

アンケート調査による鹿児島市内の震度分布

著者	長宗 留男, 角田 寿喜, 三木 祐次
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	18
ページ	77-88
別言語のタイトル	Seismic Intensities in Kagoshima City by a Questionnaire
URL	http://hdl.handle.net/10232/00009979

アンケート調査による鹿児島市内の震度分布

長宗 留男*・角田 寿喜*・三木 祐次*

(1985年9月10日受理)

Seismic Intensities in Kagoshima City by a Questionnaire

Tomeo NAGAMUNE, Toshiki KAKUTA and Yuji MIKI

Abstract

A questionnaire survey was carried out to investigate the precise distribution of seismic intensities in the area of Kagoshima City, at a time of the Hyuganada Earthquake of August 7, 1984. Intensities were widely distributed from 0 to 4.5 in the JMA scale: the average was 3.0, which was equal to that reported by the Kagoshima District Meteorological Observatory.

The questionnaire contained some questions about human psychological conditions during an earthquake, such as astonishment or frightfulness. Intensities may be increased by these items in Kagoshima City where people have been little experienced in large shocks.

High intensity area relative to its surroundings was observed in a thick alluvial region, especially in the west side of the Kotsuki River. Though the distribution of intensities was locally complicated, it was closely related to the geological ground conditions.

1. はじめに

地震による建造物等の被害は、それに加わる地震動の特性（強さ、周期、振動時間など）に影響されるが、ある地点における地震動の特性は、地震の規模、震央距離、波の伝播経路などのほか、局地的な地盤の強弱によるところが極めて大きい。このため、地震災害対策の基本として地盤調査を行うことが必要になる。

地盤調査の方法としては、ボーリングによって地盤の構造を調べ、それぞれの深さの地質や振動に対する特性（地震波速度、密度など）を解析する方法、雑微動の観測から地盤特性を推定する方法、人工的に振動をあたえて弾性波を観測し構造を推定する方法、実際の地震による震動の強さ（震度）から地局的な地盤特性を解析する方法、などがある。

今回は日向灘で発生した地震について、アンケート方式によって鹿児島市の地域における震度の精密調査を実施し、地盤の地局的特性について検討した。

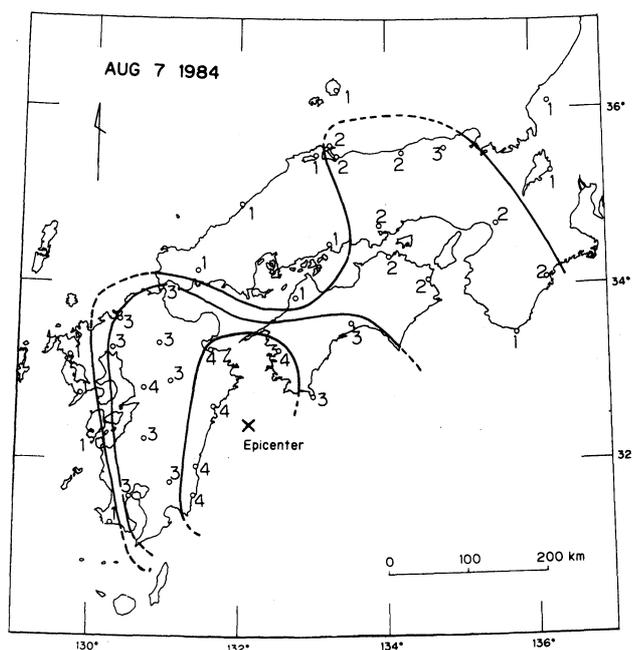
2. 地震および調査の方法

調査に使用した地震は、1984年8月7日04時06分ごろ日向灘で起ったもので、気象庁による震源等は次のとおりである。

震央：32° 22'.8N, 132° 09'.3E 深さ：33km M：7.1

* 鹿児島大学理学部地学教室 Institute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, Kagoshima, 890 Japan.

