1995 年兵庫県南部地震の広域アンケート調査

——高震度領域におけるアンケート震度と計測震度との関係——

大阪市立大学大学院理学研究科* 井 上 直 人
大阪教育大学付属天王寺高等学校** 柴 山 元 彦
大阪市市民局*** 辻 江 賢 治
大阪職業能力開発短期大学**** 領 木 邦 浩
大阪市立大学大学院理学研究科* 千 田 智 志†・岡本健太郎††・根 本 泰 雄・中 川 康 一

Regional Questionnaire Survey on the 1995 Hyogo-ken Nambu Earthquake

—Relationship between the Questionnaire and Measured Seismic
Intensity in High Intensity Range—

Naoto INOUE

Department of Geosciences, Graduate School of Science, Osaka City University, 3-3-138,
Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan

Motohiko SHIBAYAMA

Tennoji Senior High School Attached to Osaka Kyoiku University, 4-88, Minamikawahori,
Tennouji-ku, Osaka 543-0054, Japan

Kenji TSUJIE

Citizen's Affair, Osaka City Government, 4-1-21, Kitahama, Chuo-ku, Osaka 596-0041, Japan

Kunihiro RYOKI

Department of Liberal Arts, Osaka Polytechnic College, 1778 Inaba-cho, Kishiwada,
Osaka 596-0103, Japan

Satoshi SENDA†, Kentaro OKAMOTO††, Hiroo NEMOTO and Koichi NAKAGAWA

Department of Geosciences, Graduate School of Science, Osaka City University, 3-3-138,
Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan

(Received November 22, 1998; Accepted February 1, 1999)

The seismic intensity of JMA (Japan Meteorological Agency) is widely recognized to be providing the important information regarding the damage and intensity of the seismic ground motion. Several questionnaire surveys have been made to detect the essential differences consequent to not only the

* 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138

** 〒534-0054 大阪市天王寺区南河堀町 4-88

*** 〒596-0103 岸和田市稲葉町 1778

**** 〒541-0041 大阪市中央区北浜 4-1-21

† 現所属: 住商情報システム株式会社

〒130-0013 東京都墨田区錦糸 1-2-4

Present Address: Sumisho Computer Sys-

tems Co., Ltd., 1-2-4, Kinshi, Sumida-ku,
Tokyo 130-0013, Japan

†† 現所属: 大阪スタジアム

〒536-0004 大阪市浪速区日本橋西 8

Present Address: Osaka Stadium Co., Ltd.,
Nishi 8, Nihonbashi, Naniwa-ku, Osaka 536-
0004, Japan

attribute of the distance from the epicenter or the earthquake fault but also the characteristics of the underground structure. The questionnaire survey based on the method of OHTA *et al.* (1979) has been applied for major earthquakes in Japan and it has been substantiated the validity of the survey method. After the 1995 Hyogo-ken Nambu earthquake, some groups have carried out questionnaire survey based on this method. The determination of questionnaire seismic intensity as calculated using the formula by OHTA *et al.* (1979) seems to be available sufficiently in the range of seismic intensity from II to V in JMA scale. The validity of the seismic intensity over V in JMA scale, however, has not been verified because we have not experienced the applicable larger earthquake in Japan to the present. One of the purposes of this study is to confirm the validity of the conventional method by the questionnaire survey of seismic intensity. Site conditions such as geology, topography and so on were examined to compare more strictly both values of seismic intensity obtained from the questionnaire surveys and the *in situ* measurement. The data selected considering site conditions could give a mean value with the lower fluctuation. The absolute values of the mean questionnaire intensity, however, are somewhat lower than the measured intensity. An equation to transform the questionnaire seismic intensity into measured one is recurred. The new questionnaire seismic intensity obtained from this study is in good agreement with the measured value.

Key words: The 1995 Hyogo-ken Nambu earthquake, Questionnaire seismic intensity, Measured seismic intensity, Regional questionnaire survey.

