

# アンケート調査による推定震度の精度と効能 ACCURACY AND EFFECTIVENESS OF ESTIMATED SEISMIC INTENSITY BY QUESTIONNAIRE SURVEY

森 伸一郎<sup>1</sup>

<sup>1</sup>愛媛大学工学部 環境建設工学科, 助教授 博士 (工)

Shin'ichiro MORI, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Ehime University, mori@dpc.ehime-u.ac.jp

## 要 約

震度分布や地震動の特性に関する様々な情報を提供する地震動の機械観測のネットワークが、日本をはじめとするいくつかの先進的な地震国では飛躍的に充実してきている。このようなネットワークは大変有益であるが、特定の地域の被害分布や広い領域内の被害の集積量を分析するためには、一層の高密度な地震動の大きさの分布把握が必要である。高密度の震度分布を把握する方法としてのアンケート調査法がある。本論文では、2001年芸予地震において実施された太田らの方法によるアンケート震度調査により推定された震度の精度を検討した。地域内平均化震度である地区震度と市町村震度という2種類の推定地域震度を提案する。まず、地区震度と計測震度の比較から震度の推定精度の高いことを示す。さらに、計測震度より推定震度の方が被害率とより明瞭な関係を有することを示し、被害率の評価には高密度な震度分布を求めることの重要性を強調する。

キーワード: アンケート調査, 震度, 計測震度, 震度差, 地区震度, 地域震度, 被害率

*Key words* : questionnaire survey, seismic intensity, instrumentally measured seismic intensity, seismic intensity difference, local intensity, municipal intensity, damage ratio

## 1 はじめに

震度分布や地震動の特性に関する様々な情報を提供する震度や地震動の機械観測のネットワークが、日本をはじめとするいくつかの先進的な地震国では開発され、飛躍的に充実してきている。このような情報ネットワークは、地震直後の被害状況の概略を予測したり、地震波の伝播状況や地盤の地震時振動特性を理解したりするのに大変有益である。しかしながら、特定の地域の被害や特定の構造物被害あるいは逆に広い領域における地点ごとの振動特性の違いや被害の集積量を分析するためには、それでも不十分な場合も多い。このような目的のためには、地震動観測の精度の高さよりも、より密度の高い震度分布の把握が必要である。

一方、高密度の震度分布を把握する方法としてアンケート調査がある。我が国では、1943年鳥取地震から河角広らの始めたアンケート震度調査が、1968年えびの地震ま

で大きな地震の度に行われてきた<sup>1)</sup>。それらに基にして引き続き、高密度な調査により細かい震度の違いを把握することを目的に、アンケート震度調査法が太田ら<sup>2)</sup>により確立され、最近では標準的な手法として利用されている<sup>3)</sup>。太田らによる調査の主眼は、広い領域における地点ごとの違いを把握するマイクロゾーニングにあり、その精度は気象庁震度を基準にするものであった。

アンケート震度の調査研究は、震度の推定精度を向上させること、高密度調査により細密なマイクロゾーニングを可能とさせること、そして高密度震度と住家分布の重ね合わせから得られる被害推定の精度を向上させることを目的としている。

推定精度を上げ、細密な震度の差を抽出し、地盤構造との対応を捉えようとするには、対象はできるだけ小さな領域に分割できることが望まれる。しかし、アンケート震度は、個人の体感震度を基礎とする性格から、同じ条件下にある回答者のサンプル数がある程度あって、その平均化に

より「平均的な人」の体感震度を求めるものである。したがって、精度を上げるにも限界があると考えられる。

一方、調査票の配布分布は住家の空間分布と相関が高いと考えられるので、特定の地域の平均震度（地域震度）はその地域の住家密度で重み付けした震度であると捉えることができる。したがって、アンケート調査により得られた推定震度の地域内平均値（推定地域震度）はその地域の住家被害率と対応すると考えられる。住家被害率と震度との関係を検討するためには有意な統計量である必要があるため、ある程度のサンプル数（領域）が必要である。町丁目単位の地域もしくは市町村単位の地域が対象となる。

さて、2001年3月24日マグニチュード(Mj=6.7)の芸予地震が発生した。この地震において、多数におよぶ観測記録が得られた。しかし、現状の地震計観測網では高密度な震度分布図を描く、また局所的な揺れの違いを知るといったことは困難であり、さらに高密度な震度分布を知ることが地震被害を知るうえで重要である。ここで、局所的な震度分布を知るために、太田ら<sup>1)</sup>の方法によりアンケート震度調査を行った。中四国全域を対象とするため共同調査研究グループを結成して、調査を行った<sup>4)</sup>。本論文では、はじめにアンケート調査の精度とばらつき<sup>5)</sup>について述べた後、推定地域震度と被害の関係を議論する。

## 2 調査概要と調査方法

Table 1 に 2001 年芸予地震におけるアンケート調査の規模を示す。各県の県立高校を対象としてなお、原則として1校あたり125枚配布し、生徒の家族を対象とした。愛媛県はより密度を高めるため、公立中学校を対象とした。調査票を配布した学校数は563校で、内433校から回収でき、学校回収率は77%であった。調査票配布枚数は70,680枚であり、返信枚数は39,287枚であったのでアンケート票回収率は56%であった。また、中四国9県の総市町村数は534であり、アンケート調査による回収市町村数は470であったので、市町村カバー率は88%である。

