園	8,826	—	———	—	———	—	———	7園	8,826
病院診療所	45病院	147,790	—	———	1病院	500	—	———	46病院	148,290
老人保健施設	2施設	3,350	—	———	—	———	—	———	2施設	3,350
老人福祉施設	16園	11,804	1園	———	—	———	—	———	17園	11,804
身障福祉施設	2園	1,100	—	———	—	———	—	———	2園	1,100
児童福祉施設	29園	12,422	—	———	—	———	—	———	29園	12,422
水道施設	6市町	5,150	3市町	380	—	———	—	———	9市町	5,530
簡易水道	3市町	8,400	—	———	—	———	—	———	3市町	8,400
社会保険事務所	1事務所	———	—	———	—	———	—	———	1事務所	———
計	———	202,419	—	380	—	500	—	———	———	203,299

県北西部地震による保健福祉関係の被害額は，203 百万円（120 カ所）であり，被害額の比較的大きいのは，病院診療所 148 百万円（46 病院），児童福祉施設 12 百万円（29 園），老人福祉施設 12 百万円（17 園），精薄福祉施設 9 百万円（7 園）などであり，これらは，柱の損壊，壁の一部崩壊，壁の亀裂，外壁剥離，屋根一部破損，天井落下，屋根がわら落下，ガラス破損，通路のひび，土間タイル破損，水道管破裂などによるものである。

第19表　第２県北西部地震による保健福祉関係の被害額

管内保健所・福祉事務所等名	被害箇所数	被害額(千円)
川内保健所管内	保健医療等施設 9カ所	13,340
宮之城保健所管内	保健医療等施設 10カ所	29,500
出水保健所管内	保健医療等施設 7カ所	———
鹿児島福祉事務所管内	児童福祉施設 1カ所	———
北薩福祉事務所管内	児童福祉施設 29カ所	27,968
	高齢者福祉施設 12カ所	3,030
	障害者福祉施設 4カ所	150
姶良福祉事務所管内	高齢者等福祉施設 3カ所	1,100
川辺福祉事務所管内	高齢者福祉施設 1カ所	———
計		75,088

第２県北西部地震による保健福祉関係の被害額は，83 百万円（91 カ所）であり，被害額の大きいのは，保健医療施設 43 百万円（19 カ所），児童福祉施設 28 百万円（29 カ所），高齢者福祉施設 4 百万円（15 カ所）などである。

(2) 環境生活関係の被害額

県北西部地震による環境生活関係の被害額は，軽微であったが，第２県北西部地震による環境生活関係の被害額は，34 百万円（4 カ所）であり，被害額の大きいのは，し尿処理施設 20 百万円（1 カ所），一般廃棄物処理施設，13 百万円（2 カ所）などである。

し尿処理施設については，浄化槽に亀裂が生じたものであり，一般廃棄物処理施設については，管理道路の陥没，煙突の亀裂，ダクト継ぎ手の脱落，水処理施設配管のわん曲などによるものである。

(3) 庁舎関係の被害額

県北西部地震による庁舎関係の被害額は，公舎災害 5 百万円（3 カ所），庁舎災害 3 百万円（5 カ所）で，8 百万円（8 カ所）であり，第２県北西部地震による庁舎関係の被害額は，庁舎 12 百万円（4 カ所）などとなっている。

これらは壁破損，壁の亀裂，タイル剥離，窓ガラス破損などによるものである。

4－7　総括

第20表　県北西部地震による被害額　（単位：千円）

項目	3月26日～4月9日	5月13日	合計
環境生活関係（し尿処理施設，焼却施設等）	640	33,740	34,380
保健福祉関係（老人福祉施設，水道施設等）	203,299	88,667	291,966
商工労働関係（店舗，商品等）	398,693	994,224	1,392,917
農業関係（耕地，農業施設等）	1,068,286	1,390,674	2,458,960
山林関係（治山，林道等）	1,099,560	693,031	1,792,591
水産関係（漁港施設，漁業共同利用施設）	995,500	44,380	1,039,880
土木関係（道路，土砂災害等）	3,976,723	3,649,868	7,626,591
港湾関係	76,828	330,000	406,728
教育関係	1,012,733	7,139,619	8,152,352
その他（庁舎，公舎等）	8,046	12,013	20,059
	8,840,208	14,376,216	23,216,424

6月13日現在　　※調査中のものもあり，被害額は今後変わる見込みあり。

3 月 26 日から 4 月 9 日にかけての県北西部地震による住家を除く被害額は，88 億円であり，5 月 13 日の第 2 県北西部地震による住家を除く被害額は，144 億円であり，合わせて 232 億円にのぼっている。

被害額の大きかったのは，教育関係 82 億円（279 カ所），土木関係 96 億円（540 カ所），農業関係 25 億円（751 カ所），山林関係 18 億円（487 カ所），商工労働関係 14 億円（1,626 カ所），水産関係 10 億円（5 カ所）などである。

5．おわりに

これまで平成 9 年 3 月 26 日の県北西部地震および 5 月 13 日の第 2 県北西部地震について，地震の状況，被害の状況および被害額について大雑把に検討してきた。

