



2000～2005年の主な地震による 震度曝露人口と住家・人的被害 との相関に関する考察

能島 暢呂*・久世 益充**・杉戸 真太**

Population Exposure to Seismic Intensity by Recent Earth- quakes (2000-2005) in Japan and Its Correlation with Building Damage and Human Casualty

Nobuoto NOJIMA*, Masumitsu KUSE**
and Masata SUGITO**

Abstract

Recent development of nation-wide networks of seismometers in Japan has enhanced high-density observation of earthquake strong motions. Accordingly, seismic intensity distribution has become available approximately on municipal or denser level. In this study, recent earthquakes in Japan have been compared in terms of the simple measure, PEX (population exposure to seismic intensity), which is evaluated as an aggregation of spatially distributed population exposed to a certain level of seismic intensity. Estimated are 15 events in eight major earthquakes which hit the records of JMA seismic intensity 5.5 or stronger during the period of the year 2000 through 2005. The results clearly demonstrate the combined effects of strong motion distributions and population distributions in each earthquake. Macroscopic assessment models have been statistically developed for estimation of building damage and human casualties. Gross damage over the affected area can be approximately estimated on the basis of PEX and HEX (household exposure to seismic intensity) and related model functions characterizing the controversial nature of the JMA seismic intensity.

キーワード：計測震度，曝露人口，建物被害，人的被害

Key Words：JMA seismic intensity, population exposure, building damage, human casualty

* 岐阜大学工学部
Department of Civil Engineering, Gifu University

** 岐阜大学流域圏科学研究センター
River Basin Research Center, Gifu University

1. はじめに

器械計測による計測震度の導入と震度観測網の充実によって、気象庁発表の震度情報はその質と量との両面で大きく変化を遂げつつある。現行の計測震度の算出方法は、従来の気象庁震度階級との整合性・連続性に配慮して定義されたものである（気象庁，1996；翠川ら，1999）。しかし近年、震度観測網の拡充に呼応するかのように、最大震度が6弱以上となるような地震が頻発するようになり、高い震度から推定されるほどには大きな被害が生じないことも多い。このことから、震度と被害の実態との乖離が指摘されつつある。長期的観点に立った場合、乖離度合いがあまりに大きければ、被害との相関が高く、より適切な震度指標を再定義する必要がある（清野ら，1999；境ら，2004）。

その一方で、現行の計測震度のもとに震度観測が続けられ、そのデータが日々蓄積されつつある。また、耐震診断値・建物損傷度・震度の3者間に成り立つ関係を関数モデルで表し、震度情報の高度利用を図ろうとする動きもあり（岡田・高井，2004）、震度情報の確実かつ有効な活用に向けて、「次世代震度情報ネットワーク」のあり方に関する検討も進められている（消防庁，2005a）。

このような事情を鑑みると、当面の間は、計測震度データに基づいて各種の被害関数を継続的に検証し、防災情報としての理解を深め、活用を促進することが重要といえる（太田，1998-2000）。関連研究としては、例えば、近年の被害地震で観測された計測震度と観測点近傍の住家被害率のデータに基づいて、従来の被害関数（岡田・鏡味，1991；山口・山崎，2000）との関係を検討した研究（翠川・藤本，2002；藤本ら，2005）が挙げられる。ちなみに「気象庁震度階級関連解説表」は「今後、事例の蓄積に応じて内容を変更すべきものである」とされており（気象庁，1996）、将来の改訂の際には、こうした一連の研究成果が参考になると思われる。

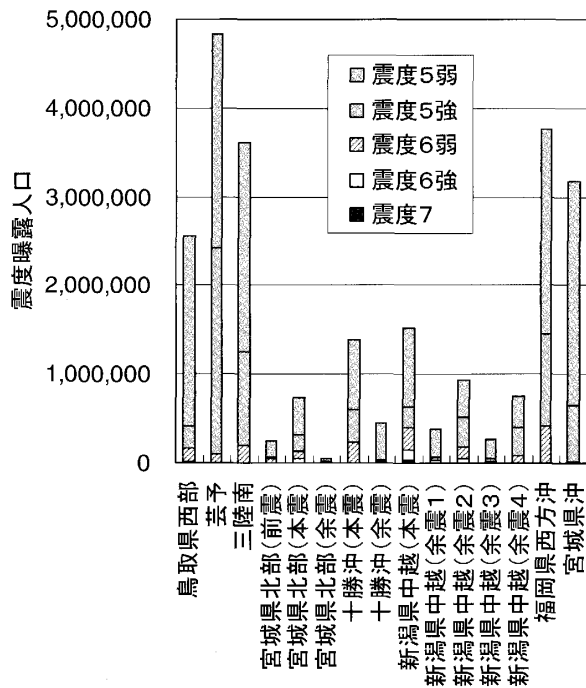
計測震度と被害との関係を説明するには、従来とは異なったアプローチも考えられる。すなわち、地震による被害総量（住家被害や人的被害な

ど）を計測震度に基づいて概略推定するモデルを構築してそれらの入出力関係を精査する方法である。2003年鳥取県西部地震の直後、国土庁（現内閣府）地震被害早期評価システム（EES）により全壊戸数8000戸、死者数200人と推定され、大幅に過大評価となったことから、評価システムの見直しが検討されている（内閣府，2004）ことは、被害総量の推定精度向上の重要性を示唆している。

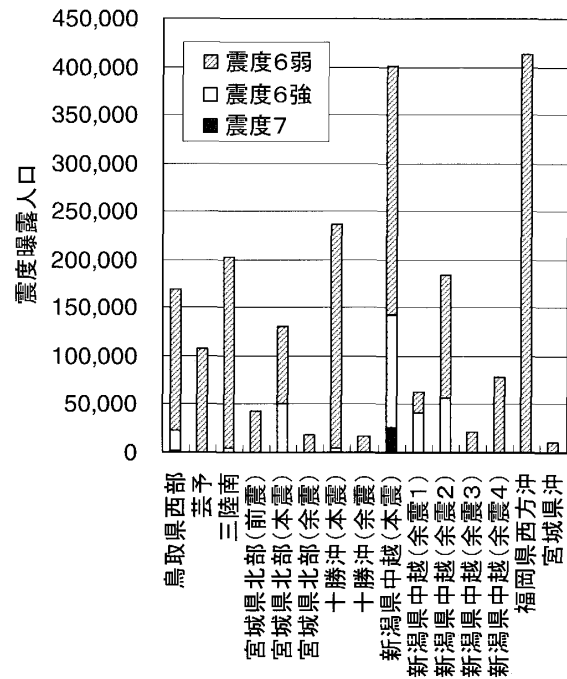
以上の背景のもとで本研究では、近年の地震で観測された計測震度に基づいて「震度曝露人口（PEX; population exposure to seismic intensity）」を算出し、住家被害ならびに人的被害との関係を定量的に分析するとともに、震度曝露指標と被害総量との関数関係をモデル化することによって、計測震度の特性に関する理解を深めようとするものである。