アンケート調査は原則として太田ら<sup>2)</sup>の方法によるも

のとした。太田らの方法によれば、アンケートの項目は35個ある。感不感の問いが1問、場所・条件・属性に関するもの12問、揺れに関するもの21問、その他1問である。森ら<sup>6)</sup>による鳥取県西部地震での調査では、揺れに関する質問で、液状化に関する項目を1問増やし22問とした。さらに7問については、震度6強から7などに相当する選択肢を増やした。今回の芸予地震の調査では前者のアンケート調査票に被害に関する問いを2問増やした。壁に関する被害と屋根に関する被害に関する問いである。ただし、この被害に関する設問については震度の評価には反映されていない。

アンケート震度  $I_Q$  の算定は次のように行う<sup>2)</sup>。i 番目の質問に対して j 番目の選択肢を選んだときに割り当てられる質問項目に対する震度を震度係数  $k_{ij}$  とする。また、新築の木造を基準として、構造種別、階高、新旧により 0.973 ~ 1.098 の範囲で与えられている揺れ易さを表す条件係数  $\alpha$  を考慮する。有効な回答が得られた質問数を  $N_e$  とすると、アンケート震度  $I_Q$  は次式で表される。(文献2)に記載されている式とは異なることに注意。)

$$I_Q = \frac{1}{\alpha N_e} \sum_i k_{ij} \quad (1)$$

$k_{ij}$  は太田らによって示されている<sup>2)</sup>。その多くは 0.3 ~ 7.7 の範囲にある。このアンケート調査では、太田らによる震度係数をそのまま採用し、また条件係数は考慮しなかった。 $I_Q$  は次式により気象庁震度と等価な値に変換する。

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

得られた  $I_{JMA}$  が 4.5 以上のときにはさらに次式により補正する<sup>7)</sup>。このようにして求められる気象庁計測震度と等価な震度  $I_M$  をここでは等価アンケート震度と言う。 $I_{JMA}$  が 4.5 以下のときは  $I_M = I_{JMA}$  とする。

$$I_M = 1.684 \times e^{0.220 \times I_{JMA}} \quad (3)$$

Table 1 アンケート震度調査の規模と調査状況

都道府県	担当機関	代表者	配布	回収	学校	配布	回収	回収	有効	有効	回収	全市	県人口	県面積
			枚数	枚数	回収	枚数	枚数	率						
			A	B	B/A	C	D	D/C	E	E/D				
岡山県	荒谷建コン	山下 祐一	69	56	81%	8,625	4,686	54%	4,103	88%	72	78	1,951	7,112
山口県	山口大学	村上 ひとみ	71	58	82%	8,875	5,493	62%	4,283	78%	55	56	1,528	6,110
広島県	呉高専	重松 尚久	86	64	74%	10,750	6,590	61%	5,885	89%	76	86	2,879	8,477
島根県	松江高専	河原 荘一郎	43	23	53%	5,375	1,938	36%	1,610	83%	45	59	762	3,507
鳥取県	愛媛大学	森 伸一郎	27	18	67%	3,375	1,627	48%	1,334	82%	35	39	613	3,507
愛媛県			151	137	91%	19,180	12,528	65%	12,082	96%	67	70	1,493	5,676
高知県			41	24	59%	5,125	2,273	44%	1,998	88%	42	53	814	7,105
香川県	高松高専	向谷 光彦	35	27	77%	4,375	2,317	53%	2,068	89%	40	43	1,023	1,876
徳島県			40	26	65%	5,000	1,835	37%	1,577	86%	38	50	824	4,145
合計	6	6	563	433	77%	70,680	39,287	56%	34,940	89%	470	534	11,887	47,516

注: 県人口は2000年国勢調査確定数, 県面積は2000年10月1日国土地理院全国市区町村面積調による。

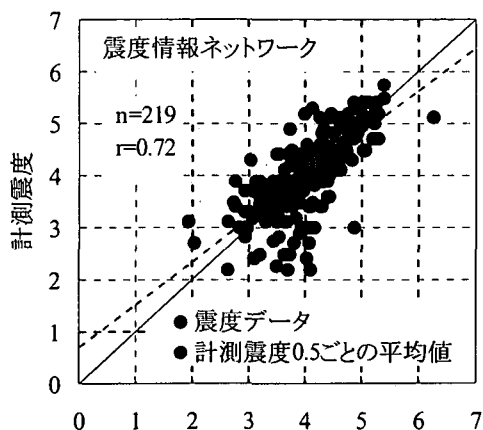


Fig. 1 中四国9県の震度情報ネットワークシステムによる計測震度と推定地区震度の関係

有効回答1枚ごとに1つの等価アンケート震度が得られる。ところで、求めたいのはある地区の震度であり、前述のようにして求められた等価アンケート震度には個人差が反映されると考えられるので、着目している地域内に居た人による個人差を打ち消し合うのに十分な数の等価アンケート震度の平均を取るのが望ましい。そこで、地震時に同一地域内にいた人による等価アンケート震度の平均値を推定地域震度（または、単に地域震度, regional seismic intensity）と言い、これを求める。着目する地域として最も小さな単位を大字、字、町丁目として、それらを地区と呼び、同一地区内にいた人のアンケート震度の平均値を推定地区震度（または、単に地区震度, local seismic intensity）と言い、原則として、地域内の母数（サンプル数）が3以上のものを議論の対象とする。

また、対象面積が大きい地域震度として市町村単位の地域震度を求める。これを推定市町村震度（または、単に市町村震度, municipal seismic intensity）と言う。推定地区震度は、地区の地形や地盤に大きな違いはないと言う前提で考えると、地区の揺れを代表する物理的な現象を表す指標であると考えられるのに対して、市町村の規模になると地形や地盤は異なりさらに回答者の分布に大きく依存するので、物理的な指標ではなくなる。しかしながら、一地域内の組織回答率の高いところは調査票の配布先分布は地域内の住家分布と相関が高いと考えられる。したがって、一点で測定された計測震度に比べて推定地域震度は地域被害率と相関が高いものと考えられる。