今回の地震によって，重傷者 5 人，軽傷者 106 人，住家の全壊 8 棟，半壊 65 棟，一部破損 7,298 棟，被害額 232 億円，鶴田町では 8 割，宮之城町で 2 割の世帯の人々が被災するという被害状況および被害額はきわめて甚大である。

しかし，今般の地震が，これまで大きな地震がほとんどなく，全く予測しない地域で，地震の規模マグニチュード 6.5 と 6.3，最大震度 5 強と 6 弱という烈しい地震が発生したことを考慮すると，地震による被害状況および被害額は必ずしも大きかったとはいえないのではなかろうか。

このような地震による被害は，地震動の特性，地盤の性質および建物の構造などの総合的な関連によって異なるものであるが，今回の地震による被害が大事にいたらなかったのは，高齢者の割合は大きいけれども，人口の密集していない，高層構築物の少ない地域で，午後の時間帯に発生し，火災も起きず，停電や電話の不通なども軽微であり，宮之城町，鶴田町など防災行政無線が設置されており，それらを活用して地域住民に情報の伝達が行なわれ，避難が順調になされたことによるものと思われる。

今後，今般の地震の教訓を生かして，地域住民を災害から守るために，安全性，信頼性の高い災害に強い街づくり，災害に強い交通基盤づくりおよび避難体制の整備，自主防災組織の充実などの防災対策の強化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，鹿児島県の田代消防防災課長，宮之城町の宮之脇総務課長，鶴田町の福満助役に大変お世話になったことを付記したい。

また，南日本新聞の記事を参考にさせていただいたことをおことわりしておきたい。

災害に強い街、田舎にヒント

南日本新聞社社会部　高嶺千史

1997年3月26日午後5時31分、鹿児島市内のビルの5階で「わさ、わさ、わさ」という体験したことがない揺れに驚いた。10分後には鹿児島大学理学部付属南西島孤地震火山観測所に車を走らせ、震源地が「紫尾山直下」と聞きもう１度驚いた。この取材から約10カ月。今も地震との“付き合い”が続いている。

取材を通して①犠牲者が出なかった②高齢者率が高い過疎地の災害—の2点が今回の震災の特徴だと感じてきた。この二つはともに今後、復興を含めた広い意味での防災対策にとって重要なキーワードであると思う。

１．いくつかの奇跡

鹿児島大学理学部の教官と「どうして犠牲者が出なかったのか」について話したことがある。いろいろな原因が出たが、結局、「震災地が過疎地だったから」という結論に達した。震災被害が大きかった宮之城町の人口は14,595人、鶴田町7,799人、東郷町8,015人（平成7年6月1日現在）。人口密集地に比べて、危険性は格段に少なかっただろうことは容易に想像できる。

今回の地震は2度の本震が今年1月10日の中国の地震を上回っており、それにもかかわらず犠牲者は出なかったのは、建築基準が他国に比べて大きな地震に耐えられるようになっていることも理由の一つにあげられよう。

さらに取材中、奇跡的に助かった話もいくつか耳にした。最も印象的だったのが、校舎がつぶれた宮之城高校の例である。同校は、校舎被害があった5月13日の地震が、平日の昼過ぎにあったにもかかわらず、たまたま地域のスポーツ大会で生徒が校外に出ていたために助かった。震災後、校舎は取り壊されるほどの被害で、授業中だったら少なくとも重傷者は出ていったに違いない。ほかにも庭で草取りをしている途中、電話が鳴って家に入ったときに地震が発生。おさまって外に出たら瓦が草取りをしていた所に散乱していた話や、自転車で通過した直後の壁が崩れた話などもあった。

２．地域が助けた命

こうした偶然の中で今回の地震の象徴的な例だと感じたのが、4月3日未明に起きた余震のときの話だ。最も被害が大きかった宮之城町泊野地区の話だが、独り暮らしの高齢の女性が夜明け前の大雨の中、自宅から避難所に避難。その直後に自宅の裏山が崩れて危うく難を逃れたという。宮之城町役場がある同町屋地付近では、余震があった午前4時から5時の1時間雨量は数㎜だったが、泊野地区では38㎜の強い雨が降っていた。役場には、テレメーターで送られてきた雨量が表示され、危険を察した職員が防災無線などで避難勧告を発表。「面倒くさいけど、一応逃よう」と女性は自宅を出た。テレメーターの整備は3月25日。防災無線も阪神大震災があったために当初、水害対策で川内川沿いの家庭を中心に置く計画を見直した結果という。

わずかな地域のずれで雨量が違うことは多いが、これがいかに大切か。さらに防災無線。人口が少ないからこそ全家庭に行き届いているという地域が多く、地域の連絡や時刻を知らせるチャイムなどの活用で日ごろから慣れ親しんでいる家庭が多い。これが今回の災害時にもかなり役立っている。

3．避難所がいやしの場に

避難所へ出かけた理由のもう一つ。憶測の域を出ないのだが、女性は「あそこに行けばみんながいて安心」と感じたのではないか。過疎地の災害だった今回、避難所や仮設住宅に行く方が安心ということを何度となく聞いたからだ。