ここで震度曝露人口とは「所定の震度レベルに曝される人数」と定義されたものであり（能島ら，2004a）、震度分布と人口分布の重ね合わせ効果を考慮したマクロ的な震災ポテンシャル指標である。特定の被害指標と直結するものではないが、揺れの面的広がりを人口規模で表現したものとして、地震間・時代間・地域間での相互比較が可能な包括的尺度である。筆者らはこれまでに（1）濃尾地震など既往被害地震による推定震度分布、（2）想定東海地震などシミュレーション地震動による推定震度分布、（3）地震動予測モデルの条件設定の相違による複数の震度分布、（4）岐阜県内の即時的な面的補間推定震度、（5）地震ハザードステーション（防災科学技術研究所，2005a）の確率論的地震動予測地図、などを対象として震度曝露人口の評価を行ってきた（能島ら，2003，2004a，2004b，2005）。

以下、2.では、わが国の震度観測網の整備状況と、観測された震度データの概況をまとめておく。3.では、2000～2005年に発生した主な地震による計測震度データを用いて震度曝露人口を推計し、各地震の特徴を考察する。4.では、求めた震度曝露人口と住家被害・人的被害との巨視的な相関について考察する。5.では、震度曝露人口および世帯数に基づく住家・人的被害の被害総量推定モデルの



(a) 震度5弱以上での表示



(b) 震度6弱以上での表示

図5 震度曝露人口の比較

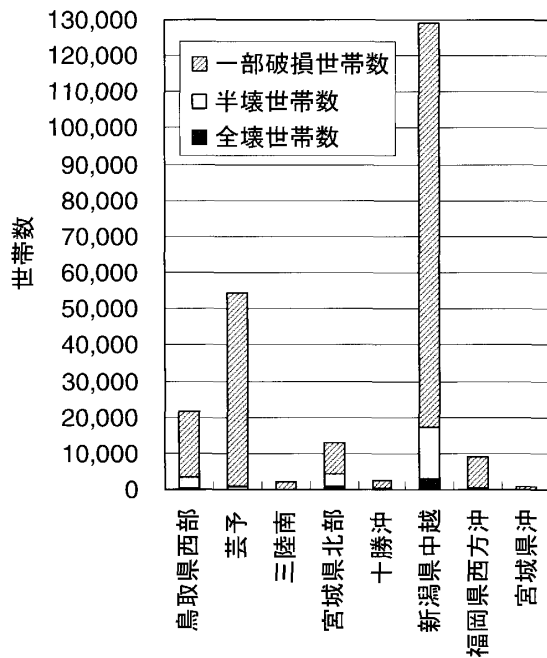


図6 住家被害(世帯数)の比較

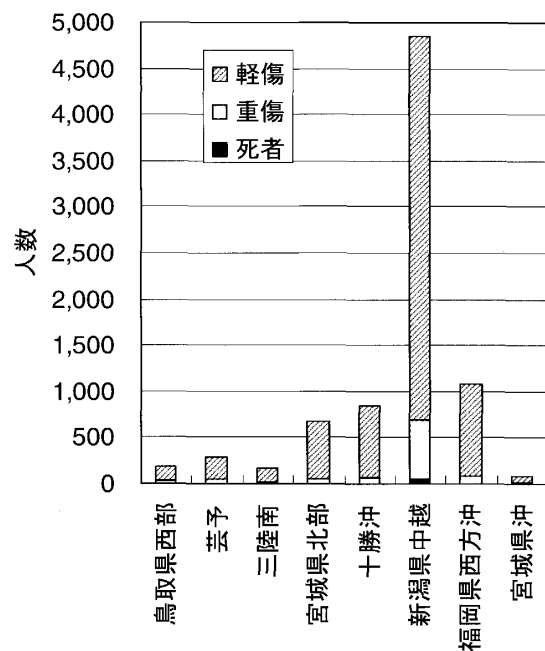


図7 人的被害の比較

両分布は大略的に類似した形状を示すが、正規分布の確率密度関数は尖度3であるのに対して、ロジスティック分布は尖度4.2で正規分布より鋭いピークと広い裾野を持つ。縦軸の被害率を対数軸とした片対数プロットで比較すると、左側の裾野部の形状に特に顕著な相違が現れ、正規分布では凸形状、ロジスティック分布では直線形状となる。計測震度に対する関数 $F(x_i; \mu, \sigma)$ の常用対数の勾配は次式で表される（ただしロジスティック分布については、低被害率における近似式）。

$$\frac{d \log_{10} F(x_i; \mu, \sigma)}{dx} = \begin{cases} \frac{1}{\ln 10 \cdot \Phi(-k) \sqrt{2\pi e^{k^2}}} \cdot \frac{1}{\sigma} & : \text{正規分布関数} \left(\text{ただし } k = \frac{x - \mu}{\sigma} \right) \\ \equiv \frac{\pi}{\ln 10 \sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\sigma} & : \text{ロジスティック分布関数} \end{cases} \quad (3)$$

ここで、パラメータ μ および σ は、実被害量 D_i と被害推定量 $\hat{D}_j(\mu, \sigma)$ との誤差の二乗和平方根 E （誤差指標と呼ぶ）の最小化を条件として求める。

$$E = \sqrt{\sum_j \{D_j - \hat{D}_j(\mu, \sigma)\}^2} \rightarrow \min \quad (4)$$

被害関数は通常、地震動強度指標と観測点近傍の被害率指標の対データをプロットし、それらを関数で直接的にフィッティングして導かれる。このため地震ごとの特性や構造主体の脆弱性を反映した被害関数を求めることが可能である。その一方で、被害総量を用いたキャリブレーションが行われることはないため、1.で述べたように、被害総量の推定精度向上が課題となっている。

これに対して本研究では、対象地震を通じて被害総量に最も良く適合する関数 $F(x_i; \mu, \sigma)$ を同定するという点で、式(4)の導出過程に特徴がある。地震ごとにプロットが1つしかなく、被害主体の属性を細分化しない震度曝露指標を用いるため、地震ごとあるいは構造主体ごとに関数を求めることはできない。しかし、式(4)を基準としたフィッティングを行うことで、被害総量の誤差最小化を

図ることができる。また、対象地震を網羅的に扱うこととシンプルな震度曝露指標を用いることで、現行の計測震度と被害との入出力関係を包括的に検討することが可能となり、その漠然としたイメージを定量表現することを狙いとしている。

5.2 震度曝露指標の詳細表現

式(1)に用いる震度曝露人口と震度曝露世帯数を図8に示す。図5では前震・余震を区別して表示したが、ここでは図6や図7と同様に8回の地震にまとめて表示した。その際には余震の影響を考慮している。2003年十勝沖地震および2004年新潟県中越地震では、余震の震度が本震の震度を上回るケースがあるため、観測点ごとに本震・余震を通じて記録された最大値を採用している。震度階単位で集計した図5よりも、計測震度の相対的な分布状況が詳細に表現されていることがわかる。また、矢印で示した最大計測震度が孤立している場合（例えば三陸南地震）よりも、その付近に震度曝露人口が多い場合（例えば宮城県北部地震）には、最大震度が同一であっても影響が大きくなることは容易に想像できよう。

