

## 2000年鳥取県西部地震における高密度アンケート調査 —境港市における震度と被害—

小山 真紀<sup>1</sup>, 太田 裕<sup>1</sup>, 西田 良平<sup>2</sup>, 清野 純史<sup>3</sup>

Maki KOYAMA<sup>1</sup>, Yutaka OHTA<sup>1</sup>, Ryohei NISHIDA<sup>2</sup> and Junji KIYONO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>東濃地震科学研究所

<sup>2</sup>鳥取大学工学部土木工学科

<sup>3</sup>京都大学大学院工学研究科

2000年鳥取県西部地震において、鳥取県境港市では震源近傍の日野町と同程度の震度6強のゆれに見舞われた。我々は震度6環境下における地震応答を調査することを目的として境港市の全世帯（約13,800世帯）を対象として被害（建物・人的被害）および震度等に関する調査を実施した。その結果、狭い地域（約4km×約6km）にもかかわらず、震度は3~7の広範囲にわたっていた。震度の面的な分布についても高密度に得られ、市北部の境水道から南500m付近に帯状の高震度地域が存在したことが明らかになった。次に震度と被害の関係を示し、その結果境港市の建物被害は震度値に対してかなり軽微であったことが確認された。これらの情報は、今後の防災戦略立案の上でも有用である。

### 1. はじめに

2000年鳥取県西部地震（以下鳥取県西部地震と呼称）では、震源地から北方約30kmに位置する境港市において震源付近の日野町と同程度である震度6強（東本町）、6弱（上道町）が記録された。消防庁震度ネットワークによる周辺地域の震度分布<sup>1)</sup>（図1）を見ると、震源地から境港市に向かって一様に高震度領域が示されているのではなく、震源からの距離と共に震度も徐々に低下しており、境港市に至って再び震度が高くなっている。そこで我々は、以下の2点を目的として境港市の全世帯（約13,800世帯）を対象としたアンケート調査等を行った。

- ①震度6環境下の地域応答（震度分布、物的・人的被害、建物構造など）を詳細に調査すること
- ②震源地から離れた境港市において高震度を示した原因について調査すること

なお目的②については、地下構造等の調査を含めて別途進行中<sup>2)</sup>であるため、本論文では目的①の震度および建物被害を中心としたアンケート調査結果について報告する。

### 2. アンケートの概要

アンケートの回答対象者は原則として世帯主とした。調査票は2部構成であり、その内容は以下になっている。

- 第1部：回答者の属性、家族の在宅状況、建物構造および建物・人的被害等に関する設問群
- 第2部：アンケート震度<sup>3)</sup>算出用の設問群

なお、アンケートによる震度調査は長年行われてきている手法であり、旧気象庁震度とほぼ対応する震度値を算出できるものである。以上の調査票を市報に挟み込む形で配布した。回収は調査票と同時に添付した封筒を用いて郵送していただく方式をとった。回収率は約20%であり、2,796世帯からの回答を得た。郵送で回収したために回収率は低くなっているが、回収密度は112世帯/km<sup>2</sup>とかなり高密度である。なお、アンケートによる震度の算出手法は筆者らが高震度領域まで拡大した手法<sup>4)</sup>を用いた。

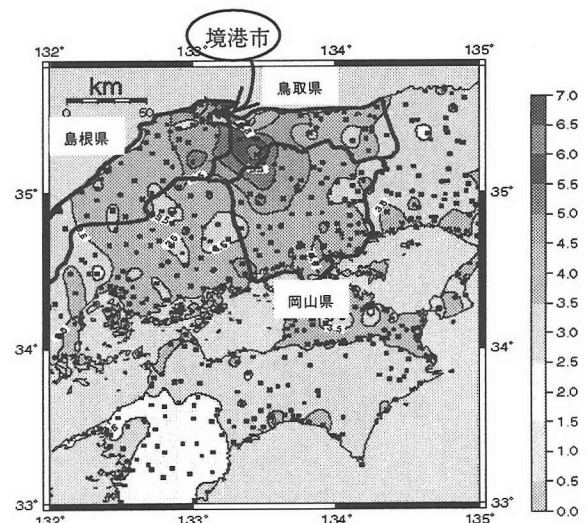


図1 調査地域周辺の震度分布。  
(畑山・座間<sup>1)</sup>による震度分布に加筆)