昔から顔見知りの住民たちは、自分の震災体験を避難所で語りながら不安を少しずつ解消していた。鶴田町のビニールハウスで寝泊まりしていた女性たちは、それぞれ家庭に夫を残しながら「ここの方が安心だし、友達同士、話をしている方がいい」と表情は明るかった。仮設住宅暮らしとなってからも夜は早めに家に帰り、「今夜は誰さんの仮設へ」と誘いあって毎晩、家族ぐるみで“持ち回りで宴会”を開いていたところもあるという。

誤解がないようにいっておくが、被災者はそれぞれ経済的な打撃は相当なものだった。家の土台が壊れて建てなおさなければ危険な家にいながら、高齢のために借金をどうするか悩む家庭はかなりあった。それでも表情が比較的明るかったのは、一つは気心がしれた相談相手が周りに大勢いたこと、もう一つはくり返しになるが、犠牲者がでなかったことだと思う。前者の理由として土石流災害で21人の犠牲者が出た出水市針原地区とは現場の悲壮感がかなり違ったし、実際に震災の仮設住宅では針原を同情する声をかなり耳にした。また後者は、同じ宮之城町の市街地である屋地地区や虎居地区では話し相手がなく、泊野地区に比べて行政への不満も多かったと聞く。悲壮感も違った。

4．まとめ

今回は地域によっては高齢者率が4割を超えたため、助ける側も助けられる側も高齢者という場面がいくつもあった。それでも比較的早く立ちなおっていったように見えた。その理由は、昔からみんな気心がしれた住民だったというだけでなく、地域でつくった婦人会や消防団が組織としてうまく機能した所が大きかった。その中心となったのが各地区の公民館長の指導力と信頼性である。

公民館長は、行政と住民のパイプ役になりながら、指導力を発揮し、地元が実によくまとまっていた。誰がどこにいるかといった住民の把握は、今回の震災各町の役場では、ずっと以前から指導してきたことではあるが、地区住民らが震災直後から何度も訪ね歩きみんなの無事を確認していた。

また、社会福祉協議会などで推進を始めたばかりの災害ボランティアについても被災地域では、地元の婦人会、消防団が役場の指示の前に率先して活動。炊き出しなどの避難所の世話は、災害後、行政が指導する前に機能していた。全国的には始まったばかりの活動だが、宮之城町などではずっと以前から火事などの度にやってきたことで「地域では当たり前」のことだという。

今回の地震は、過疎地だったために規模の割に被害が小さく、犠牲者がなかったため、全国的な注目度は低かったように思う。しかし、高齢者地区の震災、自主防災組織の重要性など参考にすべき点が多い。自主防災組織、災害ボランティアなどが行政に認識されて久しいが、全国的にみると、形式だけの所が多いと聞く。どうすれば機能するのか。ヒントは、今回のような過疎地にあると思う。

厳戒 地震・梅雨97かごしま ②

南日本新聞 6月9日

集団移転

東郷・本俣

「仏壇は持っていけるが、住み慣れたわが家や墓はどうなるのか。牛十四頭を飼育する畜産農家六人全員が移転先に引っ越すことを決め、鹿児島県北西部地震の震源地に隣接した薩摩郡東郷町の本俣地区。県内で初めて、集団移転事業を適用した五戸の家々だった。

家や土地へ寄せる人々の愛着や思い入れは深い。当初、久保さんも避難を渋っていたが、説得のため跡のすさまじさを間近で見た一人が「自然の猛威には逆らえない。自宅裏の土手が押し出されるように崩れ、林道わきのやぶでは幅約三十㍍の不気味な亀裂を見つけた。山の姿も家久保重夫さん(六〇)は迷った末に、生活とともに引っ越すことを決めた。鹿児島県北西部地震の震源地に隣接した山里に暮らす三十六世帯、八十五人の住民全員が移転に同意したのは、梅雨入りを控えた五月末のことだった。

家や土地、牛など財産はもちろん、住み慣れた地域社会を離れることへの不安もあった。

「財産も大事だが、命に代えられるものはない」。五月中旬、本俣公民館での住民集会には、たった二戸残る次町長はじめ役場の職員ら二十人余りが詰めかけた。集落の四割が六十五歳以上のお年寄りで四割に一軒は独り暮らしだ。集落を貫く町道が唯一の生活路のため、災害で寸断されれば孤立する。避難の遅れが命取りになりかねないのだ。

集団移転事業は、災害危険区域の指定や住民の三十六世帯八十人が仮設住宅で暮らす。母子家庭一人を含む六人に低所得者が多いなど、いずれも条件不利地域の六市町村にまたがる。

■人命第一に

薩摩郡宮之城町泊野では、先祖をあの地に残すのは忍びないと、最後まで残る人たちが悩んだ末に、ありがたいのだが」と話した。

全住民の三十六世帯八十人のうち、五人が仮設住宅などの避難先を決めた。同町は、残る二十五日までの本復旧を目指す。

■取材規制

「ダンプカーが通るたび、また地震が来て崩れるのではないかと思ってビクッとする」(薩摩郡宮之城町、七十六歳男性)。鹿児島県北西部地震で震度6の揺れに見舞われた薩摩郡宮之城町の被災地には、震源地の一日前、「これ以上、避難をおかけするよりはがきが届いていた、という。