§1. はじめに

震度は地震動の強さと一般的な被害の程度に関する情報を含んでおり、日本では地震直後に数値として速報されることが多いため広く一般にも知られている。さらに震度情報は防災計画や大地震時の地域別危険度評価の基礎資料として重要な役割を果たしている。日本における震度観測は気象庁によって体感に基づいて行われ、1948年の福井地震を契機に震度 VII が新たに設けられた1949年以降、8階級の震度階（以後、旧気象庁震度階と記し、ローマ数字で表記する）が用いられてきた。今回の1995年兵庫県南部地震、 $M_{\text{JMA}}=7.2$ （気象庁マグニチュード、以後 M_{JMA} と記す）を契機として、気象庁は1996年4月から、震度を客観的かつ迅速に把握するため地震波形記録から算出される計測震度を導入した。これに伴い旧気象庁震度階の各階級で定義されていた被害事項が見直され、旧気象庁震度階の V と VI はそれぞれ5弱、5強、6弱、6強のように細分化され、新しい震度階は10階級となった。

地盤状況や地形等の影響により、同じ市町村内という狭い範囲でも、震度差が生じることがある。このような狭い範囲における震度の違いを詳しく調べるために、様々なアンケート方式による震度調査が行われてきた。その中で太田・他(1979)によるアンケート調査（これは一般に「太田方式」と呼ばれており、ここでもこれに従う）は、これまで様々な地震に適用され〔例えば、高波・石川(1981)、岡田・他(1987)など〕、豊富なデータの蓄積がある。太田方式は旧気象庁震度階に対応して、より分解能の高い震度が得られるので、震度分布推定のほかにサイスミックマイクロゾーニングマップの作成に

も応用されてきた。今回の地震後も詳細な震度分布を得るために、いくつかの機関が太田方式によるアンケート調査を行った。例えば、神戸大学兵庫県南部地震アンケート調査分析グループ(1996)は神戸周辺域を、鶴来・他(1998)は大阪府全域を対象としてアンケート調査から震度分布を各々推定している。中川・他(1997)は高等学校の教師・生徒諸氏の協力を得て九州を除く西日本という広範囲にわたり太田方式に準拠したアンケート調査を行い、アンケート震度分布に見られる指向性や表層地盤との関連を議論した。これらの調査資料は、今回の地震における地域別の震度分布を考える際に貴重な資料を提供するものと思われる。

太田方式のアンケート調査は、これまでに経験したいくつかの地震において、旧気象庁震度階とアンケート調査より求められる震度との比較から、II～Vまでの震度範囲における信頼性が確認されている。しかしアンケート調査により求められる震度算定式の作成に使用された地震資料の中でVIに達するものはほとんどなく、VI以上における太田方式の有効性に関する十分な吟味はなされていない。また、震度 VII を含む高震度領域への適用は今回が初めてである。アンケートによる各地の震度情報から、今回の地震の詳細な震度分布の特性を検討しようとするれば、高震度領域における太田方式の検証が不可欠となる。強震動による被害が激しかった地域については、太田・他(1998)をはじめとして、神戸大学兵庫県南部地震アンケート調査分析グループ(1996)、井上・他(1998b)、鶴来・他(1998)などが太田方式から得られた震度と計測震度との関係を論じている。太田・他(1998)は、震度 V 以上における太田方式の有効性を検証する

ため、高震度領域のアンケートデータ (4.5 以上) のみを用いて計測震度と比較し、高震度領域ではアンケート震度が小さく求められることを明らかにした。そこで、アンケート震度が 4.5 以上のデータをもとに、過去に実施された太田方式によるアンケート調査が数多くあることと、II~V までの震度範囲では従来の太田方式が適用できるということを踏まえ、太田方式との連続性を保持した高震度領域における新しい震度算出手法を提示した。しかし、これを詳細に検討した結果、従来のアンケート震度と改訂されたアンケート震度との間には、無視できないほど大きなギャップが存在することが明らかとなった。本研究では、低震度領域にあたる地域から高震度領域にあたる地域まで広範囲に及ぶ震度分布を作成するために、高震度領域に限った補正を行った太田・他 (1998) とは別の観点に立ち、全震度領域での補正を行う必要があるため、アンケート震度を全震度領域で計測震度に対応させる変換式の導入を試みた。最初にアンケートから得られる体感を基準とした震度と、気象庁が導入した機械計測による計測震度との関係を調べるために、近畿周辺および中国、四国、北陸地域を含む広い範囲にわたっ

て計測震度との比較を行った。その結果を用いて、今回の地震における計測震度とアンケート震度の整合性を保つための新しい変換式を提案し、太田・他 (1998) による結果と比較した。