### 3 地区推定地域震度による精度とばらつきを検討

推定地区震度の精度を検討するために、計測震度の測定された地震計の設置された地区（町丁目大字）について地区震度 ( $I_{local}$ ) と計測震度 ( $I_{measure}$ ) とを比較する。はじめに母数3以上の場合の推定地域震度を検討する。Fig. 1に中四国9県の震度情報ネットワークシステムによる計

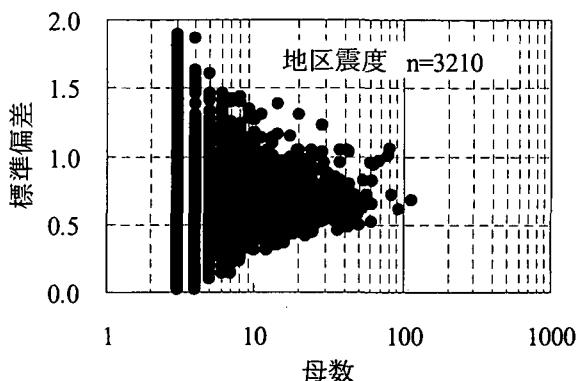


Fig. 2 中四国9県の推定地区震度の母数と標準偏差の関係

測震度と推定地区震度の関係を示す。サンプル数  $n$  は 219 であり、相関係数  $r$  は 0.72 となった。この全サンプルについて単純に線形回帰をすると次の回帰式で切片  $b$  が 0.71 で傾き  $a$  が 0.82 となる。

$$I_{measure} = a \times I_{local} + b \quad (4)$$

これら4つの数  $n$ ,  $r$ ,  $a$ ,  $b$  を Table 2 に示す。しかしながら、散布図をよく見ると次の3つの特徴がある。第1に計測震度3以下では相関が低い。第2に計測震度3以上でも散布図の塊からはずれる点が少ないが散在する。第3にそれらを除くと他の集団は概ね1:1の関係にある。そこで、計測震度を0.5ごとに分割しその範囲に属する推定地域震度の平均値をプロットした。計測震度3以下で、相関が悪くアンケート震度は震度を課題評価しているものの、計測震度3以上では相関は良いが計測震度を小さめに評価している。

中四国9県における気象庁 (JMA)<sup>8)</sup> の計測震度や科学技術庁防災科学技術研究所 (K-NET<sup>9)</sup>, KIK-Net<sup>10)</sup> による観測記録から計算された計測震度と地震計設置場所を含む推定地区震度を同様に比較した。それらの結果は Table 2 に示したように、3つのデータセットに対して、線形回帰によって得られる一次回帰式の傾きと切片が異なるが、概ね両者は1:1であることがわかる。

Fig. 2 に推定地区震度を求める際の母数と標準偏差の関係を示す。サンプル数は 3210 である。母数が大きくな

Table 2 計測震度と推定地区震度の統計解析結果

母数	3以上			6以上	10以上
	震度情報 ネット	JMA	K-netと KIK-net	震度情報 ネット	ネットワーク システム
サンプル数	219	192	77	132	73
相関係数	0.72	0.77	0.81	0.77	0.80
傾き	0.82	0.92	1.15	0.97	1.10
切片	0.71	0.36	-0.57	0.15	-0.47

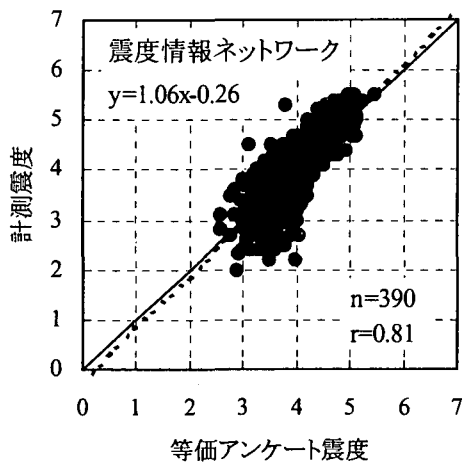


Fig. 3 震度情報ネットワークシステムによる計測震度と推定市町村震度の関係 (母数6以上)

るほど、標準偏差がおおよそ0.6に収束している。これは、アンケート調査による標準偏差が町丁目大字においては平均的に0.6の標準偏差をもつことを意味している。

#### 4 市町村単位の推定地域震度と計測震度

Fig. 3に母数6以上で市町村単位で得られた推定地域震度(市町村震度)と計測震度の関係を示す。震度情報ネットワークシステムによる計測震度を用いた。この推定地域震度は当該市町村にいた全対象者の調査結果の平均値を採用した。したがって、市町村内の回答者密度で重みをついた平均的な震度という意味を持つ。すなわち、市町村震度は地区震度に比べて、計測震度に近づく物理的根拠に乏しく、むしろ違いが大きくなってしまっても仕方ないと考えられるが、防災上の観点からはこれらの関係を明らかにしておく必要がある。サンプル数は390地点、相関係数は0.81となった。前述のような意味にもかかわらず推定地域震度は計測震度と相関が良く、ばらつきも少ない。

以上のように、計測震度と地区別推定地域震度の相関が良く、精度が良好であることが確認できた。

Fig. 5に市町村での平均震度の母数と標準偏差の関係(サンプル数470)を示す。Fig. 2と同様、母数が大きくなるほど標準偏差は収束し、おおよそ0.7となる。市町村での推定地域震度を考えるとき、その標準偏差はおおよそ0.7であることを意味している。