阪神大震災後、せっかく助かった命を自ら絶つ悲劇が相次いだ。「心的外傷後ストレス障害(PTSD)」を指摘する専門家もいる。地震などの耐え難い災害体験が反復して心をむしばむ病だ。現実を拒否し、集中力を失う。さらに、パニックに陥り、ひどい場合は自殺に至る。

■取材規制

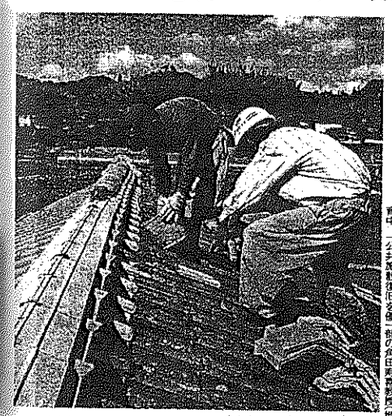
「ダンプカーが通るたび、また地震が来て崩れるのではないかと思ってビクッとする」(薩摩郡宮之城町、七十六歳男性)。鹿児島県北西部地震で震度6の揺れに見舞われた薩摩郡宮之城町の被災地には、震源地の一日前、「これ以上、避難をおかけするよりはがきが届いていた、という。

阪神大震災後、せっかく助かった命を自ら絶つ悲劇が相次いだ。「心的外傷後ストレス障害(PTSD)」を指摘する専門家もいる。地震などの耐え難い災害体験が反復して心をむしばむ病だ。現実を拒否し、集中力を失う。さらに、パニックに陥り、ひどい場合は自殺に至る。

■制度の壁

被災者の願いは日増しに膨

復旧急ピッチだが…
心の傷なお癒えず
鹿児島県北西部地震から3カ月



今も続く農根がわらの補修。業者に依頼しても順番待ちという=25日午後3時半、薩摩郡鶴田町鶴田

余震、順調に減少
1、2年後には終息

専門家予測

鹿児島県北西部での地震は「もっと可能性が高い(八十七回)」と推測に減ってきているが、特に六月に入ってからは、有感地震が一五回を含む二十五回と、やや増加傾向だと思う」と分析。今後の見通しについて、「一、二年続く可能性がある」と見る。

福岡管区気象台の観測によると、三月二十六日の鹿児島県北西部地震発生からちょうど一カ月後の四月二十六日までの地震は、九百五回。このうち、有感地震は二百八十四回にとった。これに対して六月一日までは、百九十回(うち有感地震は五十回)と減少傾向にある。

同大の鷹野和幸助教授によると、福岡管区気象台の観測に比べて、微小地震まで観測できるよう、震源地近くに観測点を設置。震源の深さや地震の規模などを詳しく調べている。

■取材規制

「ダンプカーが通るたび、また地震が来て崩れるのではないかと思ってビクッとする」(薩摩郡宮之城町、七十六歳男性)。鹿児島県北西部地震で震度6の揺れに見舞われた薩摩郡宮之城町の被災地には、震源地の一日前、「これ以上、避難をおかけするよりはがきが届いていた、という。

阪神大震災後、せっかく助かった命を自ら絶つ悲劇が相次いだ。「心的外傷後ストレス障害(PTSD)」を指摘する専門家もいる。地震などの耐え難い災害体験が反復して心をむしばむ病だ。現実を拒否し、集中力を失う。さらに、パニックに陥り、ひどい場合は自殺に至る。

■制度の壁

被災者の願いは日増しに膨

本俣集落の集団移転に伴い、5㌔ほど離れた場所に仮設住宅が設置された =薩摩郡東郷町の小園地区

愛着断ち、苦渋の選択

町の決断は自治ゾーンが終わる1月末まで集落に通報させる

ことだった。住宅建設区域の設定という法制的な措置ではなく、住民が相談し合い自ら決めた形だ。集落への立ち入りは防災、防犯の面から厳しく制限される。好天時の経過の九時間以外は集落を離れて完全封鎖する。

■遅れる耐震調査

小園地区の仮設住宅は一人用(十三平方㍍)から四、五人用(二十九平方㍍)まで十六世帯が入居する。町によると、倒壊や土石流など災害の危険はない。宮之城町石神地区同様、旅神大震災の基準に耐える設計で、各戸とも一二〇の鉄板で強度を補強した。

しかし、避難先となる公共施設の耐震調査にはとても手が回らないのが実情。費用は当面国庫の持ち出しの(一般会計初予算が約三十四億円)という。財政面の負担が大きいとは、「耐震調査の必要性はかるが、目に見える形の復旧作業で手一杯」と県側と意思疎通を図った。