最大震度は、第1図に示すように宮崎、延岡、油津、大分、宇和島、熊本におけるIV*、鹿児島地方気象台による鹿児島の震度はIIIであった。図でわかるように、九州地方では等震度線がほぼ南北に走っているが、九州西部ではその間隔が非常に狭くなっている、東西方向についての震度の距離による減衰が極めて大きい。このことは、鹿児島の震度IIIから枕崎のIへの変化にみられるように、鹿児島市より西に行くに従って地震波（特に震度に影響するような比較的周期の短い波）が急激に減衰することを示している。このような現象は、この地震に限らず常にみられることである。



第1図 震度調査に使用した日向灘の地震の震央及び震度分布図

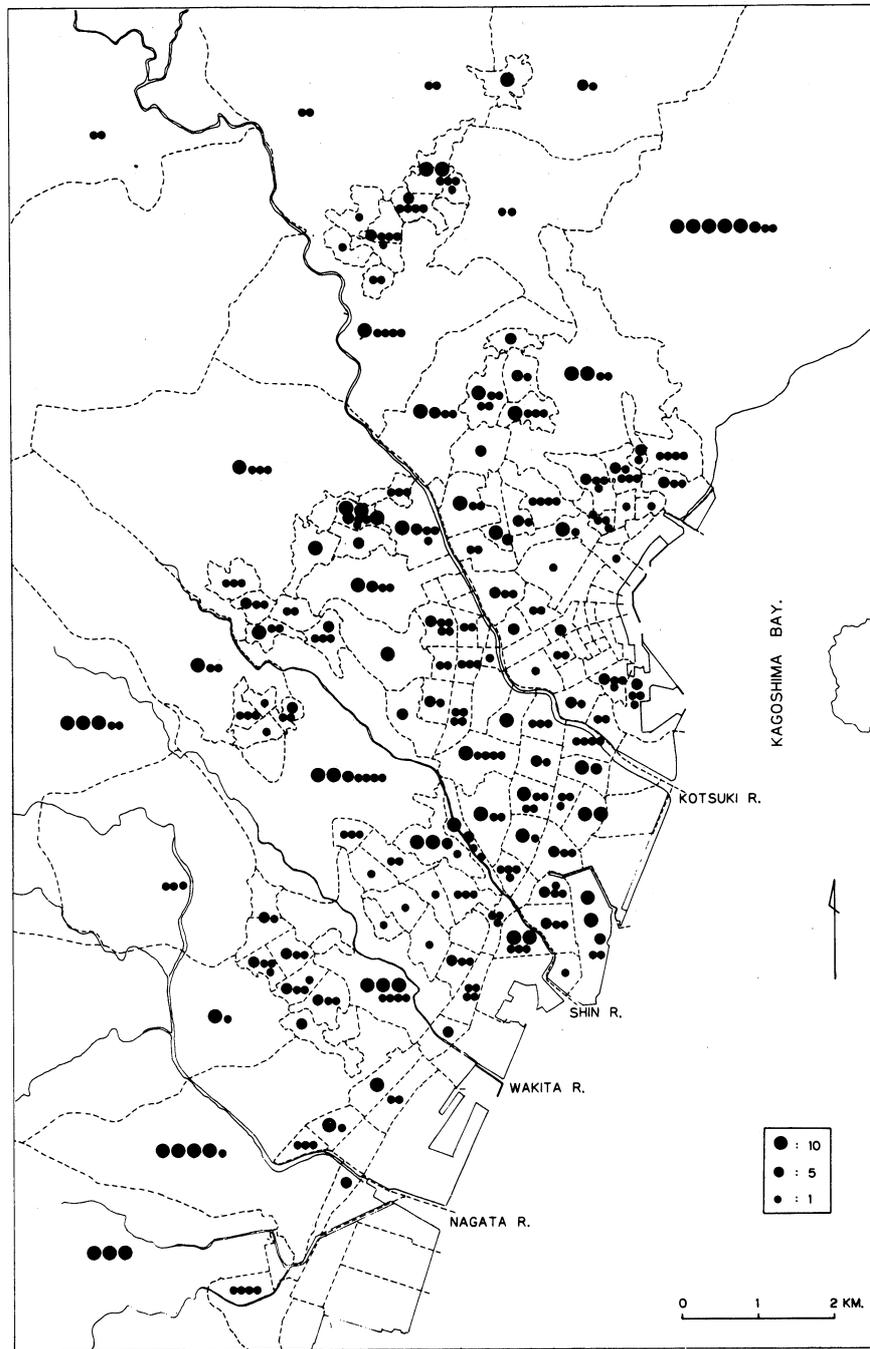
このような大きな地震波の減衰は、九州西部の地下構造によるものと考えられる。したがって、もし鹿児島市の東部と西部でこのような構造的な震度の差異がある場合には、地盤特性の調査としては適当ではない。ただし、鹿児島市は南北方向に長くなっており、かつ、波の進行方向はおおよそ北東～南西になるので、今回の調査では上述のような距離による減衰は考慮しないことにした。

アンケートのための調査票は、太田その他(1979)が、ほぼ震度I～VIに適用できるものとして作成した様式をそのまま借用した。解答から震度を算出する方法も同様である。