### 3. 境港市の概要

境港市は美保湾と中海を隔てる弓ヶ浜半島北端部に位置しており、東西約 6.1km、南北約 7.3km、面積 28.75km<sup>2</sup> (可住地面積 25.06km<sup>2</sup>) の地域である。人口は約 38,000 人 (約 13,800 世帯) である。東は美保湾に面し、西は中海に面して島根県境に接し、南は陸続きで米子市に隣接し、北は境水道をはさんで島根半島に面している。弓ヶ浜半島はその大部分が砂礫の沖積層からなる軟弱地盤であり、標高の低い平坦地である。その地質は砂や礫からなっている。また、その地形は、砂州・砂丘・堤間湿地および埋め立て地からなっており<sup>5)</sup> (図 2)、埋め立て地は港湾・漁業施設、工業団地等として利用<sup>6)</sup> され、その面積は市全体の 14.7% を占める 4.22km<sup>2</sup> となっている。また、米子市の中心部まで約 10km であることから、米子市のベッドタウンとなっている。

### 4. 震度分布

調査票第 2 部で得られた境港市の震度分布を図 3 に示す (有効回答 2,390)。これを見ると、市内の震度は 3~7 の間で広く分布しており、特に震度 5 弱~6 弱の領域の頻度が高くなっている。境港市の観測点で得られた計測震度はそれぞれ上道町が 5.6 (震度階級 6 弱)、東本町が 6.0 (震度階級 6 強) であるが、本調査で得られた震度の中央値は 5.3 であり、計測震度と比較すると若干低めの震度分布となっている。鳥取県西部地震においては、実被害と比較して計測震度が大きく算出されているとの報告<sup>7)</sup> もあり、アンケート震度が旧気象庁震度 (実被害を元にして算出されてきた) との整合を満たすものであるという事をふまえると、この結果と一致する。しかし、計測震度はその観測点の震度を計測するものであり、必ずしも境港市全体の震度を代表するものであるとは言え

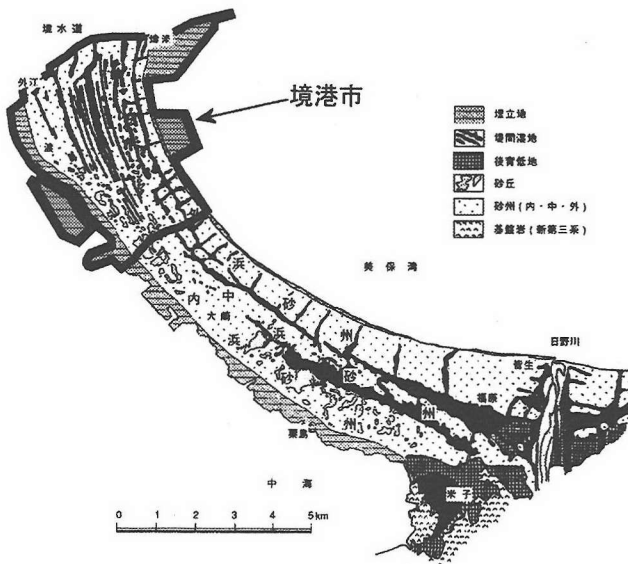


図 2 弓ヶ浜半島の微地形。  
(米子市史編纂協議会<sup>5)</sup> に加筆)

ない。よって、計測震度観測点では局所的に高震度であったという可能性も否定できない。そこで計測震度観測点である上道町および東本町のアンケート震度分布と計測震度との関係を調べた。上道町および東本町のアンケート震度分布を図 4 に示す。上道町においてはアンケートによる震度の中央値は 5.02 であり、東本町では 5.65 であった。これらの値は計測震度 (上道町 5.6, 東本町 6.0) と比較して低い値を示しており、やはり鳥取県西部地震においては計測震度の値が旧気象庁震度と比較して高めに算出されていると考えられる。次に、アンケートによる震度データを用いて 2 通りの震度コンターマップを作成した (図 5 および図 6)。図 5 は調査地域内に 300m のメッシュを設置して、このメッシュを 100m ずつ移動させ、それぞれのメッシュごとの震度データ中央値を代表値として作成したものである。これはメッシュあたり 10 数点の震度データを 1 グループとして処理したものとなっており、震度のかかなり細かい変化を見ることができる。しかし、このような処理を行うには回答者位置を数 10m 以内 (番地レベル) で同定しておく必要があり、労力が大きくなる。そこで、今少し大きい単位 (町レベル) で集計し、中央値を代表値とするコンターマップも描いてみた。これが図 6 である。なお、図 7 (市内の町別境界) にみるように「町」の広がりは大小さまざまとなっており、町を単位とした場合には処理が簡潔となる反面、震度の中央値が持つ地区代表性と細部変化描出力が若干低下する。ちなみに、300m のメッシュ表示による場合、地域内震度差が 2 程度ある。これに対して、町を単位とした場合の震度差は 1 程度にとどまっている。