集会を開き、集落の機能を維持していく。

■遅れる耐震調査

小園地区の仮設住宅は一人用(十三平方㍍)から四、五人用(二十九平方㍍)まで十六世帯が入居する。町によると、倒壊や土石流など災害の危険はない。宮之城町石神地区同様、旅神大震災の基準に耐える設計で、各戸とも一二〇の鉄板で強度を補強した。

しかし、避難先となる公共施設の耐震調査にはとても手が回らないのが実情。費用は当面国庫の持ち出しの(一般会計初予算が約三十四億円)という。財政面の負担が大きいとは、「耐震調査の必要性はかるが、目に見える形の復旧作業で手一杯」と県側と意思疎通を図った。

集会を開き、集落の機能を維持していく。

■遅れる耐震調査

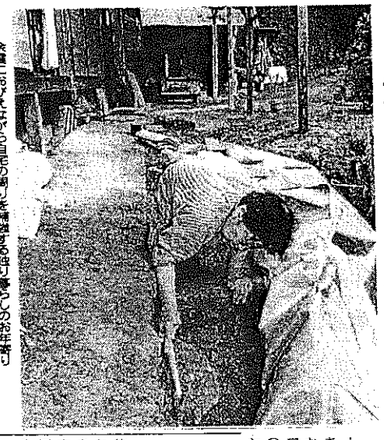
小園地区の仮設住宅は一人用(十三平方㍍)から四、五人用(二十九平方㍍)まで十六世帯が入居する。町によると、倒壊や土石流など災害の危険はない。宮之城町石神地区同様、旅神大震災の基準に耐える設計で、各戸とも一二〇の鉄板で強度を補強した。

しかし、避難先となる公共施設の耐震調査にはとても手が回らないのが実情。費用は当面国庫の持ち出しの(一般会計初予算が約三十四億円)という。財政面の負担が大きいとは、「耐震調査の必要性はかるが、目に見える形の復旧作業で手一杯」と県側と意思疎通を図った。

年金生活 復旧費重く

宮之城の被災老人世帯

遠い避難所、車なく、水も止まり
生きる気力奪う



余震におびえながら自宅の周りを補強する独り暮らしのお年寄り=薩摩郡宮之城町城之口

頻発する地震におびえ、「眠れぬ」と嘆く独り暮らしのお年寄りたち。第2鹿児島地震から四日たった十七日、住宅などに大きな被害の出た薩摩郡宮之城町の被災地に「災害弱者」といわれる老人宅を訪ねた。

「この先、心配で心配で…。もう生きてゆく気力がありません。町の中心部から約二㌔離れた同町城之口の自宅で、作田利子さん(さえは絞り出すように言った。

64人不眠や不調訴え
川内市で臨時健康相談

川内市では十日、地震で体調がすぐれない市民のために臨時の健康相談所を六カ所で開設した。六、七十代を中心に六十四人が訪れ、悩みなどを訴えた。

会場では保健婦と看護婦の二人が血圧を測り、一人一人の話に耳を傾けた。

体調不良の原因は体と心のバランスが崩れていることだ、と分析する。

地震後の家の様子や心配事について話をする人も多く、家庭の健康診断が観測できないような小さな地震だけになることはある。マグニチュード(M)6・0の地震から、四日しかたっていないので、終息したとはいえない。

県北西部地震から1週間 被災の宮之城・鶴田町

高齢者「眠れない」
切実な相談相次ぐ

鹿児島県北西部地震の発生から一日で一週間。大きな被害が出た薩摩郡宮之城、鶴田町では住家の占拠はほぼ終わり、表面的には平穏を取り戻したように見える。しかし新学期を控え、学校や傷みが激しい家屋などにほとんど手つかずで、絶えない余震に不眠や食欲不振を訴える高齢者もいる。

宮之城町では建設課職員らが見舞い金の支給調査のため潮田地区など約二十戸を巡回した。一人暮らしの堀森フヂエさんさんは「ショックで二日間は食べ物がのどを通らず、今も食が進まない。夜、怖くてぐっすり眠れない」と訴えた。

金世帯の八割近い千四百戸が一部破損するなど、災害対策本部を継続中の鶴田町はこの日、役場に「地震相談所」を開設、三十二人の職員を当面配置した。

鶴田小では特別教室のコンクリート柱が崩れるなどして、立ち入り禁止が続く。プレハブ教室を急ぐ町教委は県教委などとの折衝に追われた。

南日本新聞 4月2日

大雨の前に何とかして」といった切実な要望が自立ち「精神的に参って何もする気がしない」という人暮らしの女性もいた。同町は予定していた二日付の職員異動を当面延期した。

県北西部地震から1週間

震度5の衝撃

心の余震

集団避難後こそケアを
生活不安が追い打ち

林業集会所で避難生活を送る 松下英一郎さん(さえは「休息前」と四回も五回もリハーサル

木造平屋の家は石垣が高さ約三㍍、幅約八㍍にわたって崩れ落ち、玄関と床下が落ち着いて眠られず、結局、家の中で眠った。

「今度また、強い地震が来たら家が倒れるかも。町営住宅は空きがないらしい。民家を借りるとなると一カ月ぐらいはかかる。月七万円の年金では暮らしてゆけません」と嘆く。そして「石垣を直すにしても修理代がばかにならないし…」と二重にも三重にも悩んでいる。