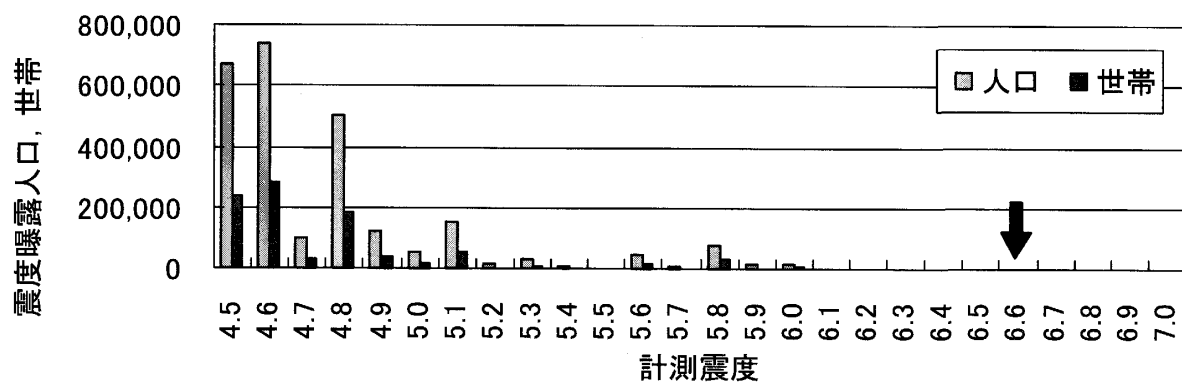
6. 住家・人的被害総量推定モデルの同定結果と考察

6.1 住家被害の被害総量推定モデル

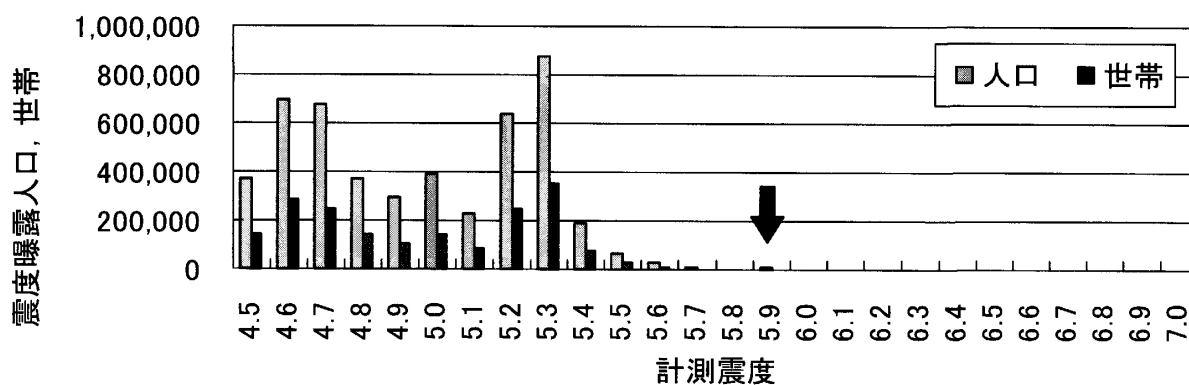
震度曝露世帯数（図8）と世帯単位の住家被害データ（表1）に基づいて、関数 $F(x_i; \mu, \sigma)$ を求めた。表2中段にパラメータ μ, σ および誤差指標 E を示す。図9は推定モデルを図示したものであり、(a)では被害率を算術軸表示、(b)では対数軸表示している。比較のため、「東京都防災会議震度階解説表」に基づいて定量化された被害関数（岡田・鏡味, 1991）のうち、平均的な木造住家を対象としたものを記入した。図10(a)-(c)は被害総量の観測値と推定値（正規分布のケース）を比較したものである（表2上段の図化）。

(1) 全壊

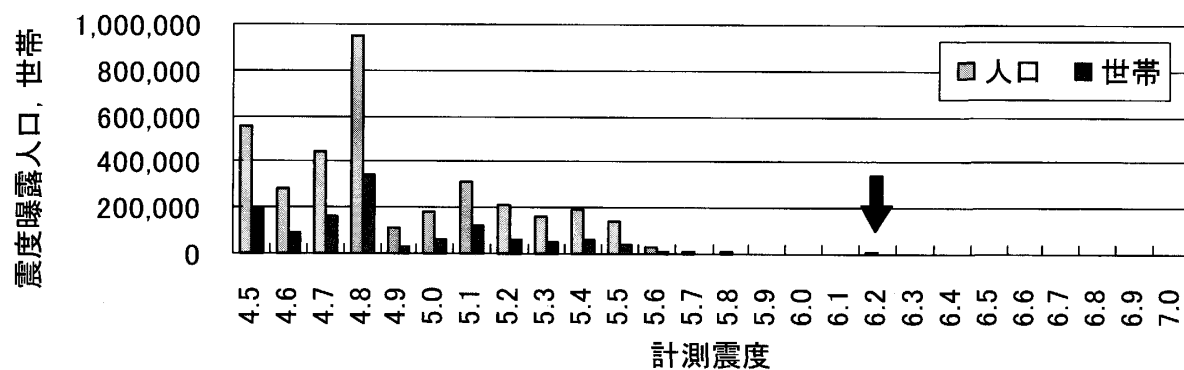
全壊率10%以下の領域では、従来の被害関数（ $\mu = 6.92$, $\sigma = 0.57$ ）と計測震度で0.4程度の相