#### 5 震度差の考察

ここで、推定地域震度から計測震度を差した値を震度差( $\Delta I = I_{local} - I_{measure}$ )と定義する。Fig. 4に町丁目大字に対する推定地区震度の母数と震度差の関係を示す。図中には同じ母数帯の平均値も併せて示している。ただし、計測震度は震度情報ネットワークに基づいたものであり、用いたデータはFig. 1に対応する。この図によれば、2つのことがわかる。第1に母数が大きくなるほど、震度差は小さく

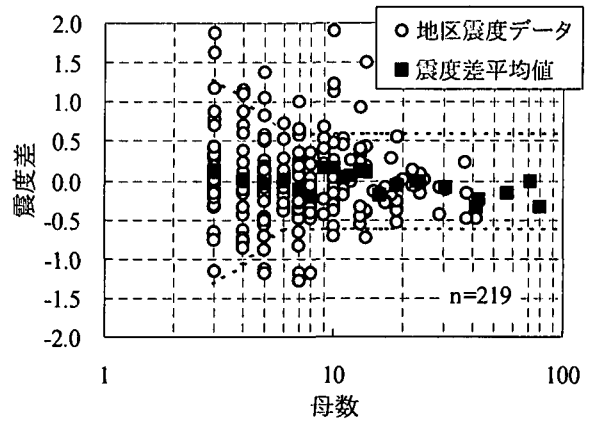


Fig. 4 中四国9県の町丁目大字に対する推定地区震度の母数と震度差の関係

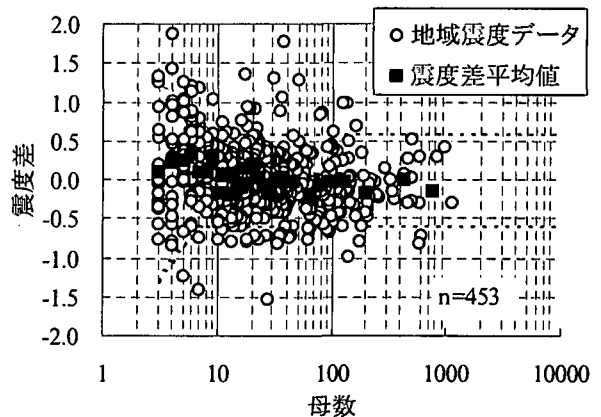


Fig. 5 中四国9県の453の推定市町村震度の母数と震度差の関係

なる傾向があることであり、第2に母数の違いにかかわらず平均的には震度差はゼロであることである。

前者について、特に、母数6付近で震度差は急激に小さくなり、母数が6以上であると大半のデータが震度差の絶対値0.6以下に、母数が15以上であると大半が震度差の絶対値は0.3以下になっている。すなわち、母数が大きくなると震度差が小さくなるのは、個人差によるばらつきが希釈されたためであると考えられ、母数の増加は精度の向上に結びつくものと考えられる。

しかし、例えば母数10付近で大きい正の震度差を母数7付近で負の震度差を示している点がある。これらの震度差の大きいものは、同じ地区内でも、地震計設置位置と回答者の居た地点(集落)との地形が異なる(例えば、崖地や段丘に対する谷底平野など)場合である。図には、母数6以上で $\pm 0.6$ 、母数3で $\pm 1.0$ となるようなガイドラインを破線で記入してある。したがって、母数が多くても震度差の大きいところは地形や地盤に関して、地震計設置位置が住居地区を代表していないことが理由であると考えられる。

Fig. 2で標準偏差は平均的に0.6に収束していたが、Fig. 4では母数5~6以上では概ね震度差0.6以内に収まってい

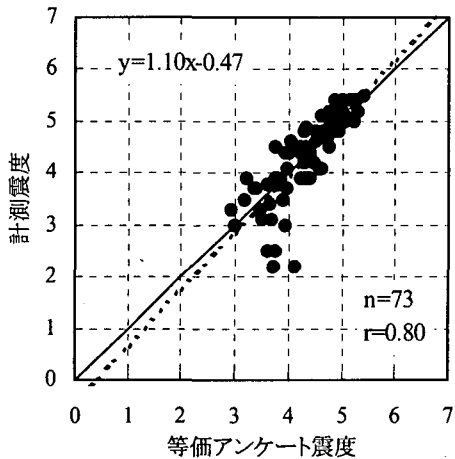


Fig. 6 震度情報ネットワークシステムによる計測震度と推定地区震度の関係 (母数 10 以上)

る。アンケート調査の効果を地区単位で最大限に発揮させるには、母数 5~6 以上が望ましいと考えられる。

Fig. 6 に推定市町村震度の母数と震度差の関係を示す。図中には同じ母数帯の平均値も併せて示している。地区震度より震度差は大きく出る傾向にあること、母数が大きくなると震度差の平均値はゼロに近づくが、ばらつきは±0.8 程度までであることがわかる。

Table 2 には、震度情報ネットワークシステムによる母数 6 以上と母数 10 以上の標本に対する統計量が示されているが、母数が増えるに従って相関係数が高くなり、傾きはほぼ 1 となっている。Fig. 6 に母数を 10 以上の場合の推定地区震度と計測震度の関係を示す。ばらつきも小さくなり、傾きはほぼ 1 となっている。計測震度 3 以下に震度差が大きい 5 点があるが、これは主に観測地点が地区の地形地盤を代表していない地点である。母数 10 以上の場合で先の 5 点を除いて 68 点について線形回帰すると、相関係数が 0.85 と向上し、次式を得る。

$$I_{measure} = 0.98 \times I_{local} + 0.15 \quad (5)$$

この回帰式の係数は母数 6 以上の回帰式にほぼ等しい。この式 (5) を推定地区震度から計測震度を推定する式として考える。以上より、芸予地震においては等価アンケート震度の算定方法の妥当であることが検証された。