地震の翌日から三日間は、近くの避難所でお年寄りなどと一緒に過ごしたが、勝手も欲しいものですが」。作田さんはため息をついた。

同町泊野の山あいに住む市野ヂミ子さん(さえ宅も、激しい揺れで柱が三寸ほども傾いてしまった。地震当時は家の中にいたが、タンスが倒れて急で危なかったという。

「今度の地震は本当に怖かった。片付けしながら涙が出た。片付けしながら涙が出た。よう泣かない。また使えない。

同町平川の中原ノブノさん(さえ宅もちょう場が壊れたままだ。中原さんは「最初の地震はなんとかなるかもしれないが、夜が怖くて。(地震が)いつ来るかと考えると眠れません。片付けを頼まれたが、遠いし、車もありません。地震のたびに水がばかりで頼めません」と

ボランティア
続々現地入り

鹿児島県北西部地震

鹿児島県災害ボランティアネットワークは十日、薩摩郡宮之城町と鶴田町に現地ボランティアセンターを設置した。

同県災害ボランティアネットワークは、県社会福祉協議会や県青年団協議会などで構成。今後の生活に対する不安がの励ましを広げている。

「個人の財産は個人負担で」。住宅被害は貸し付けが原則だ。

宮之城町湯田で独り暮らしの玉利ヒモさん(さえは「柱は割れ、モルタルの壁が余震のたびに崩れてくる。家には居たくない」とおびえ、「余震がおさまっても私のような年金生活者に、貸付金を返す力はない。生きている間、この家が持てばいいとは思うけど、台風のときに大丈夫だろうか」とため息をつく。

災害に対し、仮設住宅などに移る傾向が始まっている。久留教授は話す。「集団避難生活が終わって独りになるときから本当の症状が出てくる。心の余震への対処が遅れている。

(終わり)

南日本新聞 4月15日

南日本新聞 5月18日

の通り。

国道 504号(宮之城町泊野)、328号(同町平川)▽県道 宮之城加治木線(同町広瀬役屋)、小林えびの高原牧園線(牧園町みょうばん)、鶴田大口線(鶴田第二ダム付近)、下東郷阿久根線(川内市城

おわりに—震災に備える—

鹿児島大学理学部地球環境科学科　岩松　暉

1．地震と活断層

阪神大震災では活断層がすっかり有名になった。六甲活断層系が実際に動いて兵庫県南部地震を発生させたからである。そのため、活断層は危ないとの認識が広まると共に、地震が起きれば必ず活断層が出現するとの誤解も招いた。これは逆に、活断層が自分の町になかったら安心するといった困った風潮も生み出した。鹿児島県北西部地震でも、活断層が出現したはずだと考えた人も多かったらしい。しかし、一般にはマグニチュード 7 程度以上でないと地表地震断層は現れないと言われている。1974 年の伊豆半島沖地震（M6.9）では石廊崎地震断層の出現をみたが、恐らくこの程度が下限であろう。したがって、M6.2（後に気象庁は 6.5 と訂正）の鹿児島県北西部地震で、地表に地震断層が現れなかったのは定説通りであった。すなわち、この程度の中小規模の直下型地震は日本中どこでも起き得ることを示している。活断層がないからといって安心してはいけないのである。つまり、東海地域だけでなく、どこの地方自治体でもこの程度の地震は想定して、常に準備しておかなければならない。

一方、活断層が存在しているからといって、不必要におびえる必要もない。その活断層から地震が発生する確率が低い場合もあるし、次回の地震発生までの期間が人間の寿命よりもはるかに長い場合もある。仮にその活断層が動いて地震が発生したとしても、活断層直上に家がない限り、かなり近傍でも丈夫にさえ作ってあれば心配はない。淡路島の北淡町で地震断層が屋敷を横断した（写真 1）。塀はでずれたが母屋は居住可能なほどの軽微な被害しか受けなかったからである。もちろん、活断層が存在するところでは、地震の発生時期を見積もっておき、それに対する備えを忘れてはならない。