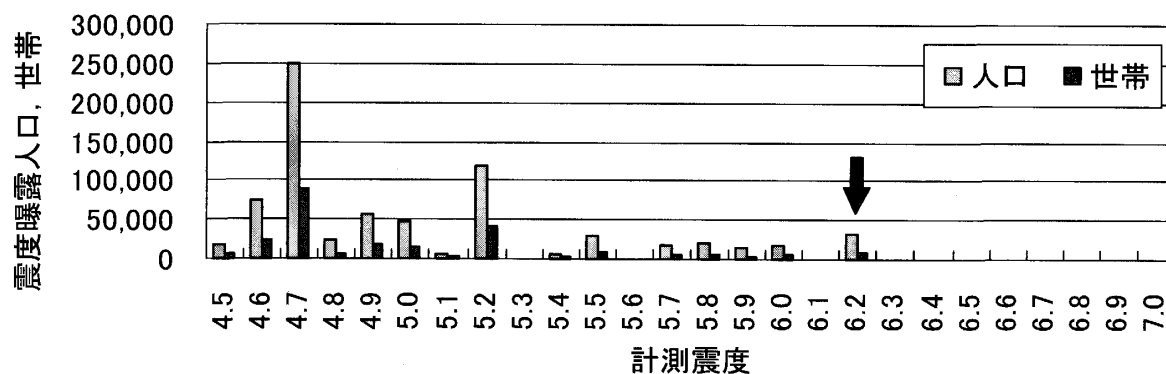
(a) 2000年鳥取県西部地震



(b) 2001年芸予地震

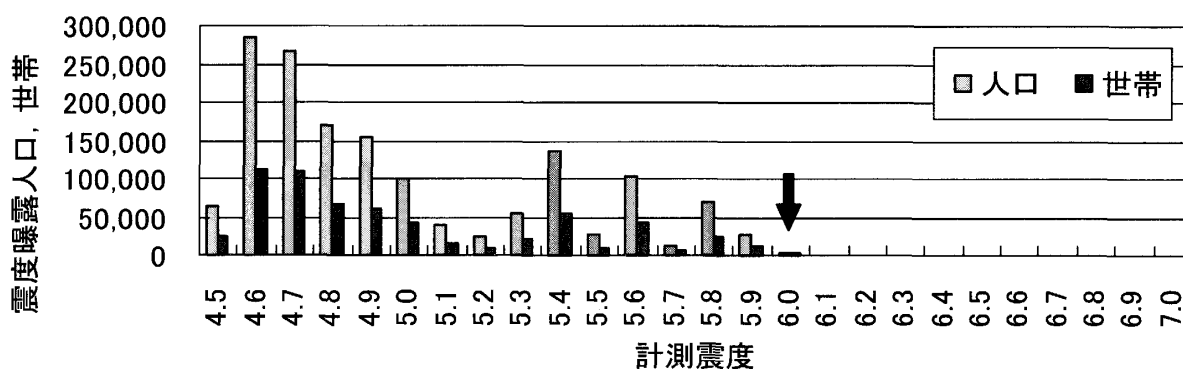


(c) 2003年三陸南地震

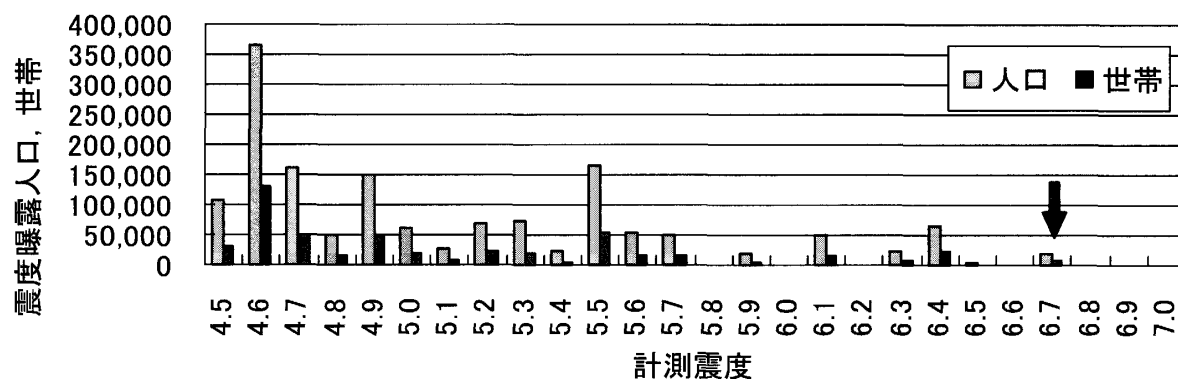


(d) 2003年宮城県北部地震

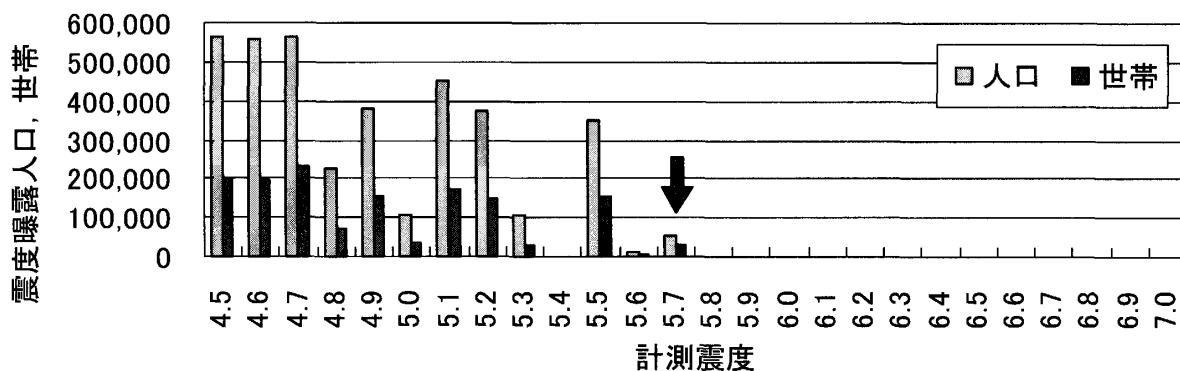
図8 2000～2005年の主な地震による震度曝露人口および震度曝露世帯数（続く）
 (矢印は計測震度の最大値を示す)



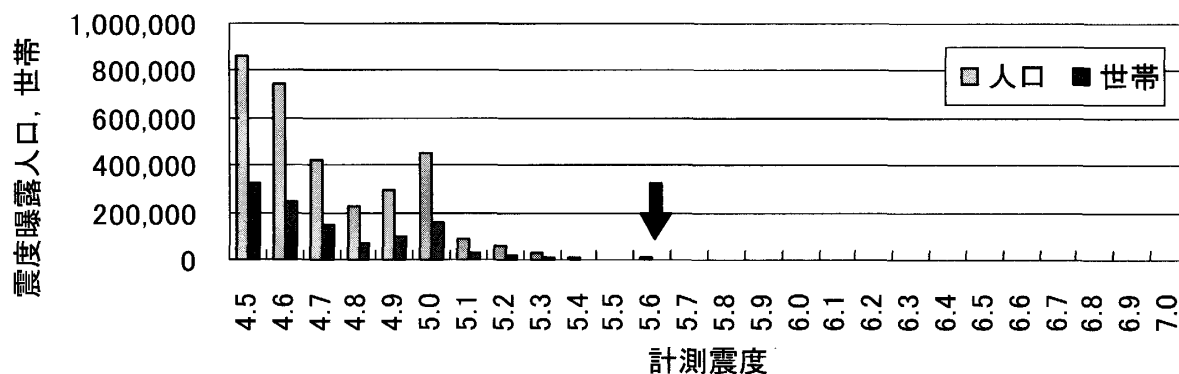
(e) 2003年十勝沖地震 (観測点ごとに本震・余震の最大値を採用)



(f) 2004年新潟県中越地震 (観測点ごとに本震・余震の最大値を採用)