§ 2. アンケート調査資料

本研究では、太田方式の調査票に戸外へ避難するのに要した時間の項目を追加したが、この項目は震度算出には用いておらず、従来の震度算出法と同じ結果を得ることができる。アンケート調査は高校生を対象とし、兵庫県を除く西日本では 1995 年 2 月、兵庫県内は 1995 年 11 月に実施した。調査票の配布数は約 3 万 4 千枚で、そのうち約 2 万 3 千枚を回収した。回収率は約 66%、有効回答率は約 70% であった。Fig. 1 に有効データの分布を示す。

§ 3. 太田方式による震度算定式

太田方式は、1972 年八丈島沖地震 ($M_{JMA}=7.2$)、同年八丈島東方沖地震 ($M_{JMA}=7.3$)、1973 年根室半島沖地震 ($M_{JMA}=7.4$)、1974 年伊豆半島沖地震 ($M_{JMA}=6.9$) の時

Fig. 1. Distribution of the questionnaire data regarding the seismic intensity during the 1995 Hyogo-ken Nambu Earthquake. Hatched area shows range of Fig. 8.

に行ったアンケート調査結果をもとに、旧気象庁震度階に相当する震度階に変換できるように作成されている。

(1) 式により調査票の各質問項目の回答から計算される I_Q (ここではアンケート指標と呼ぶ) と、(2) 式から旧気象庁震度階に対応するように I_Q から変換された I_{JMA} (ここではアンケート震度と呼ぶ) が得られる。

$$I_Q = (\alpha Ne)^{-1} \sum_{i=1}^{Ne} \beta_i(m_i) \quad (1)$$

$$I_{JMA} = 2.958(I_Q - 1.456)^{0.567} \quad (2)$$

ここで、 α は条件係数、 Ne は有効回答数、 m_i は i 番目の質問項目における回答番号、 $\beta_i(m_i)$ は震度係数である。詳しくは太田・他 (1979) を参照されたい。ただし、太田・他 (1979) では (1) 式の最初の係数が α/Ne となっているが、これは誤りなので注意されたい。アンケート震度は通常、小数第 1 位まで求められるため、これを四捨五入すれば旧気象庁震度階に相当したものとなるが、旧気象庁震度階級より刻みの小さな震度が得られることも特徴の 1 つとなっている。

§ 4. アンケート震度と計測震度との比較

本研究でアンケート震度との比較に使用した計測震度の観測点を Fig. 2 に示す [気象庁地震火山部地震津波監視課 (私信), 大阪土質試験所 (私信)]。計測震度の計算方法は「震度を知る」[気象庁 (1996)] によった。近畿周辺をはじめ、四国や中国、北陸地方における観測点も比較に用いた。

太田方式のアンケート震度は複数のアンケートデータを平均して用いることを前提にしており [例えば、岡田 (1996)], 十分な数のアンケートデータを平均して計測震度と比較することが必要である。しかし、筆者らが集計したアンケートは場所によりデータ密度に偏りがあり、計測震度観測点近傍に一つしかデータの無いものもある。このような地点で計測震度とアンケートデータを比較できるかを調べるために、計測震度とその観測点の最も近くにあるアンケートデータとの関係を調べた (Fig. 3)。アンケート震度 (I_{JMA}) と計測震度 (I_M) とを比較したとき、両者が常に対応した関係にある場合は

$$I_M = aI_{JMA} \quad (R=1.0) \quad (3)$$

Fig. 2. Location map of the stations recording the seismic ground motion during the 1995 Hyogo-ken Nambu Earthquake. The measured seismic intensity (I_M) obtained from these 62 stations by the analysis of the seismograms. Solid rectangle area indicates range of Fig. 8.

Fig. 3. Relationship between the measured seismic intensity (I_M) and the questionnaire seismic intensity (I_{JMA}). The questionnaire seismic intensity value is nearest one to the observed point of the measured seismic intensity (I_M). The questionnaire data are within 2 km radial distance from the seismic station.