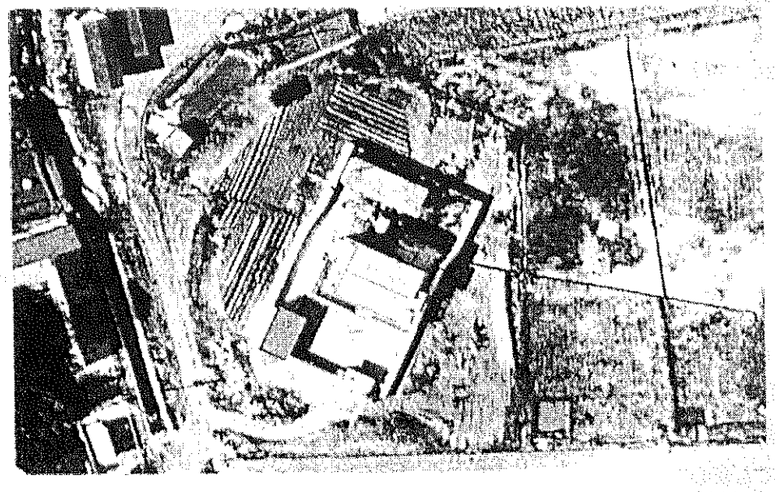


写真 1　北淡町小倉に出現した地震断層（国際航業提供）

2．地震と震災

関東大震災と関東地震と同一視されることが多い。しかし、地震と震災は全く別物である。地震学者今村明恒(1929)は、「地震は地殻の振動であって、人力を以て制禦し得べからざる自然現象」であるが、「震災は……造営物に対する地震の影響が主であって、人自ら招く災禍であり、努力の如何によっては之を防止し得べき人為的現象である」と喝破した。寺田寅彦(1935)も随筆『災難雑考』において、「『地震の現象』と『地震による災害』とは区別して考へなければならない。現象の方は人間の力ではどうにもならなくても、『災害』の方は注意次第でどんなにでも軽減され得る可能性があるのである」と述べた。それでは、どうしたら震災を軽減することが出来るであろうか。日本列島は環太平洋地震火山帯に属している以上、どこでも地震は起こり得るとして、莫大な資金を投じてすべての構造物を耐震・免震構造に作り直せばよいであろうか。いかに経済大国とはいえ、それは不可能であろう。ハード的対応万能論ではダメである。なお、阪神大震災以後、逆に危機管理といったソフト面が強調されすぎて、ハードは二の次との風潮もある。ソフトを生かすためにもハード対策が基本であることも忘れてはならない。

3．　地震予知

ハード的対応に限界があるとなると、ソフト的対応が重要になってくる。先ず思い浮かぶのが地震予知であろう。今まで国は地震予知研究に約2,000億円もの巨費を投じてきた。今村・寺田らのいうように、震災に強い防災国づくりには、この何百倍もの莫大な資金が必要である。地震予知の研究をやっているから震災対策は万全であるかのごとく宣伝して、本筋の対策を怠ってきたことの隠れ蓑に地震学者を利用してきたと言ってよい。しかし、ついに昨年、測地学審議会は「地震予知の実用化は将来の課題」との報告を出した。あまり地震予知に過大な期待は抱かないほうが良さそうである。

4．　地震防災地盤図の作成

そもそも災害の予知には時間的予知と空間的予知がある。前者の代表例が地震予知であり、活断層研究も長期的な時間的予知研究の一つである。空間的予知は、つまり、「どこが危ないか」を予知予測することである。

神戸における「震災の帯」は、その真下に活断層が伏在しているのではなく、第四紀堆積盆の形状、つまり地質構造が関係して、そこに震度の大きいところが集中したという（図1）。図1は第四紀層を剥ぎ取った基盤岩の地形を示している。基盤地形の急斜部に周辺より震度の大きいところが帯状に分布していることがわかる。また、本報告書の井村・他(1998)でも詳述しているように、局所的な地盤の善し悪しが被害に大きく影響している。このように地質条件の悪いところは、付近に活断層がなくても安心できない。たとえ日向灘などはるか遠地で発生した海溝型地震によっても、大きな被害を受ける可能性が高いのである。つまり、わが町の「震災の帯」がどこにあるのか、事前に調査して知っておくことは、被害軽減に大きく貢献する。国土全体を耐震型に改造するのは不可能にしても、この地帯に限定するならハード対策の重点投資も可能だからである。また、病院・学校・役所など重要公共建物は建設しないとか、この地帯には避難所を指定しないといったことも考えられる。各市町村ごとに詳細な「地震防災地盤図」を整備しておくことは、地震列島日本にとって不可欠の施策であろう。なお、地盤図というと表層の軟弱地盤の分布状況を示すものと受け取られがちであるが、図1の例でもわかるように基盤の構造も問題であるから、地質学的な表層地盤の研究と共に、地球物理学的手法による地下構造探査も欠かせない。