(g) 2005年福岡県西方沖地震



(h) 2005年宮城県沖地震

図8 2000～2005年の主な地震による震度曝露人口および震度曝露世帯数 (続き)
(矢印は計測震度の最大値を示す)

表2 推定モデルのパラメータと被害推定値（住家被害）

| 地震 | 全壊世帯数 | 推定モデル | | 全半壊世帯数 | 推定モデル | | 一部破損以上世帯数 | 推定モデル | |
|----------|-------|-------|-----------|--------|--------|-----------|-----------|---------|-----------|
| | | 正規分布 | ロジスティック分布 | | 正規分布 | ロジスティック分布 | | 正規分布 | ロジスティック分布 |
| 鳥取県西部 | 439 | 364 | 318 | 3524 | 2074 | 1777 | 21415 | 25154 | 25250 |
| 芸予 | 86 | 167 | 212 | 951 | 543 | 888 | 54443 | 30251 | 29300 |
| 三陸南 | 2 | 167 | 167 | 21 | 809 | 859 | 2229 | 20488 | 19678 |
| 宮城県北部 | 1046 | 399 | 301 | 4246 | 2569 | 2079 | 13068 | 20261 | 20488 |
| 十勝沖 | 134 | 294 | 234 | 553 | 1637 | 1313 | 2560 | 35651 | 33837 |
| 新潟県中越 | 3138 | 3214 | 3236 | 17143 | 17257 | 17466 | 129041 | 67196 | 65950 |
| 福岡県西方沖 | 133 | 201 | 206 | 377 | 829 | 952 | 8997 | 34457 | 31636 |
| 宮城県沖 | 1 | 13 | 28 | 1 | 31 | 93 | 857 | 2061 | 2997 |
| μ | — | 7.23 | 6.96 | — | 6.53 | 6.49 | — | 5.84 | 5.84 |
| σ | — | 0.54 | 0.36 | — | 0.37 | 0.31 | — | 0.30 | 0.29 |
| E | — | 702.7 | 798.5 | — | 2664.0 | 3078.4 | — | 80955.6 | 80512.8 |
| 0.1%相当値 | — | 5.6 | 5.6 | — | 5.4 | 5.3 | — | 4.9 | 4.7 |
| 1%相当値 | — | 6.0 | 6.0 | — | 5.7 | 5.7 | — | 5.1 | 5.1 |
| 10%相当値 | — | 6.5 | 6.5 | — | 6.1 | 6.1 | — | 5.5 | 5.5 |

注：■はファクター2範囲外，■はファクター3範囲外であることを示す。

違がみられる。特に震度6弱においては全壊率がほぼ1オーダー異なっている。震度が高いほどこの相違は狭まる傾向にあるものの、旧震度階と計測震度のイメージの乖離を示すものといえる。正規分布とロジスティック分布の間には大きな相違は認められない。震度6.8以上での開きが大きいが、用いたデータの上限が震度6.7であるため、適用限界外である。全壊率 10^{-4} 以下の領域でも分布特性に起因する相違が目立つものの実用上の違いは小さいとみてよい。0.1%、1%、10%相当値は、両分布共通で、5.6、6.0、6.5となっており、計測震度幅0.4で全壊率がほぼ一桁上がっている。1%相当値が6.0であることは、4.でみた巨視的な相関関係（震度6強以上の影響大）を裏付けている。

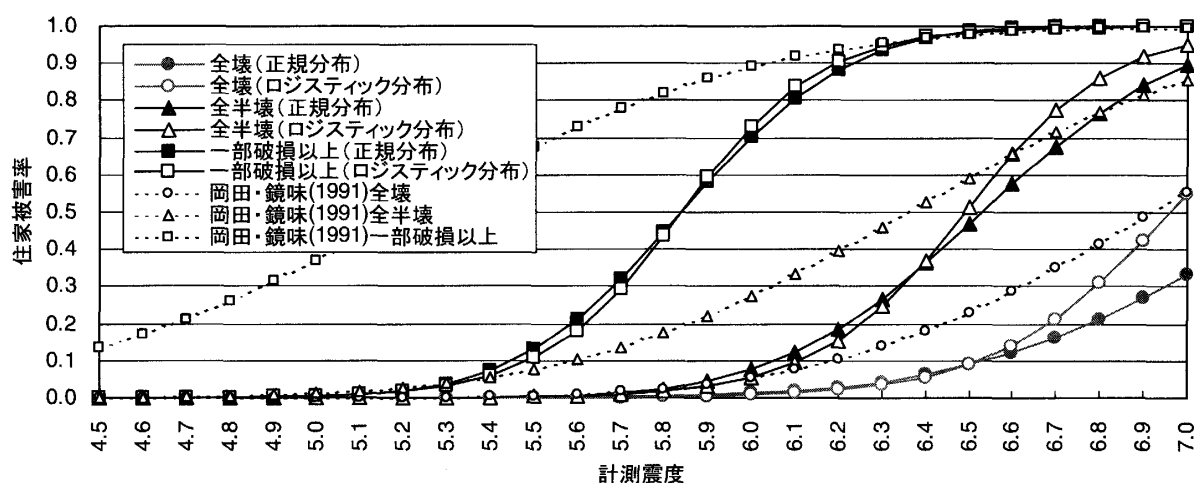
誤差指標 E で比較すると、正規分布の方が良い適合度を示している。図10(a)の観測値と推定値の比較では、一部の例外（三陸南と宮城県沖）を除くと1:3線と3:1線に入っており、おおむねファクター3程度の推定モデルである。

（2）全半壊（全壊+半壊）

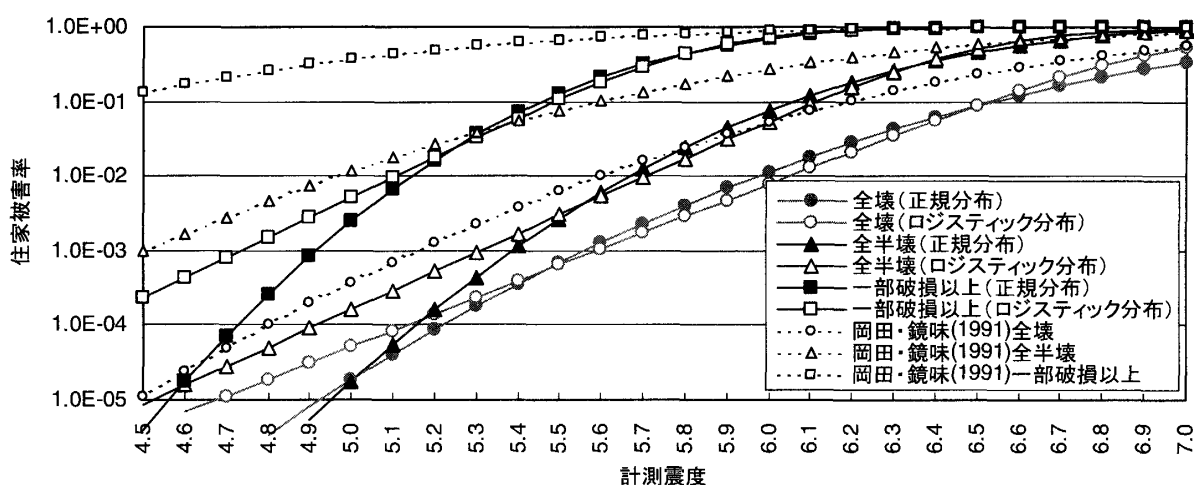
従来の被害関数（ $\mu = 6.36$ 、 $\sigma = 0.60$ ）との関