両震度コンターマップの全体傾向は一致する。すなわち、市の北部-境水道から南に約 500m の所-に東西方向にのびた帯状の高震度領域が見られる。また、市の南

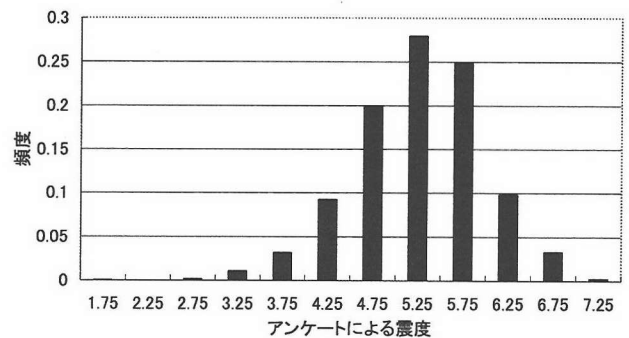


図 3 境港市震度分布。

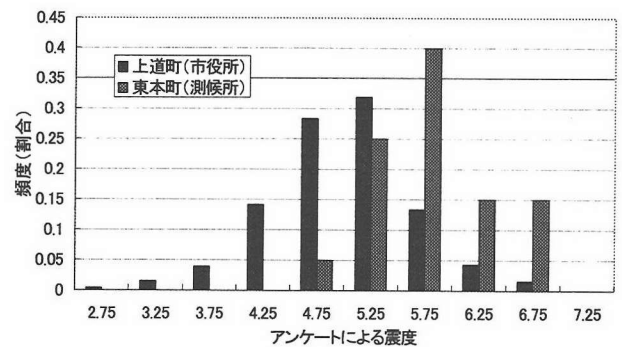


図 4 計測震度観測点震度分布。

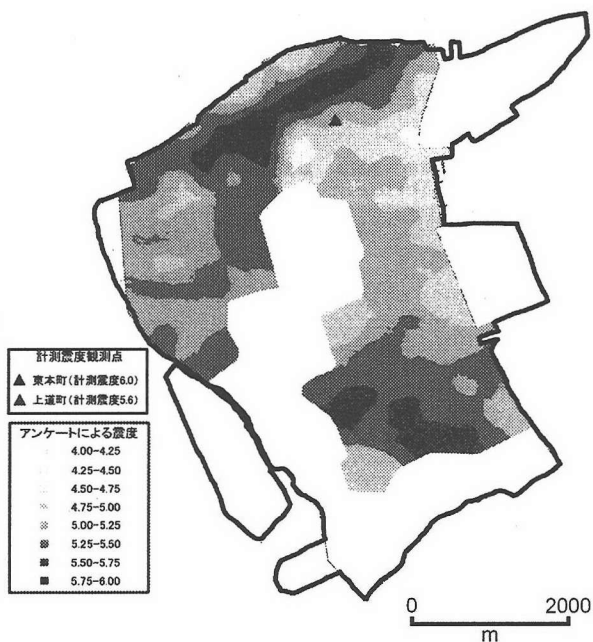


図5 詳細震度コンターマップ。

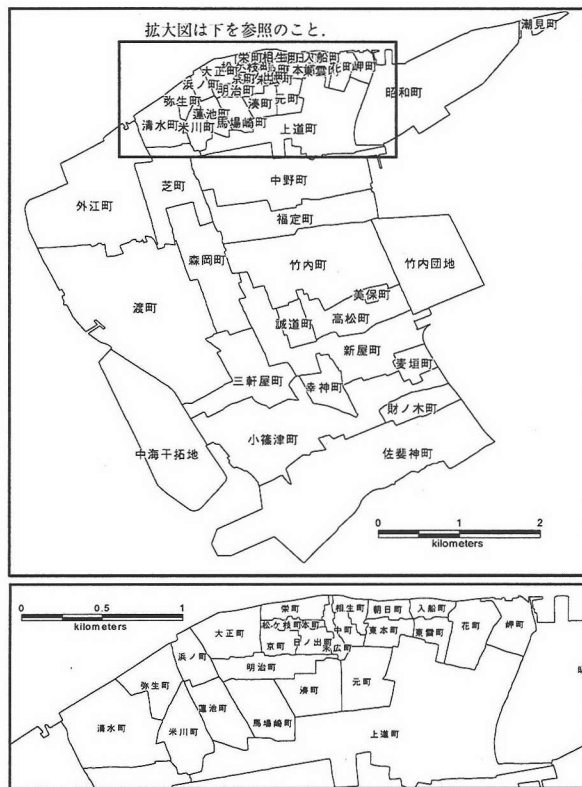


図7 境港市町境界。

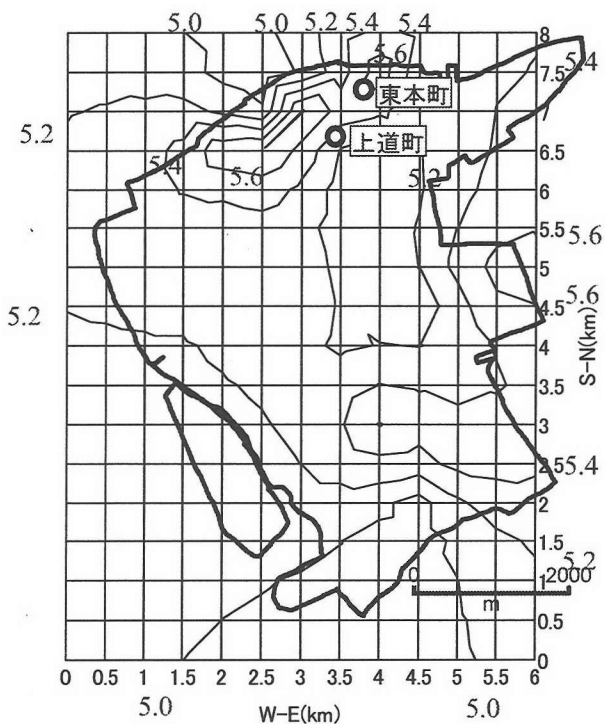