調査票は、鹿児島市の地域に居住している鹿児島大学、鹿児島県庁及び鹿児島市役所の職員を対象に1,747枚配布した。調査票の配布は、一部翌日になったものもあるが大部分当日中に実施した。

このうち1,186枚が回収され、回収率は67.9%であった。この中には、場所が記載されていないものなどが約6%あり、最終的に震度推定に使われた数は1,114枚、うち地震を感じなかった

* 本文中ローマ数字で表わしてあるのは、気象庁震度階級による震度である。



第2図 回収された調査票枚数の行政区画別数量

ものが327枚(29.4%)あった。第2図に震度推定に使用された調査票の地域的分布を示してある。図には行政区画別の枚数がプロットしてあるが、さきに述べたような配布方法を採用したため、地域的には必ずしも一様になっていない。(例えば市街地の中心部などでは、空白のところが多くなっている。)

第3図は鹿児島市の地形の概略である(建設省国土地理院, 1976による)。ただし、この図の



第3図 鹿児島市の地形図。太いコンターは標高50mの等高線。

範囲は、第2図の中央の部分である。

市街地は海岸沿いにほぼ南北にのびた狭い低地の部分である。これらの地域は、北部では稲荷川、甲突川、新川、南部谷山地区では脇田川、永田川下流の沖積地であるが、中心部分（古い市街地）は大半甲突川の三角州地帯である。（第2, 3, 6, 8図参照）

市街地の周辺地域は、第3図からわかるように、高さ100~200mのシラス台地または丘陵地帯であるが、この地域は、およそ昭和30年代から住宅団地として開発が始まり、昭和40~50年代にかけて急速に造成され、開発されている。

第2図で示してある調査地域は、大別して、それぞれの河川下流の沖積地である低地の部分と、その周辺部分のシラス台地または丘陵地帯に分けられる。

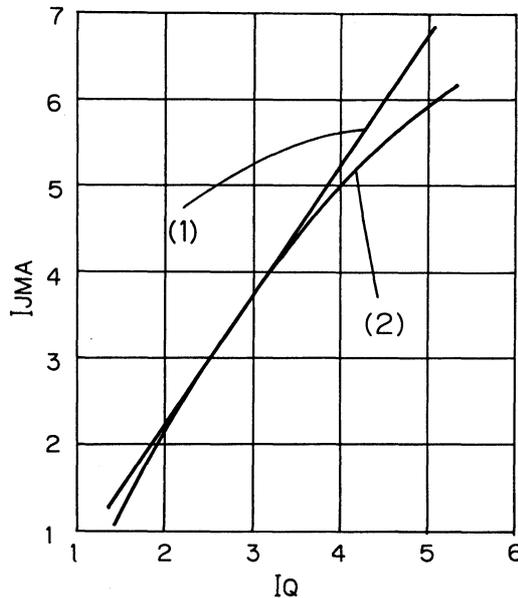
3. 震度の推定

今回採用した調査票からは、太田その他（1979）が定義した震度 I_Q が求められるようになっている。 I_Q とわが国で一般に使用されている気象庁震度 I_{JMA} との関係は、太田その他（1979）により次式で表わされている。すなわち、

$$I_{JMA} = 1.506 I_Q - 0.789 \dots\dots\dots(1)$$

または、

$$I_{JMA} = 2.958 (I_Q - 1.456)^{0.547} \dots\dots\dots(2)$$



第4図 震度 I_q と気象庁震度 I_{JMA} との関係。
 (1): $I_{JMA} = 1.506 I_q - 0.789$
 (2): $I_{JMA} = 2.958 (I_q - 1.456)^{0.547}$

が求められている。

(1)式と(2)式の関係は第4図のとおりである。これらの関係式は、 $II \leq I_{JMA} \leq V$ の範囲の資料によって求められたものであるが、いろいろ検討の結果(2)式のほうがあてはまりがよいとされている。しかし、図からわかるように I_q の値がおよそ2.0から3.5の範囲では両者にあまり差はないこと、今回は I_q が3.5以上のものはなく、むしろ $I_q < 2.0$ のものがかなりあったが(2)式では I_{JMA} に換算できないものがでてくることのため I_{JMA} への換算は便宜上(1)式によった。

地震を感じたと回答した調査票について I_q 別度数を示すと第5図のようになる。図の上側には I_{JMA} を示してある。 I_q は1.4から3.5まで分布しておりそれらの平均は2.54である。気象庁震度階級に換算すると、1.3から4.5までの範囲に分布し平均値は3.0になる。鹿児島地方気象台における観測では震度Ⅲであったが、鹿児島市の地域における震度の平均値はこの値とよく一致している。しかし鹿児島市全域では、気象庁震度階級でⅣ程度から無感まで、およそ5段階の震度差があったことになる。