係に関しては、全壊のケースと類似の傾向をみることができ、震度5強以下での乖離はさらに大きく、2オーダー近くになっている。正規分布とロジスティック分布は、計測震度5.3以下で開きが大きく、正規分布の方が急勾配である。0.1%、1%、10%相当値は、正規分布で5.4、5.7、6.1、ロジスティック分布で5.3、5.7、6.1となっており、全壊のケースと同様に計測震度幅0.4で全半壊率がほぼ一桁上がっている。1%相当値が5.7であることは、4.でみた巨視的な相関関係（震度6弱の影響あり）を裏付けている。

誤差指標 E で比較すると正規分布の適合度が高く、震度5強以下での全半壊率をあまり高く見積もらない方がよいことを示唆している。閾値設定により一定震度以下を0にする必要性も指摘されており（翠川・藤本，2002）、被害想定の実務でも検討されている（内閣府，2004）。いずれにせよ、被害率が0に近い分布の裾野に関しては、震度曝露が高い部分であり被害推定に多大な影響を及ぼすため、対数軸表示での比較検討を通じて注意深く扱う必要がある。なお、図10(b)より、被害総量の推定精度は全壊の場合と同様にファクター3程度である。

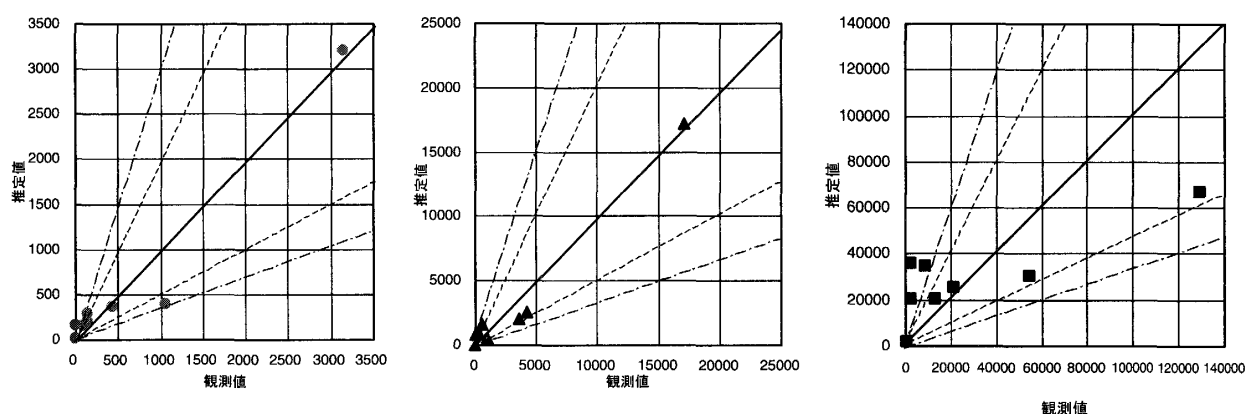


(a) 算術軸表示



(b) 対数軸表示

図9 震度曝露世帯数の利用を前提とした住家被害（世帯数）の被害総量推定モデル



(a) 全壊世帯数

(b) 全半壊世帯数

(c) 一部破損以上世帯数

図10 住家被害（世帯数）の被害総量推定モデル（正規分布）による推定値と観測値の相関
（実線は1：1線，破線は1：2線および2：1線，一点鎖線は1：3線および3：1線）

(3) 一部破損以上（全壊＋半壊＋一部破損）

一部破損以上に関しては、震度5弱から6弱にかけての広い範囲で従来の被害関数（ $\mu = 5.21$, $\sigma = 0.64$ ）との乖離が大きい結果となっている。震度5弱で正規分布とロジスティック分布の開きが生じている。0.1%, 1%, 10%相当値は、正規分布で4.9, 5.1, 5.5, ロジスティック分布で4.7, 5.1, 5.5となっている。1%相当値が5.1であることは、4.でみた巨視的な相関関係（震度5強の影響あり）を裏付けている。

誤差指標 E で比較するとロジスティック分布の適合度がやや高い。正規分布について示した図10(c)より、ファクター3に収まらないプロットが3点（三陸南・宮城県沖・福岡県西部）あり、少数被害を過大評価する傾向にある。一方、多数被害の2点（新潟県中越、芸予）はファクター2に収まるものの過小評価の傾向にある。一部破損の高精度な被害推定は容易でないことを示唆している。

6.2 人的被害の被害総量推定モデル

震度曝露人口（図8）と人的被害データ（表1）に基づいて、関数 $F(x_i; \mu, \sigma)$ を求めた。表3中

段にパラメータ μ, σ および誤差指標 E を示す。図11に推定モデルを図示し、図12(a)-(b)に被害総量の観測値と推定値（正規分布のケース）を比較した（表3上段の図化）。

(1) 死者数

対象地震における死者数は、新潟県中越地震とその他の地震で極端に数値が異なっている（表1）。パラメータは $\mu = 7$ 程度で $\sigma = 0.1$ 程度となったが、非常に偏っており、適切なモデルとはいえない。被害総量の推定値は、表3上段に示すように観測値と見掛け上の相関は高いが、本研究ではこのモデルを棄却することとした。