となる。ここで a は定数、 R は相関係数（以後、相関係数は R で表記する）である。Fig. 3 においてアンケート震度と計測震度との回帰直線を求めると (4) 式のようになる。

$$I_M = 0.622 I_{JMA} + 2.24 \quad (R = 0.672) \quad (4)$$

計測震度観測点に最も近いデータだけをみても、アンケート震度は計測震度と異なった値を示しているものもあり、全体的にばらついている (Fig. 3)。この原因として、住宅の種類や体感による個人差の他に、地下構造、表層地盤、地形等のサイト特性の影響が考えられる。従来の太田方式におけるアンケート震度算出では、複数のデータを用いて平均をとることで、アンケートデータのばらつきを平均化している [太田・他 (1979)]。本研究では、サイト特性を十分に考慮した平均化手法を検討した。

Fig. 4(a) にデータ選択の一例として、大阪市中央区と城東区の一部にある計測震度観測点とアンケートデータ地点の分布を示す。観測点に近接したアンケートデータをみると、1 以上の震度差を持つものもあり、回答者の

個人差やサイト特性といった様々な要素が関与するものと思われる。本研究ではこれらの要素を考慮し、各計測震度の観測点近傍（観測点から 2 km 以内）でサイトの特性が同じと思われるアンケート資料を選択するようにした。ここで考慮したサイト特性は、表層地盤、地形、地下構造である。表層地盤については地質調査所発行の 100 万分の 1 地質図幅 CD-ROM [地質調査所 (1995)] より、各計測震度点・アンケートデータ点の地質を求め、同じ地質条件のものを選んだ。また、地形図を参考にして大きな地形の変化がないように選択領域を設定した。大阪平野に関しては重力より求められた基盤構造 [井上・他 (1998a)] も検討した。これらのサイト特性を考慮して、地質条件・地形・地下構造が計測震度観測点と等しいと思われるアンケートデータを選び出し、これらのデータが含まれるように円から楕円の選択領域を各計測震度観測点において設定した。Fig. 4(b) 中の実線の楕円がサイト特性を考慮して決定したアンケートデータの選択範囲である。設定した楕円の大きさは地域によって異なり、その大きさは長軸が 4~0.2 km、短軸が 2.7

～0.1 km 程である。この楕円内に含まれるアンケートデータの平均値と、その領域内にある計測震度とを比較した。このような平均の取り方を均域平均と呼ぶことにする。均域平均では、サイト特性の影響を除去したと考え、比較するアンケートのデータ数に制限を設けなかった。アンケートデータ数は1から11となり、計測震度観測点近傍に1点しかアンケートデータがない地点は、比較を行った全55地点の中で10地点あった。この方法で得られた両者の関係をFig. 5の○印で示す。均域平

均に対し太田・他(1998)では計測震度観測点から1.5 kmの範囲内にあるアンケートデータ(含まれるアンケートデータの数はいくつ)の平均値をとり、計測震度との比較に用いている。このような平均の方法を、一律円平均と呼ぶことにする。この方法では観測点近傍では震度が一様であるとして、アンケート震度の平均を求めたことになる。一律円平均より得られるアンケート震度と計測震度との関係をFig. 5に×印で示した。均域平均と、簡便な一律円平均におけるアンケート震度と計測

Fig. 4. (a) Example of seismic intensity distribution by the questionnaire survey around the point of the measured seismic intensity (I_M). A: Questionnaire seismic intensity (I_{JMA}). B: Measured seismic intensity (I_M). Numerical values in the figure indicate the questionnaire seismic intensity (I_{JMA}). Underlined values in *Italics* indicate the measured seismic intensity (I_M).

震度との回帰式を求めると、それぞれ (5), (6) 式のようになる.

$$I_M = 1.01 I_{JMA} + 0.304 \quad (R=0.932) \quad (5)$$

$$I_M = I_{JMA} + 0.646 \quad (R=0.925) \quad (6)$$

(5) 式と (6) 式の相関係数がほぼ同じことから、簡便な一律円平均でも均域平均でも得られるアンケート震度と計測震度との関係に大きな差は認められない. 均域平均から求められるアンケート震度と計測震度との回帰直線 (5) 式に対するアンケートデータのばらつきは、標準偏差で 0.35 である. このことから、本研究で用いたデータに関しては、ばらつきの影響としてサイト特性の寄与が大きく、体感の個人差の影響はそれ程大きくはないと考えられる. 一律円平均では計測震度観測点周辺に 4 点以上のアンケートデータ数がある場合に比較を行っており、全部で 43 地点ある. 本研究では、比較するデータ数

を多くするため、均域平均から得られる値を用いて 55 地点で比較を行った.