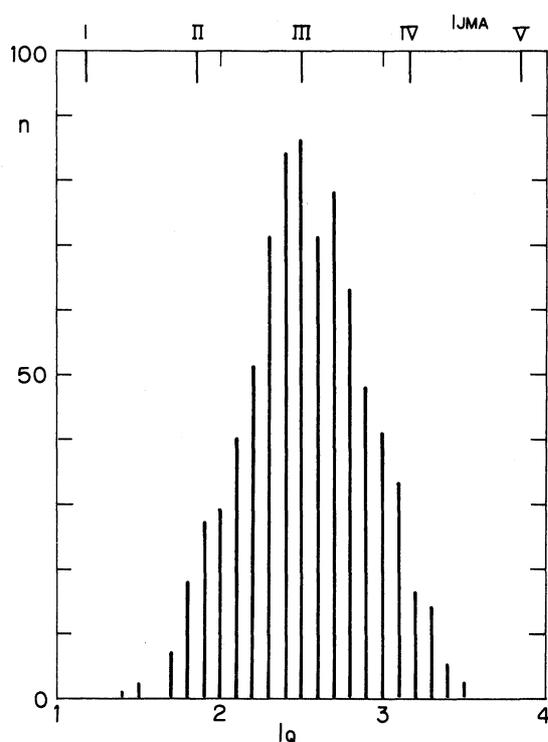
I_q が約3以上になると I_{JMA} ではⅣ程度に相当する。 $I_q \geq 3.0$ の回数は111で有感の全回数
 の14%であった。

アンケートには「驚き」について、「1. 全然驚かなかった、2. 少々驚いた、3. かなり驚いた、4. 非常に驚いた、5. この上なく驚いた」の5つのカテゴリーの設問がある。また「こわさ」についても同じく「1. なんとも思わなかった、2. 少々こわいと思った、……、5. 絶望的になった」の5段階に分けた設問がある。これらの項目についての回答は第1表のとおりであった。

気象庁震度階級の解説文によると、震度Ⅲは、ちょっと驚くが恐怖感はない程度の地震であり、恐怖感を覚えるのはⅣ以上の地震と定義されている。今回の地震では「かなりこわいと思った」カテゴリー番号3以上の人が約10%いた。これらの人のうち、さらに、非常にこわいと思った、

第1表 「驚き」および「こわさ」についての回答状況

項目 カテゴリ番号	驚き	こわさ
5	0.5%	0.3%
4	2.0	1.1
3	21.0	8.4
2	62.5	57.7
1	13.0	31.6
答えず	1.0	0.9

第5図 震度 I_Q の度数分布。 I_Q と I_{JMA} の関係は(1)式による (第4図 参照)。

あるいは非常に驚いたような人が1~2%あり、実際の地震動の強さのわりに「驚き」や「こわさ」が大きかったように思われる。このことは恐らく、鹿児島では比較的地震を感じる人が少ないため、地震をしばしば経験している人達と比べて地震に対する驚きや恐怖心が強くなる、最近高層の建築物が多くなり、地震動による建物の振動が大きくなるにもかかわらず、怖いと思っても容易に戸外等に逃げだせない、など心理的作用が大きく働くためと思われる。

4. 資料の処理

調査表で推定された震度は第2図に示した行政区画をさらにいくつかの小区域に分割し、その小区域ごとにそれぞれの区域について平均値を求めた。

さきにも述べたように、「地震を感じなかった」と回答したものが有効回答数の29.4%あった。今回の地震では鹿児島市の地域で地震を感じた人の平均の震度はI_{JMA}に換算してほぼⅢで、そんなに大きな震動ではなかったもので、条件によっては地震を感じなかった人も多かったと思われる。さらに、地震が起こったのは夜明け前の4時7分ごろで、多くの人は寝ていた時刻である。アンケートの回答によると、地震時屋外にいた人は全体の0.6%であった。さらにこの中で動いていた人及び乗物に乗っていた人がそれぞれ0.2%であったが、全体として眠っていた人が非常に多かった。

このため、誰でも目をさます程度の震動でないと「無感」になる可能性がある。気象庁震度階級では、眠っている人が目をさますのはおおむね震度Ⅲ以上で、Ⅱでは目ざめない人も多い。したがって「無感」の中にはI_Qで2.5程度のもも含まれていると考えられる。