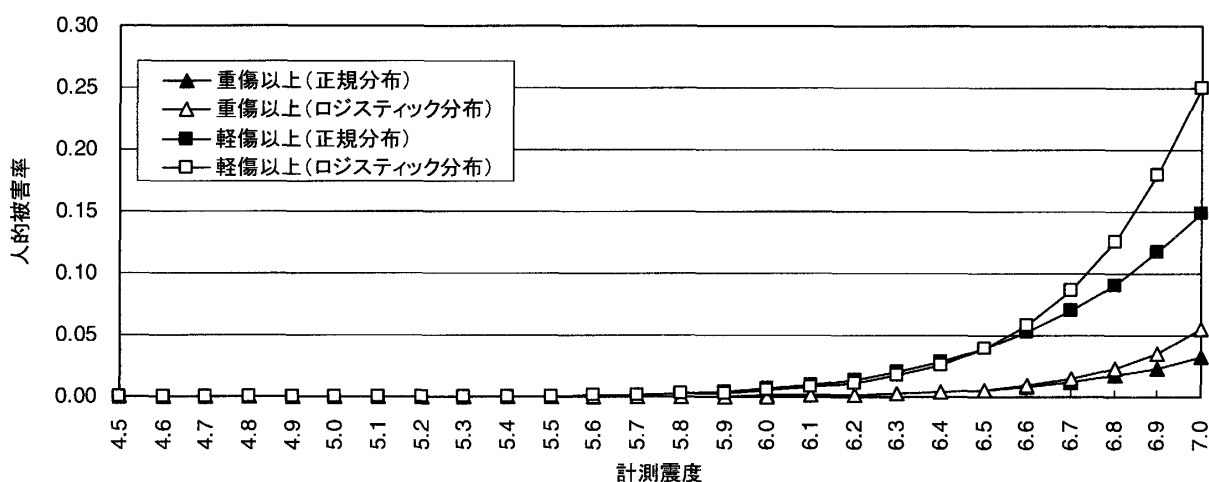
(2) 重傷以上（死者＋重傷者）

発生率は全体的に低く、図11(a)では特性を識別できないため、(b)の対数プロットで比較する。0.01%, 0.1%, 1%相当値は、両分布共通で、5.6, 6.0, 6.5となった。計測震度幅0.4ないし0.5で発生率が10倍となる勾配は、住家被害よりわずかに緩勾配である。4.では巨視的關係が明確ではなかったが、1%相当値が6.0であることは、震度6強の影響が大きいことを示唆している。

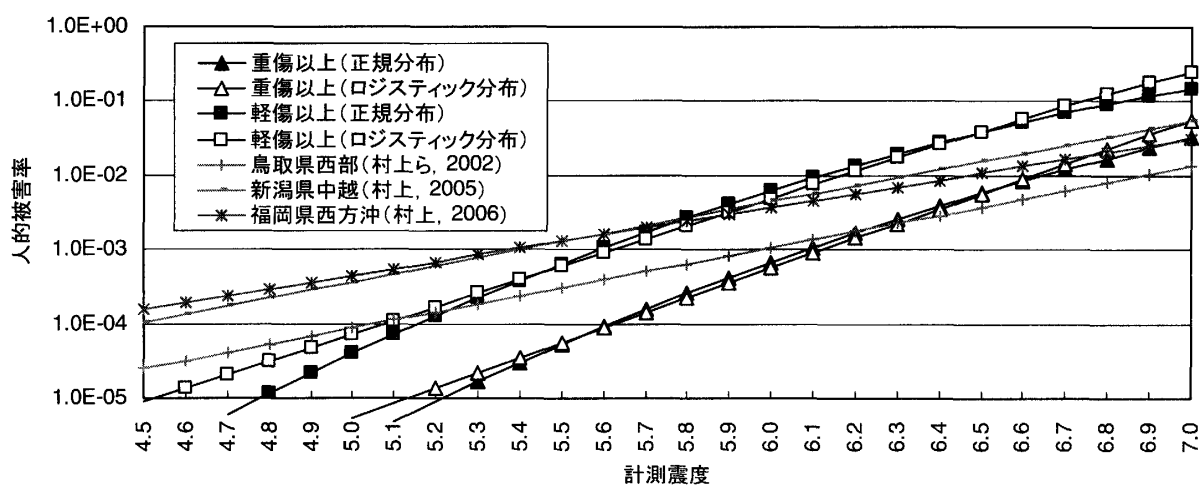
表3 推定モデルのパラメータと被害推定値（人的被害）

| 地震 | 死者 | 推定モデル | | 重傷以上 | 推定モデル | | 軽傷以上 | 推定モデル | |
|----------|----|--------|-----------|------|-------|-----------|------|-------|-----------|
| | | 正規分布 | ロジスティック分布 | | 正規分布 | ロジスティック分布 | | 正規分布 | ロジスティック分布 |
| 鳥取県西部 | 0 | 0 | 1 | 39 | 71 | 68 | 182 | 642 | 391 |
| 芸予 | 2 | 0 | 0 | 45 | 39 | 51 | 290 | 518 | 609 |
| 三陸南 | 0 | 0 | 0 | 25 | 38 | 43 | 174 | 445 | 473 |
| 宮城県北部 | 0 | 0 | 0 | 51 | 83 | 71 | 677 | 738 | 613 |
| 十勝沖 | 2 | 0 | 0 | 71 | 52 | 48 | 851 | 564 | 491 |
| 新潟県中越 | 51 | 50 | 52 | 687 | 680 | 691 | 4856 | 4475 | 4798 |
| 福岡県西方沖 | 1 | 0 | 0 | 77 | 36 | 42 | 1088 | 453 | 488 |
| 宮城県沖 | 0 | 0 | 0 | 12 | 5 | 9 | 91 | 69 | 120 |
| μ | — | (7.01) | (7.10) | — | 8.37 | 7.61 | — | 7.72 | 7.26 |
| σ | — | (0.11) | (0.12) | — | 0.74 | 0.39 | — | 0.69 | 0.43 |
| E | — | (3.1) | (3.3) | — | 66.2 | 57.8 | — | 912.8 | 925.8 |
| 0.01%相当値 | — | — | — | — | 5.6 | 5.6 | — | 5.2 | 5.1 |
| 0.1%相当値 | — | — | — | — | 6.1 | 6.1 | — | 5.6 | 5.6 |
| 1%相当値 | — | — | — | — | 6.6 | 6.6 | — | 6.1 | 6.2 |

注：◻はファクター2範囲外、◼はファクター3範囲外であることを示す。死者数に関するモデルは棄却した。

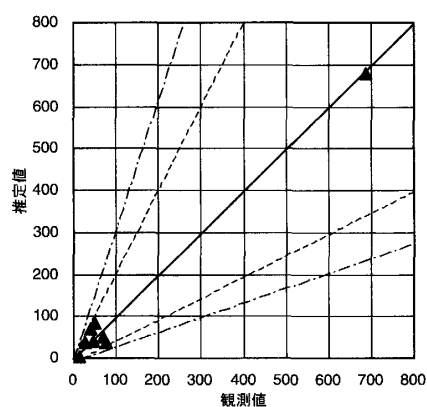


(a) 算術軸表示

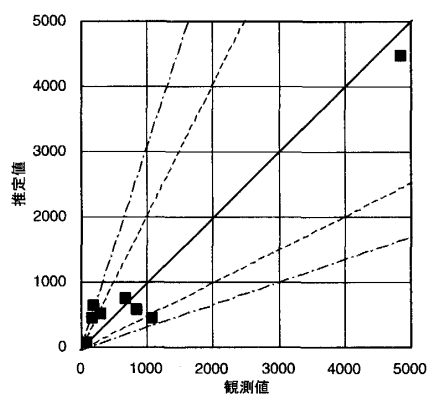


(b) 対数軸表示

図11 震度曝露人口の利用を前提とした人的被害の被害総量推定モデル



(a) 重傷以上人数



(b) 軽傷以上人数

図12 人的被害の被害総量推定モデル (正規分布) による推定値と観測値の相関
(実線は1:1線, 破線は1:2線および2:1線, 一点鎖線は1:3線および3:1線)