一方、鶴米・他 (1998) は、大阪府下を東西約 1.1 km、南北約 0.9 km の大きさのメッシュに分け、各メッシュ内に含まれるアンケートデータを平均して震度分布を求めている. これを用いて計測震度観測点を含むメッシュから得られるアンケート震度と計測震度とを比較しており、アンケート震度が 3.8 から 4.6 の範囲において、平均して 0.8 程度アンケート震度の方が計測震度に比べて低いという結果を得ている. これは (5), (6) 式で示されるものと同様な傾向を示している. いずれの比較方法を用いても、今回の地震に関して行われた太田方式のアンケート震度は計測震度になんて低いことがわかる. 太田・他 (1998) はいくつかの質問項目のカテゴリーが高震度領域に必ずしも対応していないため、質問項目によって

Fig. 4. (b) The map showing underground structure and geology at points where questionnaire data and measured seismic intensity (I_M) were obtained. A: The point where questionnaire survey was done. B: The point having measured seismic intensity (I_M). C: Selected area averaging the questionnaire data to compare with the measured seismic intensity. Numerical values and underlined values in the figure indicate geology at the questionnaire and the measured seismic intensity station respectively. 1 and 2 show Holocene series and Pleistocene series, respectively. The contour shows the altitude of basement rock in km (after INOUE *et al.*, 1998a). Contour interval is 0.1 km.

Fig. 5. Relationship between the measured seismic intensity (I_M) and the questionnaire seismic intensity (I_{QMA}) averaged in two different ways. Open circle shows the questionnaire seismic intensity (I_{QMA}) averaged using the method of this study, and the other cross mark indicates one from the method of OHTA *et al.* (1998). Solid and dotted lines show the equations (5) and (6), respectively.

は震度に対する感度に飽和が生じ、結果としてアンケート震度が低く見積もられると指摘している。ここで明らかになった高震度領域への適用の問題を回避する方法には多様な解決策が考えられる。しかし、これまでのこの手法によるデータの蓄積を考えると、できるだけ変更が少ない簡便な補正であるものが望ましいと考えられる。本研究では、太田・他(1998)とは別の観点に立ち、全震度領域でのアンケート指標から直接、計測震度に対応する変換式の導入を試みた。

§5. 計測震度への適用

アンケート震度は(2)式によりアンケート指標から導かれる。計測震度に対応するアンケート震度を得るために、本研究ではこの変換式(2)の検討を行った。各地点で得られた計測震度とこれに対応するアンケート指標の

平均値との関係から得られる回帰式を新たな変換式とした。本研究で得られた計測震度とアンケート指標との関係を Fig. 6 に示す。いずれも未知数の数が2個の線形、指数、対数の回帰式の中で、太田方式の変換式((2)式)と類似した傾向を示す対数による回帰式を用いて(7)式を得た。

$$I_M = 10.2 \log(I_Q) - 0.718 \quad (R=0.934) \quad (7)$$

(7)式は Fig. 6 中の実線で示した。本研究では(7)式によりアンケート指標(I_Q)から変換されるアンケート震度を改訂アンケート震度(I_{PS})と定義する。なお、Fig. 6 には太田・他(1979)が用いている変換式((2)式)を点線で示した。実線((7)式)と比較すると同一の傾向を示していることが分かるが、アンケート指標(I_Q)が(2)式によってやや低い震度へ変換されるため、(2)式と(7)式から得られるアンケート震度の差は高震度領域でさらに大

Fig. 6. Relationship between the measured seismic intensity (I_M) and the questionnaire intensity (I_Q). Solid and dotted lines correspond respectively to the equations (7) and (2) in text.

きくなっていることがよみとれる。

太田・他(1998)はアンケート指標を決定する(1)式のアルゴリズムを改良し、(2)式は変更せずに、そのまま新たなアンケート震度(以後、高域補正震度(I_{OT})と呼ぶ)を算出する方法を提示した。これは太田方式の調査票がそのまま高震度領域にも適用でき、過去に行われた結果とも対比が可能となることを意味している。

§ 6. 計測震度と各アンケート震度との比較

改訂アンケート震度(I_{PS})、高域補正震度(I_{OT})と計測震度(I_M)との関係を考察する。(7)式による改訂アンケート震度(I_{PS})と計測震度(I_M)との関係をFig. 7の○印で、高域補正震度(I_{OT})と計測震度(I_M)との関係をFig. 7の×印で示す。高域補正震度(I_{OT})は、これまで行われてきた太田方式のアンケート資産を従来の形式のまま高震度領域で利用できるように考案されたもので、アンケート震度が4.5より小さい震度領域では適用されない(詳しくは太田・他、1998を参照)。この領域では太田方式で得られるアンケート震度(I_{JMA})を用い、高域補正震度(I_{OT})と区別して+印で示した。3種類のアンケート震度と計測震度(I_M)との関係を回帰直線で求め