区域ごとの平均値を求める場合、原則として、「無感」のデータは除いてある。ただしある地域において、「無感」の数が「有感」の数よりはるかに多い場合でも「無感」を考慮しないのはかえって不自然であるので、「有感」の数の半数以上の「無感」があった場合に限り、「無感」はI_Q=2.14として平均値の計算に加えることとした。なおI_Q=2.14は、調査票について、眠っておれば気付かないであろうと思われる質問事項を基に算出した値である。実際にこのような処理が必要な区域は、全体のおおよそ10%であったが、このような処理を行ったためその区域の平均値が、「有感」だけのデータの平均値と比べて著しく違うような例はなかった。

また、それぞれの分割した区域ごとの平均値の計算では、区域ごとの平均値からの残差が分散値の2倍以上のデータは除くことを基準にしたが、実際にはこのようなデータはなかった。

このようにして求めた各区域ごとの平均値について、全体のI_Qの平均値からの残差をプロットしたのが第6図及び第8図である。

5. 震度の地域特性

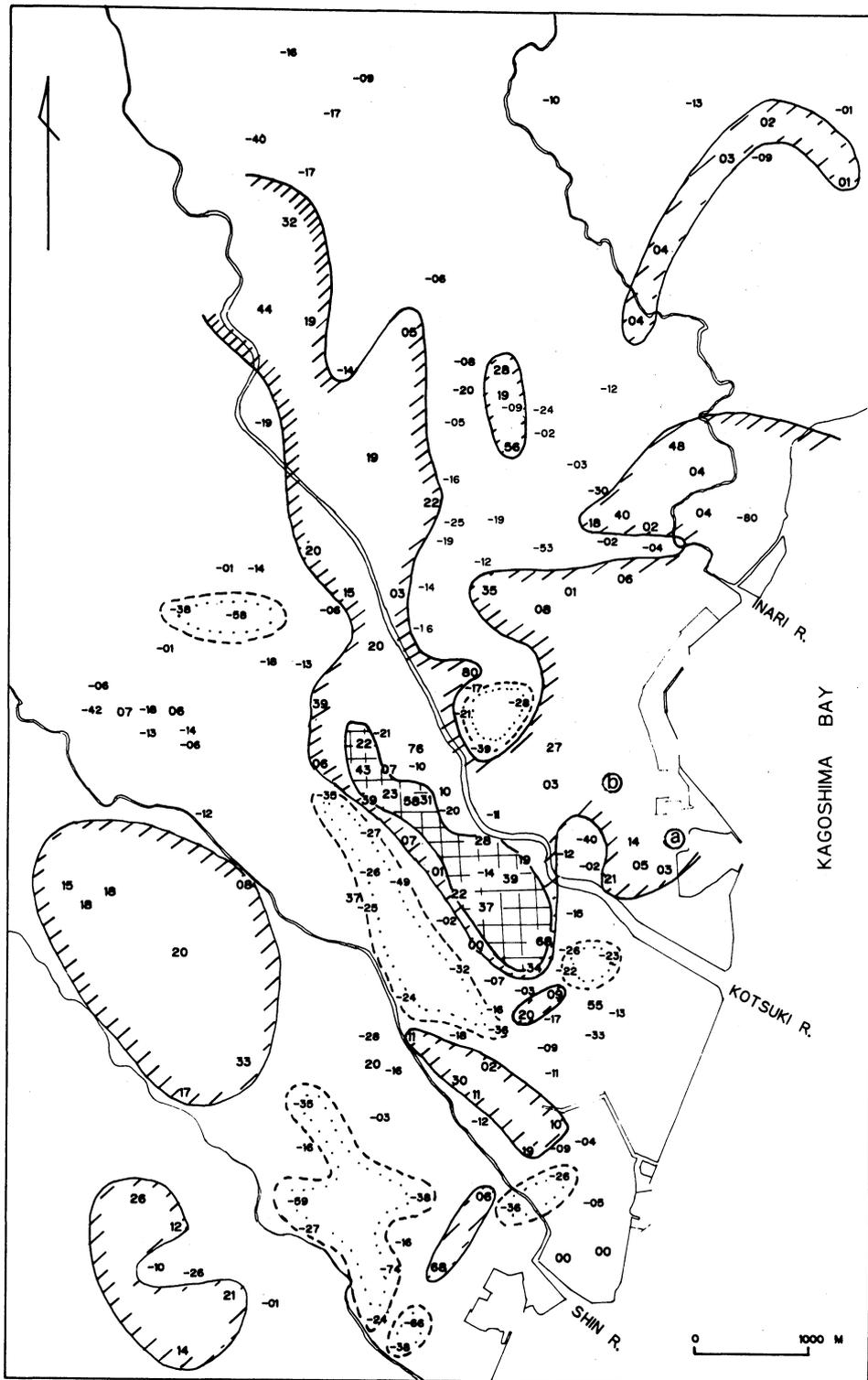
第6図には、およそ新川河口付近以北（第2図参照）の部分について、それぞれの区域の平均値の残差を示してある。図では、残差が全体の平均よりも大きい地域（平均よりも震度が大きかった地域）、その中でも特に大きい地域（残差が+0.20以上の地域）、及び平均より特に小さい地域（-0.20以下の地域）は、特に区別して示してある。