## 6 推定地域震度と被害率

### (1) 被害データの取り扱い

前章までにアンケート調査による震度推定の精度が高いことを示したので、本章では推定地域震度または計測震度と住家被害率または人的被害率の関係を検討する。この地震では、全壊または半壊の棟数が多くないので、一部損壊以上の住家被害について、被害の程度に重みを付けずに合計被害を計数した。人的被害についても、死者が 2 名であり、重傷者も多くないので、死亡、重傷、中等傷、軽傷

などの程度に重みを付けずに計数した。

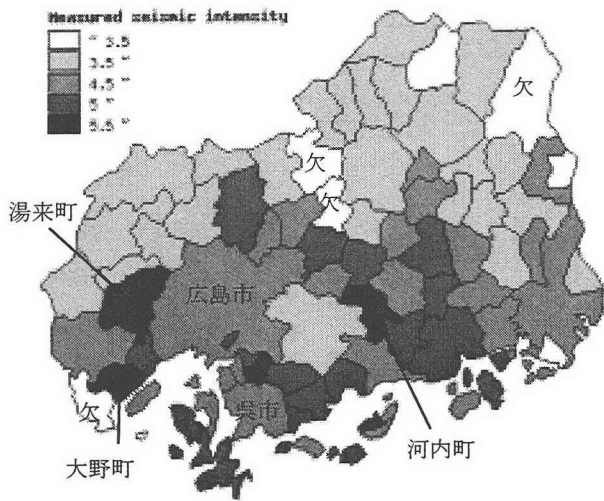
被害の大半を占める広島県、愛媛県、山口県を対象とし、被害数については各県の消防防災課より戴いた罹災証明発行の資料に基づいている。広島県については 2002 年 4 月 8 日現在、愛媛県については 2001 年 12 月 10 日現在、山口県については 2002 年 4 月 9 日現在でまとめられた最終的な数値と判断されるものである。また、家屋被害の対象は住家のみとし、非住家は含めていない。被害率を求める際の分母は、ここでは全世帯数で 2000 年または 2001 年の時点での数を採用し、千分率として表示した。人的被害率は一人当たりの死傷者の数とし、万分率で表記した。

### (2) 住家被害率

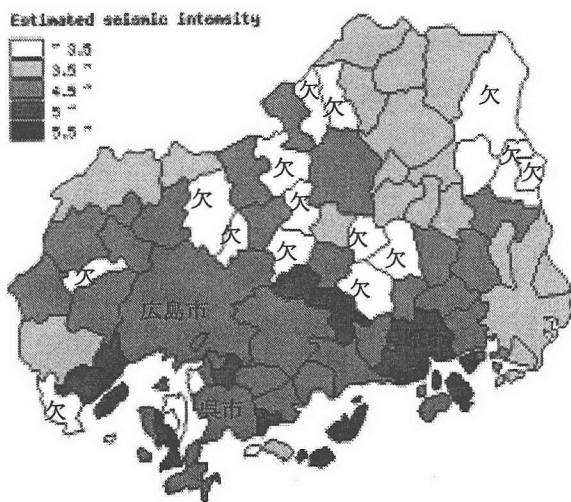
Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9 にそれぞれ広島県、愛媛県、山口県の (a) 計測震度、(b) 推定市町村震度、(c) 住家被害率の市町村別分布を示す。震度分布は、3.5 未満、3.5 以上、4.5 以上、5.0 以上、5.5 以上の 5 段階に塗り分けており、それぞれ震度階で、3 以下、4、5 弱、5 強、6 弱以上に対応している。計測震度は地震情報ネットワークによるものを採用した。欠測しているところは JMA または K-net や KiK-net のデータがあればそれで補った。推定市町村震度と計測震度の分布は全体的には類似の分布を示す。しかし、計測震度では比較的コントラストが明瞭であるのに対して推定地域震度では相対的に緩やかな変化であり、おおよそ同心円的な震度の距離減衰が見られる。

広島県では、広島市を挟み西の大野町と東の河内町を中心としたエリアは周囲より震度が大きい、この傾向はいずれの震度分布にも現れている。また、被害率分布もおおよそ震度分布と調和している。呉市が震度の割に被害が多いのは、直接の振動による被害と言うより、斜面上に建つ住家が多く基礎となる地盤を保持すべき擁壁の被害に起因するためであると考えられる。愛媛県では高縄半島の外周部を囲むように震度が大きい様子や宇和町周辺で周囲より大きい様子はいずれの震度でも現れている。被害率も高縄半島付近と島嶼で高く震度と調和的である。山口県では震源に近い東の方で震度が高く被害率が高く、東から西にかけて震度が小さくなり被害率が低下する。震度の割に相対的に東和町の被害率の高さと岩国市、柳井市被害率の低さは住家の建設年代や構造に起因するのであろう。また、3 県で共通しているのは、同程度の震度でも震度の市部で被害率が低く町村部で高い傾向が見られる。