たものを次の(8)、(9)、(9)'式で示す。アンケート震度(I_{JMA})と高域補正震度(I_{OT})の適用にはアンケート震度で4.5という震度制限があるので、4.5以上の高震度領域と4.5未満の震度領域とに分けて回帰直線を求めた。

$$I_M = 0.996 I_{PS} - 0.00273 \quad (R = 0.934) \quad (8)$$

$$I_M = 0.763 I_{OT} + 1.36 \quad (R = 0.850) \quad (9)$$

$$I_M = 1.17 I_{JMA} - 0.261 \quad (R = 0.858) \quad (9)'$$

(8)、(9)式で示される、アンケート震度が5から7の範囲の改訂アンケート震度(I_{PS})と高域補正震度(I_{OT})とを比べても両者に大きな差は認められない。また、Fig. 5でみられたようなアンケート震度が計測震度に比べて低いという傾向もみあたらない。したがって今回の地震で行われたアンケート調査に限れば、アンケート指標(I_Q)をアンケート震度(I_{JMA})に変換する(2)式を改訂するという簡便な方法でも、高域補正震度(I_{OT})と調和的なアンケート震度が求められることがわかる。Fig. 7図中の点線の円は高域補正震度(I_{OT} 、赤い実線)と太田方式のアンケート震度(I_{JMA} 、赤い破線)との境界であるアンケート震度4.5付近にみられる不連続を示している。高域補正震度(I_{OT})は、過去に実施された太田方式との連続性を保持したうえで、簡単に移行できる改訂方法にす

Fig. 7. Relationship between the measured seismic intensity (I_M) and the questionnaire seismic intensity (I_{JMA}), (I_{OT}) and (I_{PS}). Open circle, cross and plus symbols indicate the questionnaire seismic intensity derived from (I_{PS}), (I_{OT}) and (I_{JMA}), respectively. Blue solid, red solid and broken lines correspond to the equations (8), (9) and (9)', respectively. Red dotted circle shows the discontinuous part of the questionnaire seismic intensity between (I_{JMA}) and (I_{OT}) near by the questionnaire intensity of 4.5.

るため、今回の地震における高震度領域のアンケート調査結果を元に、高震度領域に限った震度算出方法である。このため従来のアンケート震度 (I_{JMA}) との整合性に関する議論には踏み込んでおらず、連続性の上で差が生じていると思われる。

最後に改訂アンケート震度 (I_{PS})、アンケート震度 (I_{JMA})、高域補正震度 (I_{OT}) から得られるアンケート震度の分布特性をみる。アンケートデータの密度を考慮して、Fig. 8(a) に示される範囲を 251×211 (1 メッシュあたり $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$) のメッシュに分割した。メッシュ化の手法には塩野・他 (1987) のプログラムを用い、すべてのメッシュに 3×3 のマトリックスフィルターを

かけて平滑化を行った。ここでは震度分布全体の傾向をみるために、アンケートデータの無いところにもコンターが描かれているので Fig. 8(a) のデータ分布も同時に参照されたい。Fig. 8(b) で示されるアンケート震度 (I_{JMA}) 分布をみると、神戸周辺において震度 VII (アンケート震度 6.5) 以上がみられない。これは今まで述べてきたように、低震度領域での回帰を高震度領域へ外挿したことにより、アンケート震度が高震度領域で小さく求められたためである。Fig. 8(c) の高域補正震度 (I_{OT}) では高震度領域での感度飽和が改善され、全体として震度分布は赤色で示される震度 VII の分布がみられ、気象庁の決めた震度 VII の領域とより調和的である。

Fig. 8. (a) Distribution of the questionnaire data collected. (b) Iseismic lines by the questionnaire survey after OHTA *et al.* (1979) (I_{JMA}). Numerical values in figure show isoseismic line with interval of 0.5.

Fig. 8. (c) Isoseismal lines by the questionnaire survey after OHTA *et al.* (1998) (I_{OT}). Numerical values in figure show isoseismal line with interval of 0.5. Red area shows seismic intensity over 6.5 which corresponds to the seismic intensity VII in JMA scale. (d) Isoseismal lines by the questionnaire survey after this study (I_{PS}). Numerical values in figure show isoseismal line with interval of 0.5. Red area shows seismic intensity over 6.5 which corresponds to the seismic intensity VII in JMA scale.