資料はかなりばらついており、周囲に比べて1点だけ大きく（小さく）なっているようなところもあるが、ここでは個々の値について細かくみないで、大まかな地域特性について考えることにする。なお、第2図の範囲のうち、南部地域については別に示してある（第8図）。

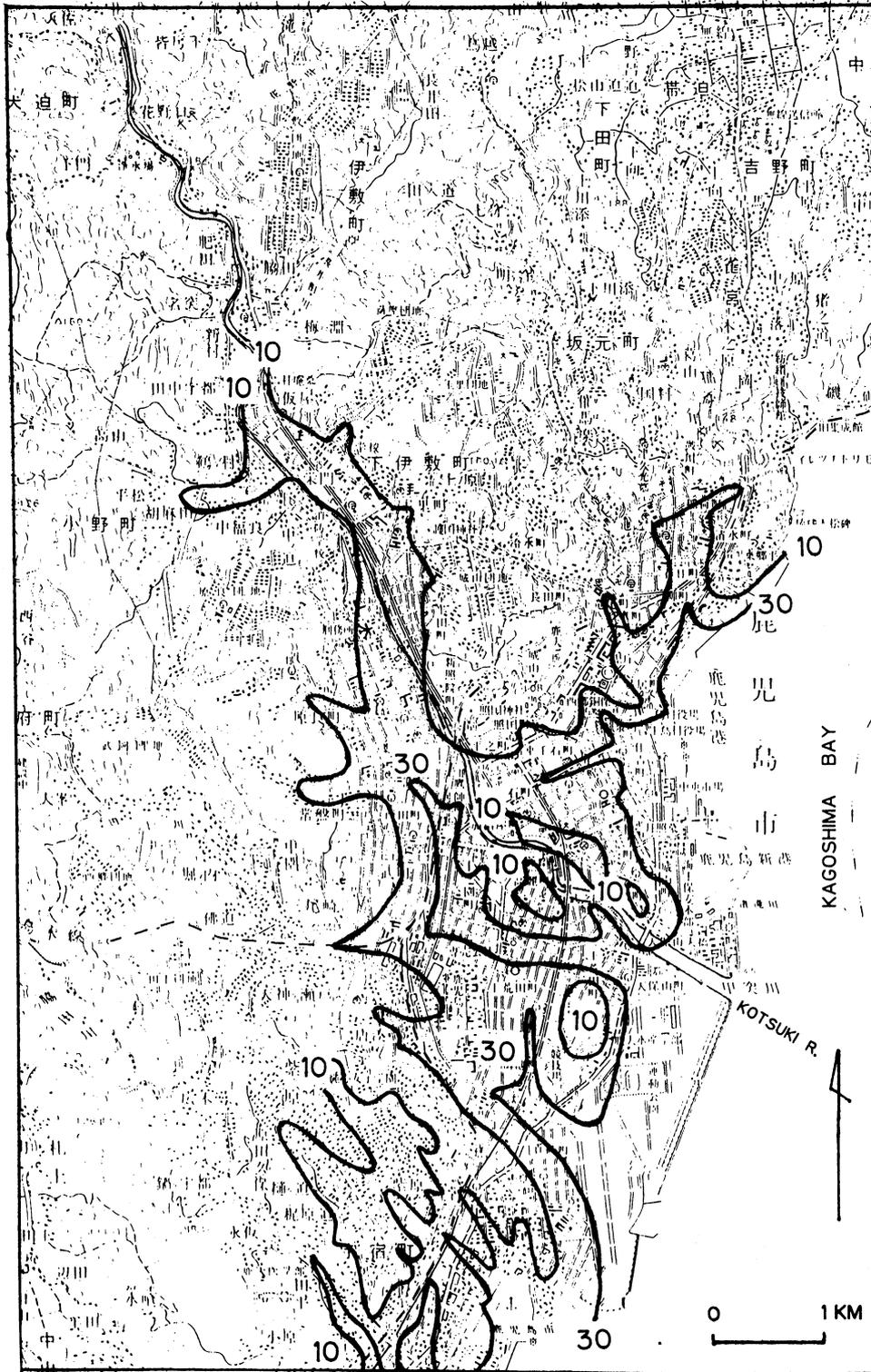
第6図をみると、鹿児島市の旧市街地から、甲突川の流域にかけての地域では、全体として平均の震度よりも大きくなっている。特に甲突川の左岸では、平均よりもかなり強く感じた地域が、ほぼ川に沿ってのびているのが注目される。その他甲突川から脇田川にかけての低地、周辺の丘陵地（北部及び南西部）にもところどころ平均以上のところがある。