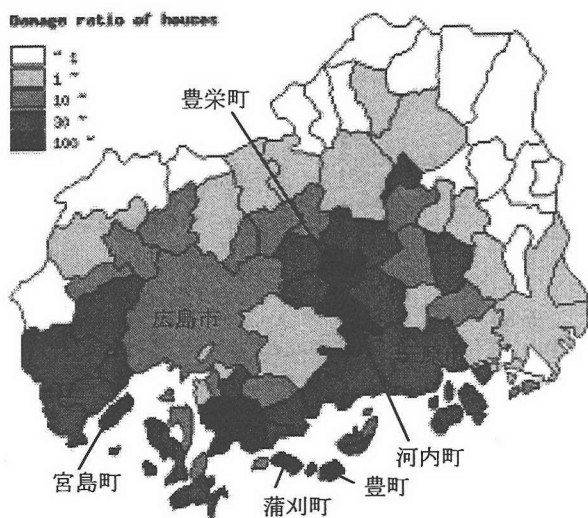
平面的な分布の考察を踏まえて、次に震度と被害率の関係を見てみる。Fig. 10, Fig. 11 にそれぞれ推定市町村震度または計測震度と住家被害率の関係を示す。計測震度の方では、これらの関係の分布する幅が広いこと、震度 4.0 以下で被害があることが特徴的である。それに対し推定地域震度の方では、全体的に分布する幅が狭いこと、震度 4.5 付近から震度の増加に対して被害率の増加の割合が大きいく、市部は分布幅の右に町村部は左に位置することなどが特徴的である。このことは、都市部ほど建設年代の新しく構造性能が向上した住家で構成されていることを意味しており、合理的であると思われる。



(a) 計測震度分布

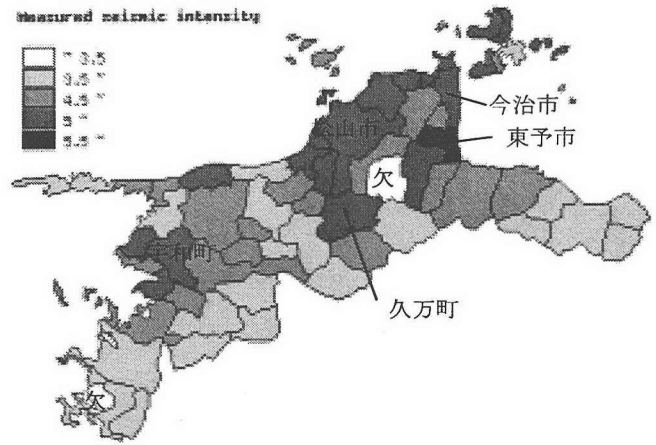


(b) 推定地域震度分布

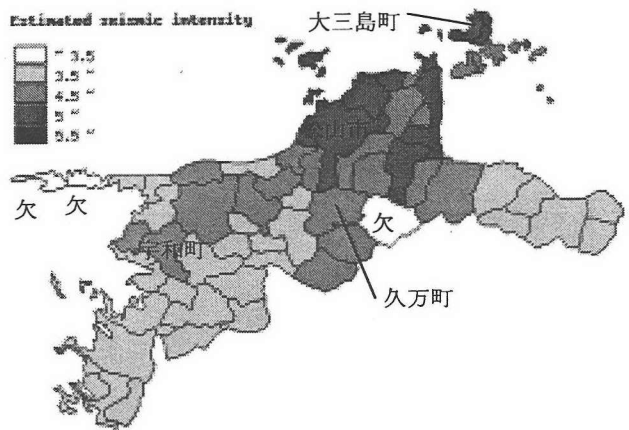


(c) 被害率分布

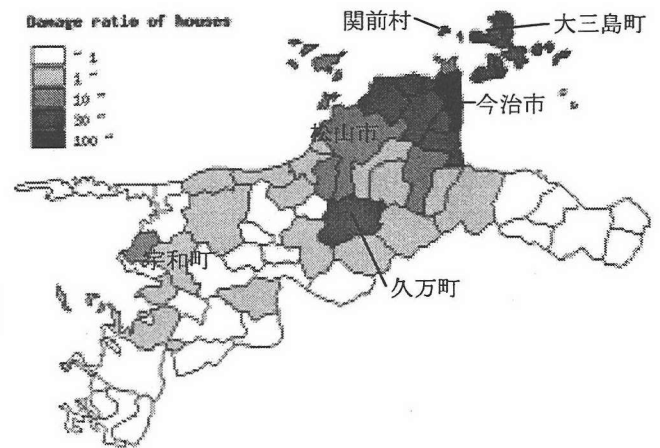
Fig. 7 広島県における2種の震度分布と被害分布



(a) 計測震度分布



(b) 推定地域震度分布



(c) 被害率分布

Fig. 8 愛媛県における2種の震度分布と被害分布

(3) 人的被害率

Fig. 12 と Fig. 13 に推定地域震度と計測震度で整理した人的被害率と関係を示す。人的被害率  $R_c$  は対数とした。計測震度で整理するより、推定地域震度(市町村震度)で整理した方が統一的な整理が可能である。

7 結論

本研究では 2001 年芸予地震におけるアンケート調査の精度とばらつきについて検討した。また、推定地域震度による高密度分布図を得た。得られた知見は以下の通り。

- 1) 母数 3 以上の条件で、町丁目大字単位で求められたアンケート調査による推定地区震度は計測震度と相関が良い。母数が増えると精度はあがるが、震度差は母数 5~6 以上で平均的な標準偏差に等しい値である 0.6 以内に収まり、この程度の母数が推奨される。太田らの改訂した震度の算定法は、気象庁計測震度を精度良く算定できることがわかった。
- 2) 市町村単位で求められた推定地域震度(推定市町村震度)の空間分布は、計測震度の分布と全体的には類似の分布を示すが、住家被害率の分布と調和的である。震度と被害率の関係は、計測震度よりも推定市町村震度の方が良く調和し、合理的である。また、人的被害率は計測震度より推定市町村震度の方が相関が高い。