ロジスティック分布の適合度が良くファクター2にすべて収まっている。正規分布ではファクター2に収まらない点が2点(福岡県西方沖と宮城県沖)あったが、ファクター3にはすべて収まった。図12(a)のようにプロットは両極端に分離しているものの、死者数のケースほどではない。

(3) 軽傷以上(死者+重傷者+軽傷者)

図11(b)をみると重傷以上のケースと類似の形状を示しており、計測震度ではほぼ0.5の差、被害率ではほぼ1オーダーの比となっている。0.01%, 0.1%, 1%相当値は、正規分布で5.2, 5.6, 6.1, ロジスティック分布で5.1, 5.6, 6.2となっており、勾配は重傷以上のケースと同程度である。4.では明確な巨視的關係が認められなかったが、1%相当値が5.6であることは、震度6弱の影響が大きいことを示唆している。

正規分布の適合度が良く、図12(b)のようにファクター3に収まらないプロットは鳥取県西部の1点であった。ロジスティック分布でも大きな相違は見られない。

既往研究(村上ら, 2002; 村上, 2005, 2006)では、鳥取県西部地震、新潟県中越地震および福岡県西方沖地震を対象として、市区町村ごとの死傷者(本研究における軽傷以上に相当)発生率と計測震度の関係から回帰式が導かれている。計測震度に対する勾配は、計測震度幅1.0に対して約10倍であり、本研究と比較してかなりの緩勾配となっている。この原因としては、死傷率0%の市町村データを含まないデータセットを用いた片対数の回帰式であり、「人的被害が生じたという条件付の被害発生率」が表示されているため、低震度領域での発生率が高く評価されていることが挙げられる。吉村ら(2005)によると、市町村単位での軽傷者発生割合は、計測震度4.5で約15%, 5.0で約45%, 5.5で約70%となっており、この影響を加味すると、本研究による推定式の勾配に近い結果となる。鳥取県西部では他地震より死傷率が1オーダー近く低いことが指摘されており(村上ら, 2002), 本研究による推定式と比較しても同様のことがいえる。

以上より、計測震度と被害総量の入出力関係の平均的傾向が定量化されていると判断すれば、提案モデルは、現行の「気象庁震度階関連解説表」を改訂する際の参考情報となると考えられる。さらには、地震直後の被害概略推定を目的とした利用も可能と思われる。

7. むすび

本研究で得られた成果を以下に要約する。

- 1) 2000~2005年に発生した15回の地震で観測された計測震度5.5以上のデータを用いて震度曝露人口を推計し、震度階別の相互比較によりその特徴を明らかにした。また、計測震度0.1単位で集計した震度曝露人口・世帯数を示し、相対的な分布特性を明らかにした。
- 2) 震度曝露人口と住家被害・人的被害とを比較し、巨視的な相関関係について考察した。住家全壊には震度6強が支配的である一方、全半壊には震度6弱の影響がみられ、一部破損以上には震度5強ないし6弱の影響がみられた。死者数については震度7が支配的であり、負傷者については震度6弱の影響を示唆するデータが得られたが、関連は不明確であった。
- 3) 震度曝露世帯数と住家被害データに基づいて、住家被害の被害総量推定モデルを構築した。1%相当の計測震度は全壊で6.0, 全半壊で5.7, 一部破損以上で5.1となった。10%相当値は同順で6.5, 6.1, 5.5となった。旧震度階に基づく従来モデルと比較すると、計測震度で0.4あるいはそれ以上の乖離が広いレンジでみられた。
- 4) 震度曝露人口と人的被害データに基づいて、人的被害の被害総量推定モデルを構築した。死者数については適切なモデルとはならず棄却した。0.1%相当の計測震度は重傷以上で6.1, 軽傷以上で5.6, 1%相当値は重傷以上で6.6, 軽傷以上で6.1~6.2となった。
- 5) 被害総量推定モデルの関数形状として、正規分布とロジスティック分布を比較した。被害率0に近い部分(分布形状の左側の裾野)ほど両者の相違は大きい。モデル選択が被害推定に及ぼ

- 集, pp. 328-329, 2005.
- 能島暢呂・久世益充・杉戸真太・鈴木康夫：震度曝露人口による震災ポテンシャル評価の試み, 自然災害科学, Vol. 23, No. 3, pp. 363-380, 2004a.
- 能島暢呂・杉戸真太・久世益充・濱本剛紀：震度情報ネットワークによる震度曝露人口のリアルタイム推計, 地域安全学会論文集, No. 6, pp. 181-190, 2004b.
- 能島暢呂・杉戸真太・久世益充・石川裕・奥村俊彦・宮腰淳一：地震動予測マップの活用 - その2：震度曝露人口の試算 -, 第27回地震工学研究発表会, 土木学会, 論文番号58 (報告) (on CD-ROM), 2003.
- 太田裕：震度情報の理解と活用 (1)~(10), 月刊SEISMO, 1998. 8~2000. 3, 文部科学省研究開発局地震・防災研究課, 1998-2000.
- 岡田成幸・鏡味洋史：震度による地震被害系統評価のためのバルナラビリティ関数群の構成, 地震Ⅱ, 第44巻, pp. 93-108, 1991.
- 岡田成幸・高井伸雄：木造建築物の損傷度関数の提案と地震防災への適用 - 地震動入力を確定的に扱う場合 -, 日本建築学会構造系論文集, 第582号, pp. 31-38, 2004.
- 大中太郎・三浦弘之・翠川三郎・藤本一雄：住家被害率に及ぼす余震の影響, 日本地震工学会2005年大会, pp. 274-275, 2005.
- 境有紀・神野達夫・瀬瀬一起：震度の高低によって地震動の周期帯を変化させた震度算定法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第585号, pp. 71-76, 2004.
- Seligson, H.A. and Shoaf, K.I.: Human Impacts of Earthquakes, *Earthquake Engineering Handbook* (Eds: Chen, W.-F. and Scawthorn, C.), CRC Press, 2002.
- 消防庁：次世代震度情報ネットワークのあり方検討委員会中間報告書, 2005a.
- 消防庁：災害情報一覧, <http://www.fdma.go.jp/>, 2005b.
- 消防庁・気象庁：自治体が設置した震度計の設置環境調査結果について (2004年12月22日報道発表資料), 2004.
- 総務省統計局：国勢調査ホームページ, <http://www.stat.go.jp/data/kokusei/>, 2005.
- 山口直也・山崎文雄：西宮市の被災度調査結果に基づく建物被害関数の構築, 地域安全学会論文集, No. 2, pp. 129-138, 2000.
- 吉村昌宏・藤原賢也・岩橋平和：近年の地震における地震動強さと人的被害に関する検討, 日本地

震工学会 - 2005梗概集, pp. 528-529, 2005.

(投稿受理：平成18年1月30日)

訂正稿受理：平成18年4月13日)