図6 町別震度コンターマップ。

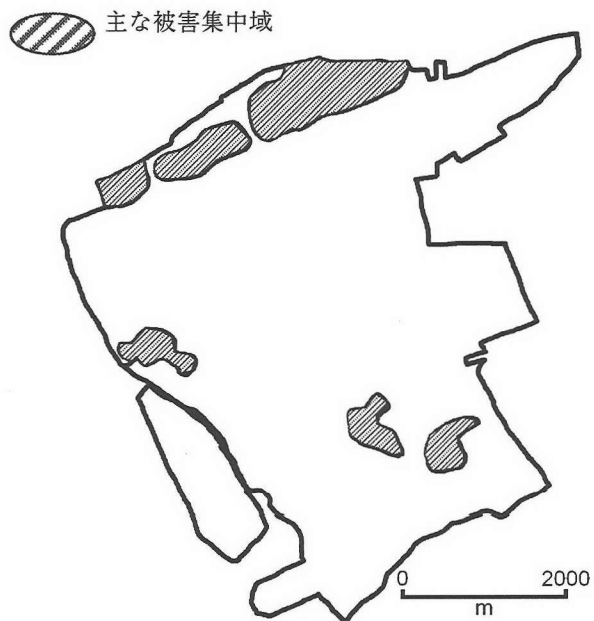


図8 罹災調査による建物被害集中域。

本図は MapInfo Professional 6.5 (米 MapInfo 社) 上で株式会社アルプス社の町丁目行政界地図を用いて作成しました。本データの著作権は株式会社アルプス社にあり、株式会社アルプス社から許可を得た上で掲載しています。

部にも高震度領域が見られる等々である。このようにして得られた震度コンターマップと境港市が実施した罹災調査にもとづく建物被害状況（被害集中域を図8に示す）を比較すると、高震度を示した地域と建物被害集中域がほぼ整合していることがわかる。