謝辞: 本研究を進めるにあたって多くの方々のご協力を得ました。科学技術庁防災科学研究所による計測震度、9 県の震度情報ネットワークによる計測震度を用いました。愛媛県を始めとする中国・四国地方の 9 県の県庁消防防災課、県教育委員会、県立高校、愛媛県公立中学校の関係者並びにアンケートにお答え下さった生徒の御家族と生徒の皆様にも多大なご協力を頂きました。また、消防防災課からは被害資料の提供を受けました。アンケート調査は、本文中で示した村上ひとみ、河原荘一郎、向谷 光彦、重松 尚久、山下 祐一の各氏との共同調査によるものであり、分析では愛媛大学の俵 司(現、KM 調査設計)、掛水 真一の両氏の協力が大きい。4 章までは文献 5) が基になっている。さらに、この研究は科学研究補助金平成 13 年度特別研究促進費(平成 13 年芸予地震による都市地震災害に関する総合的調査研究、代表 中山隆弘広島工業大学先生)、(社)四国建設弘済会の「平成 12 年度建設事業の技術開発支援制度」(代表 森 伸一郎)および、愛媛大学芸予地震学術調査団学長裁量経費の援助を得て行われた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐藤 泰夫: 第 6 章 通信調査, 地震災害(河角 広編), 共立出版, pp.226-241, 1973.
- 2) 太田 裕, 後藤 典俊, 大橋 ひとみ: アンケートによる地震時の震度の推定, 北海道工学部研究報告, 第 92 号, pp.117-128, 1979.
- 3) 鶴来 雅人, 澤田 純男, 入倉 孝次郎, 土岐 憲三: ア

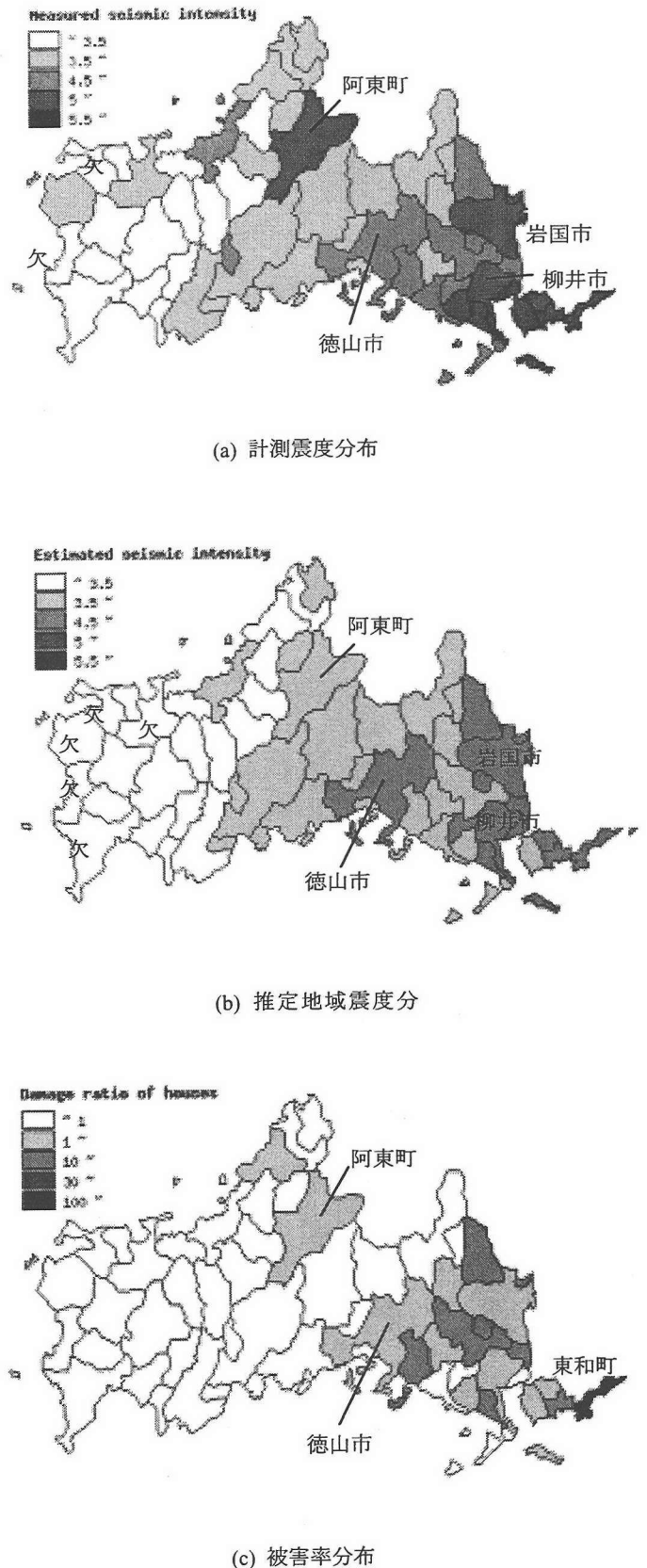


Fig. 9 山口県における 2 種の震度分布と被害分布

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, No.612/I-46, pp.165-179, 1999.1.