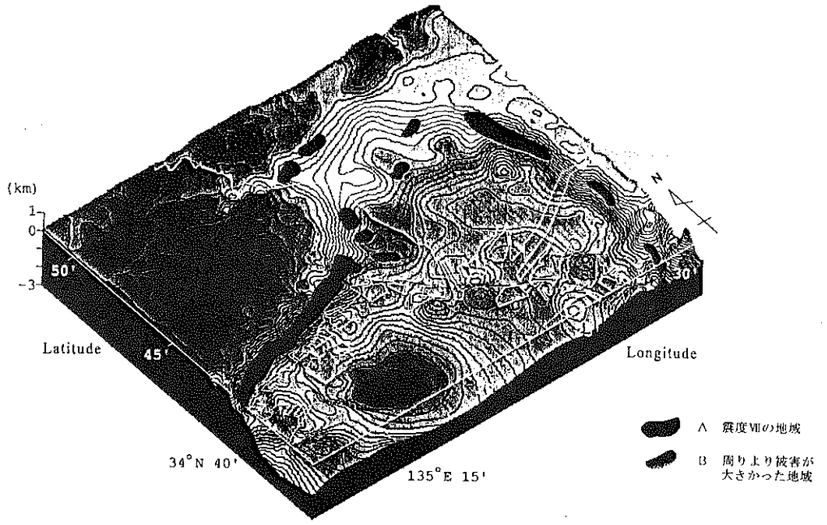


図1　阪神・大阪周辺の基盤岩の形態（日本応用地質学会,1997）

5．防災町づくり

阪神と北薩と被害の程度に天と地ほどの差があるのは、第一に地震の規模の違いにあることは論を待たないが、人口の集積とオープンスペースの多寡の違いも大きく影響している。超過密都市神戸であるが故に人的被害が大きかったのであり、建物が密集して緑が少なかったが故に地震火災の類焼を食い止められなかったのである。北薩で火災が発生していたとしても、あのような大火にはならなかったであろう。住民にとって優しい、環境面からも快適なアメニティー空間づくり、インフラづくりこそ防災町づくりに通じるのである。仮設住宅における老人の孤独死も、福祉施設が充実していたら防げたはずである。株式会社神戸と言われてきたような開発一辺倒型の都市政策は反省を迫られていると言えよう。しからば何をなすべきか。一極集中の是正といった国レベルでの施策から、地域レベルでの自立分散型ネットワークづくり、さらには町内会レベルでの防災点検・自主防災組織づくりまで、いろいろ考えられる。ライフラインにしても多重補完型にして、一個所の破壊が町全体の機能麻痺に陥らないようにしなければならない。

6．地縁社会の再建

震災に限らずすべての自然災害について、地縁社会が存在していたか否かで明暗を分けたケースが多々ある。長崎水害の場合、古い集落では谷の奥で山鳴りがした場合には土石流の危険があるとの伝承が残っていた。お年寄りなど災害弱者がどこにいるかも熟知しているから、隣近所の人がおぶって逃げて助かった。一方、近所付き合いのない新興住宅地では、一家の主の帰宅を待っていたために逃げ遅れて死亡した例があるという。阪神でも、連帯意識の強い下町地域は力を合わせて復興に立ち上がった。こうしたところでは心的外傷後ストレス症候群(PTSD)など心の病が発症しにくい。

鹿児島は他県に比して、あいご会など町内会活動が活発な地域である。つき合いが煩わしいとか、束縛されることが多いとの声も聞かれるが、災害に対して地縁社会は絶大な力を発揮する。戦争中の隣組や江戸時代の五人組の復活を唱えるのではない。もっと近代的なコミュニティーの構築が必要であろう。東京都国分寺市では、町内会とは別に防災会を作って、市職員やコンサルタントの助言を得ながら自らの手で町内の防災診断図を作るなどの活動を行っている。大いに参考になると思う。

7．個人の震災対策

何よりもわが家がどのような地盤の上に建っているかを知っておくことが基本である。軟弱地盤の上、とくに基盤の深さが急変するところは危険である。建物の固有周期と地盤の卓越周期が一致したときに揺れは激しくなるから、それらを知っておくことも大切であるが、専門家に調べてもらわないとわからない。一般の木造住宅の場合、筋交いの入った壁や合板張りの壁など耐力壁の多寡が耐震性を左右する。鹿児島は南国で、夏の通気性を考えて壁面積が少なく開口部が多い作りになっていることが多い。地震に対して極めて脆弱な構造になっている。筋交いなどの補強をする必要がある。その筋交いも接合部が離れては何にもならない。留め付け金具でしっかりと固定しなければならない。阪神大震災では、同じ造りでも建築年代の新しいものほど被害が少なかった。シロアリによる被害や腐朽を放置せず、こまめなメンテナンスを行う必要がある。いずれにせよ一度は専門家による耐震診断を受けておくほうがよいと思う。

建物は倒壊しなくても、家具が倒れてケガをした例や死亡した例も多い。タンスや本棚など留め金具でしっかりと固定しておくことを忘れてはならない。

また、懐中電灯・携帯ラジオ・非常食・救急医薬品といった防災グッズを常備したり、非常時の家族の連絡先や安否の確認方法を相談しておくなど、事前の備えも重要である。家族全員、指定避難所がどこにあるかも知っておかなければならない。

最後に蛇足ではあるが、桜島爆発記念碑に書かれた東桜島村長の言葉「異変ヲ認知スル時ハ、未前ニ避難ノ用意尤モ肝要トシ、平素勤倹産ヲ治メ、何時変災ニ遭モ路途ニ迷ハザル覚悟ナカルベカラズ」を座右の銘として、災害に備える心構えが大切である。通り魔事件の被害者には救済制度があるのに、残念ながら自然災害に関しては個人補償など公的資金による救済制度がない。今のところ自助努力するしか手がないからである。

「1997年鹿児島県北西部地震の総合的調査研究」
報　告　書
1998年3月
発　行　鹿　児　島　大　学
自　然　災　害　研　究　会
研究者代表者　岩　松　　暉
〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-35
印　刷　(有)　オ　ー　ム　社
印刷協力　(有)　徳　田　屋　書　店
(鹿児島地図センター)