改訂アンケート震度 (I_{PS}) 分布 (Fig. 8(d)) でも、震度 VII の赤色のゾーンがみられる。Fig. 8(c) の高域補正震度 (I_{OT}) と Fig. 8(d) の改訂アンケート震度 (I_{PS}) の VII のゾーンの形状に大きな差は見られない。したがって高震度領域では、改訂アンケート震度 (I_{PS}) も高域補正震度 (I_{OT}) も大差ないことを示している。

§7. ま と め

1995 年兵庫県南部地震について行った広範囲にわたり集計されたアンケート震度と計測震度とを比較した結果、太田・他 (1979) によるアンケート震度は計測震度と比較するとアンケート震度の方が高震度領域で小さいことが分かった。これは太田・他 (1998) が指摘している通りである。本研究では比較した結果を用いて、低震度領域から高震度領域まで一貫して計測震度と調和的なアンケート震度を得るため、アンケート指標をアンケート震度に変換する式を改訂した。これより得られる改訂アンケート震度は、高震度領域において太田・他 (1998) による高域補正震度とも調和的である。

謝 辞

気象庁地震火山部地震津波監視課、関西地震観測研究協議会および大阪土質試験所には計測震度のデータを使わせていただいた。アンケート調査、データ入力には非常に多くの方々の協力を得た。関連した多くの高等学校生徒と教師の方々にお世話になった。東濃地震科学研究所・愛知淑徳大学文学部図書館情報学科の太田 裕教授にはアンケート震度諸々についていろいろご指導いただいた。また、原稿を丁寧に査読していただいた北海道大学大学院工学研究科岡田成幸助教授と匿名査読者、ならびに担当編集者の気象庁気象研究所山本剛靖博士の 3 氏には、本論文の内容を改善する上で有益なご意見をいただいた。

この場を借りてこれらの方々には厚くお礼申し上げます。

文 献

- 井上直人・中川康一・領木邦浩, 1998a, 大阪平野の重力異常と基盤構造, 物理探査学会, **51**, 1-16.
- 井上直人・根本泰雄・千田智志・岡本健太郎・三田村宗樹・升本眞二・柴山元彦・領木邦浩・辻江賢治・中川康一, 1998b, 平成 7 年兵庫県南部地震の広域アンケート調査 (2)—アンケート震度と計測震度との比較—, 地球惑星科学関連学会 1998 年合同大会予稿集, 386-387.
- 気象庁, 1996, 震度を知る—基礎知識とその活用—, ぎょうせい, 238 pp.
- 神戸大学兵庫県南部地震アンケート調査分析グループ, 1996, 兵庫県南部地震に関するアンケート調査—集計結果報告書—, 神戸大学工学部建築学科土木系教室耐震工学研究室, 1-592.
- 中川康一・柴山元彦・辻江賢治・井上直人・岡本健太郎・千田智志・領木邦浩・三田村宗樹・升本眞二, 1997, アンケート調査による兵庫県南部地震の震度分布, 日本応用地質学会関西支部平成 9 年度研究発表会概要集, 3-6.
- 岡田成幸・鏡味洋史・太田 裕, 1987, 1986 年 11 月 13 日北海道沼田町付近の局発地震, 北海道地区自然災害科学資料センター報告, **1**, 41-42.
- 岡田成幸, 1996, 「コンビニエンス・ストアを対象としたアンケート震度調査の試み」に対する討論, 日本建築学会構造系論文集, **488**, 161.
- 太田 裕・小山真紀・中川康一, 1998, アンケート震度算定法の改訂—高震度領域—, 自然災害科学, **16**, 307-323.
- 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.
- 塩野清治・弘原海 清・升本眞二, 1987, 最適化原理による地層面の推定—不等式データや傾斜データを用いた曲面の推定—, 情報地質, **12**, 299-328.
- 高波鉄夫・石川春義, 1981, 1979 年函館沖地震時の震度調査, 地震 **2**, **34**, 21-41.
- 地質調査所, 1995, 「100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 版」, 数値地質図 No. G-1.
- 鶴来雅人・澤田純男・入倉孝次郎・土岐憲三, 1999, アンケート調査による兵庫県南部地震の大阪府域の震度分布, 土木学会論文集, **612**, 165-179.