一方、平均よりも特に弱く感じた地域は、甲突川より南の低地部分、周辺の高台のところどころに分布している。

第6図に示したような場所による震度の大小（震動の強弱）は、原則的にはその地点の地盤に



第6図 細分した各区域における震度 I_Q の平均値からの残差。点線で囲まれた部分，斜線付の線の内側の部分，および網目で示された部分はそれぞれ平均よりも特に震動が弱かった地域，震動が強かった地域，及び震動が特に強かった地域を示す。



第7図 標準貫入試験によるN値20以上の支持地盤上限の等深線。(建設省計画局・鹿児島県, 1969による。)

関係していると考えられる。図で残差がプラスになっている甲突川流域から旧市街地にかけての地域は甲突川の三角州地帯で、地盤調査の結果でも表層が比較的厚いところである。

鹿児島市の地域、特に市街地地域については、「都市地盤調査」の一環として、建設省計画局・鹿児島県（1969）により詳細な地盤調査が行われている。第7図は、その報告書から標準貫入試験による「N値20以上の支持地盤上限の等深線」を示したものである（ただし、深さ10m及び30mの線だけ描いてある。）

等深線は複雑な形をしているが全体的にみると、その走向はほぼ海岸線に平行しており海岸に向かって「支持地盤の上限」は深くなっている。ただし甲突川の流域では、等深線が川に沿って走っており、「支持地盤の上限」の深さが周囲に比べて深くなっているのがわかる。特に甲突川の西側の低地の部分では、深さ30mの地域が河口付近から上流に向かって3～4km入りこんでいる。この地域は、第6図で網目で示した震動が特に強かった地域とほぼ一致している。

第6図と第7図を比較してみると、低地の部分（主として市街地地域）における震度分布のパターンは、地盤特性をかなりよく反映しているといえる。

参考のため、強震速報 No.27（国立防災科学技術センター，1984）から、鹿児島市港工事事務所（第6図の②点，設置個所地表）及び鹿児島電報電話局（第6図の⑥点，設置個所1F）におけるSMACによる加速度観測結果を調べてみる。②点及び⑥点における最大水平加速度（水平両成分の合成値）はそれぞれ26.2ガル及び14.1ガルであった。仮りに河角の関係式， $\log \alpha = I_{JMA} / 2 - 0.6$ （ただし， α は加速度で単位ガル），によって I_{JMA} に相当する加速度を求めると，震度Ⅲで8～25ガル，Ⅳで25～80ガルになる。上記の観測値26.2ガル及び14.1ガルを震度に換算すると，それらはそれぞれⅣ及びⅢに相当する。第6図の②，⑥両点は平均よりも震度が大きかった地域にあり，今回の震度調査の結果は，SMACによる加速度観測ともよく調和している。