- 4) 森 伸一郎, 村上 ひとみ, 河原 荘一郎, 向谷 光彦, 重松 尚久, 山下 祐一, 俵 司:中国・四国全域における 2001 年芸予地震のアンケート震度調査, 第一回日本地震工学研究発表・討論会梗概集, pp.116,2001.11.
- 5) 森 伸一郎, 掛水 真一, 俵 司, 村上 ひとみ, 河原 荘一郎, 向谷 光彦, 重松 尚久, 山下 祐一: 2001 年芸予地震におけるアンケート調査による推定震度の精度とばらつき, 第 11 回日本地震工学シンポジウム論文集, 2002.11, 投稿中
- 6) 森 伸一郎, 圓井 洋介, 盛川 仁:2000 年鳥取県西部地

震における境港および米子のアンケート震度, 第 36 回地盤工学研究発表会講演集, pp.2127-2128,2001.6.

- 7) 小山 真紀, 太田 裕:アンケート震度の気象庁震度への略算変換式, 自然災害科学, 17-3, pp.245-247, 1998 pp.307-323, 1998.
- 8) 気象庁:平成 13 年芸予地震(95 型震度計波形データ), 気象業務支援センター. 2001.
- 9) 科学技術庁防災科学技術研究所:強震ネットワーク(K-NET), <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>.
- 10) 科学技術庁防災科学技術研究所:基盤強震ネットワーク(KIK-Net), <http://www.kik.bosai.o.jp/kik/>.

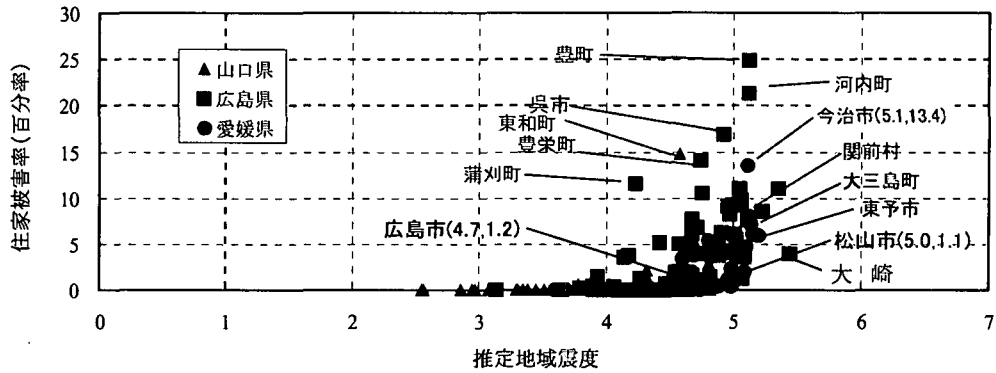


Fig. 10 中四国 9 県の推定市町村震度と住家被害率

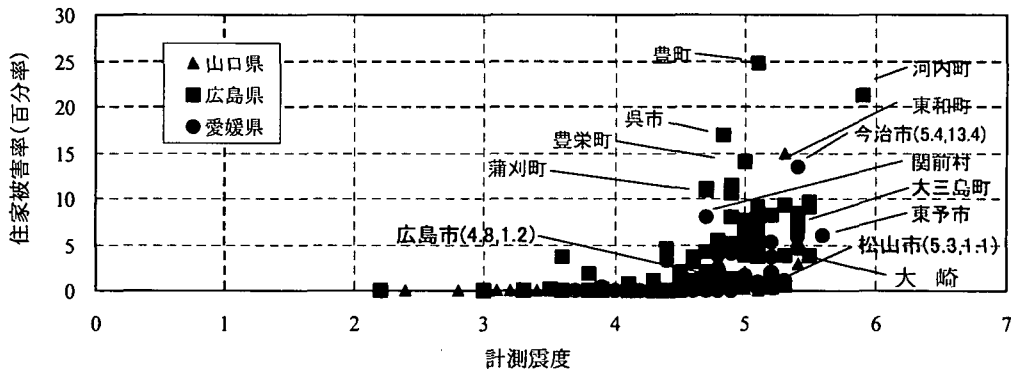


Fig. 11 中四国 9 県の市町村の計測震度と住家被害率

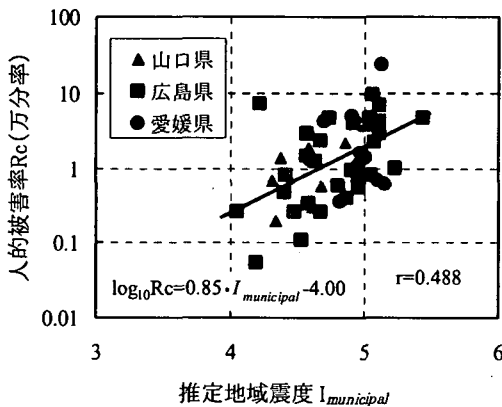


Fig. 12 中四国 9 県の市町村震度と人的被害率

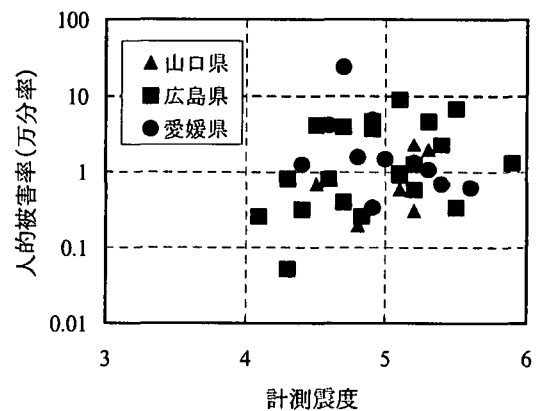


Fig. 13 中四国 9 県の市町村の計測震度と人的被害率