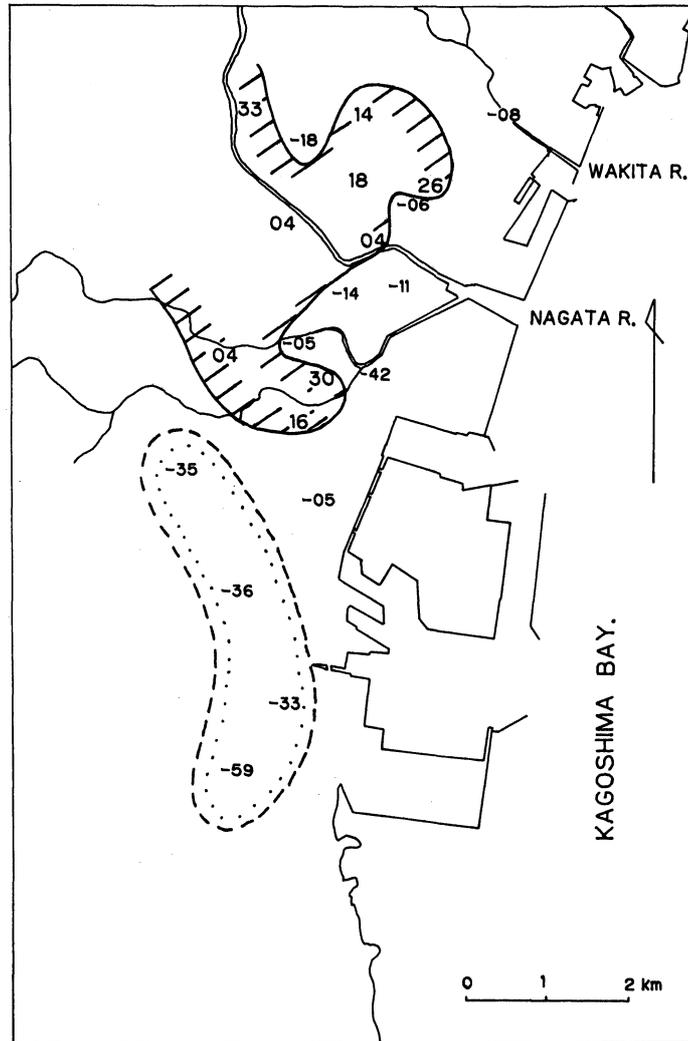
市街地の周辺部の台地に造成された住宅団地については，平均よりも強く感じた地域，特に弱く感じた地域などあり，必ずしも単純ではない。造成の方法，造成前の地形の差，などが影響するとも考えられるが資料数も十分でないのでこれ以上の議論はさしひかえたい。一般に，台地上の団地では震度が比較的小さかったといえそうである。

第8図は，鹿児島市の南部地域に対する区域ごとの平均値の全体の平均値からの残差を示したものである。区分等は第6図と同様である。この地域については資料が比較的少なく，詳しい議論はできないが，永田川の流域の低地部分に震度が平均よりも大きかった地域がある。その他は全般的に震度は小さく，特に南部では「特に小さく」なっている。

6. あ と が き

鹿児島市の地域を対象に，アンケートにより震度の高密度調査を実施した。気象庁地震月報によると，調査した地震の鹿児島における震度は，気象庁震度階級（ I_{JMA} ）でⅢであったので，今回の調査は比較的震度の小さい場合の調査といえる。

調査の結果，「地震を感じなかった」という回答が全体の約29%あったが，震度の大きい方では I_{JMA} に換算して4.5まであった。また，有感であった人についての平均値は， I_{JMA} で3.0であった。元来，鹿児島は比較的地震の少ないところで，最近10年間に鹿児島で有感であったような地震は，平均して年3回程度である。したがって，今回程度の地震でも震動がやゝ大きくなったところでは心理的影響が大きく，驚いたり，恐怖心を覚えたりする程度が強くなることが考えられる。調査項目には，「驚き」や「こわさ」に関するものがあり，このような項目が，比較的震動が強かったところでの震度を大きくする役目を果たしたものと考えられる。ただし，低地の市



第8図 鹿児島市南部地域における震度 I_Q の平均値からの残差の分布。(第6図参照)

街地部分については、震度の大小の地域的分布と地質特性が、かなりよい対応を示しているといえる。

市街地周辺の台地に造成された団地については、あまり系統的な特徴は見出せなかった。全般的にみて、造成団地における震度は比較的小さかったようであるが、このことは、今回の地震では比較的震動が弱かったことによるのか、震度に関係なく常に同じ傾向になるのか、今回の結果だけから結論することはできないように思われる。

今回の調査は、対象とした地震が比較的小さかったため、調査票の質問事項のうち該当事項がある程度限られたこと、地震を感じなかった人が多かったこと、調査票の配布が地域的に一様でなかったことなど、震度の高密度調査としては必ずしも望ましい条件ではなかったが、この種の調査としては有意義な結果が得られたものと思う。

今回の調査では、北海道大学工学部太田裕教授の御了解を得てアンケート用紙を使用させていただいた。同教授に厚くお礼申し上げます。

調査は、鹿児島大学、鹿児島県庁及び鹿児島市役所の職員の皆様の御協力の基に行われた。アンケートに御回答いただいた多くの方がたにお礼申し上げます。特に、鹿児島県庁および市役所職員へのアンケートの配布・回収には、郡山栄（鹿児島県庁）および山下哲朗（鹿児島市役所）の両氏に御協力いただいた。

また資料の整理をしていただいた西郷博志技官にお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 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, 北海道大学工学部研究報告, 92, 117-128.
- 建設省計画局・鹿児島県編, 1969, 鹿児島・始良地区の地盤, 都市地盤調査報告書第19巻
- 建設省国土地理院, 1976, 土地条件調査報告書(鹿児島地区)