地震災害発生以前に対象地域の震度分布が入手できているならば、防災対策の戦略立案において非常に有用である。なぜならば、事前に高震度地域（被害集中域）を知ること、その地域の耐震補強や、地震直後対応を迅速に立ち上げるための準備を行うことが可能になるからである。アンケートによる震度調査は、対象地域の震度分布を詳細に知ることが可能であるが、調査手順（配布、回収、処理）に起因する時間ロスがあるため、当該地震の直後対応に利用することは難しい。しかしながら、得られた結果を次回の防災対策に生かすための貴重な資料を提供しうるものである。これは、被害をもたらす程度の地震ではなくともアンケートによる震度調査を行っておくことによって、来るべき被害地震に向けた防災戦略立案のための貴重な情報が得られることを意味している。日本においては震度4以上を記録した地震は1年に数十回とかなり頻繁に発生しており<sup>8)</sup>、このような時にアンケート震度調査を行っておくことが望ましいだろう。本論文におけるアンケート震度調査の結果、町別の震度からでも震度分布の概要を知ることが可能であった。このことを踏まえると、高密度のアンケート震度調査が難しい場合には、町別（町内数点以上）のアンケート震度調査を行うことでもおおよその被害地域をつかむことが可能であると思われる。

## 5. 被害状況

### (1) 建物被害状況

建物種別および建築時期によって、建物被害の発生状況は異なる。一般的に、耐震性能がそれぞれ以下のような関係にあることはよく知られているところである。

○ 鉄骨・鉄筋コンクリート造 > 木造

○ 新しい建物 > 古い建物

建物種別および建築時期について調査した結果、境港市においては、木造建物が大多数を占めており、約88%であった（図9）。これは全国平均の66%を大きく上回っている。建築時期については、昭和56年以降に建築された、いわゆる新耐震以前の建物に関しては全国平均50%、境港市53%と大きな違いはないものの、戦前（昭和20年以前）の建物では全国4%に対して境港市では13%（全国平均は約4%）となっており、特に古い建物の比率が高くなっている（図10）。

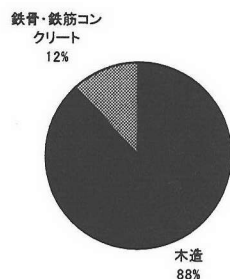


図9 建物種別.

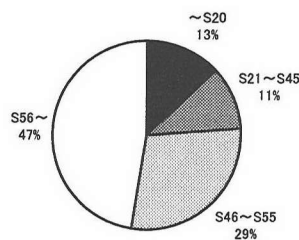


図10 建築時期.

建物被害状況調査は岡田・高井（1999）<sup>9)</sup>による破壊パターンを用いて行った。この手法は建物の破壊パターンを図示し、回答者に当該建物がどの破壊パターン：D0～D5（2階建て建物においてD5はD5-とD5+に区別される）に属するかを選択してもらう形式の調査である。この手法を用いることで、回答者が建築の専門家でなくとも建物被害状況を簡便に調査することが可能である。破壊パターンと罹災調査における建物被害区分（全壊・半壊・一部破損）はおおよそ図11のような関係にあり、D4以上で全壊に相当する被害程度を表している。鳥取県西部地震における境港市の建物被害分布を図12に示す。この図に示されるとおり、建物の約9割が無被害あるいは一部破損にとどまっており、全壊率は約2%である。全壊の中でも倒壊を含む破壊パターンを示すD5は0.2%とごく少数となっている。同じ「全壊」でもD4のパターンとD5のパターンでは人的被害への影響が大きく異なっていることに注意しなければならない。なぜならば、建物の一部あるいは全部が完全に倒壊するD5のパターンでは、D4と比較して死亡・重傷が引き起こされる割合が格段に高い<sup>10)</sup>からである。先に述べたとおり、境港市においてはD5のパターンに至った建物がごく少数であったために、観測された震度の大きさに比較して人的被害が軽微にとどまったものと思われる（人的被害の詳細は後述）。

被害程度	Damage Grade	破壊パターン
無被害	D0	
一部破損	D1	
	D2	
半壊	D3	
全壊	D4	
	D5	D5-
		D5+

図11 調査に用いた破壊パターン。（岡田・高井<sup>9)</sup>による）

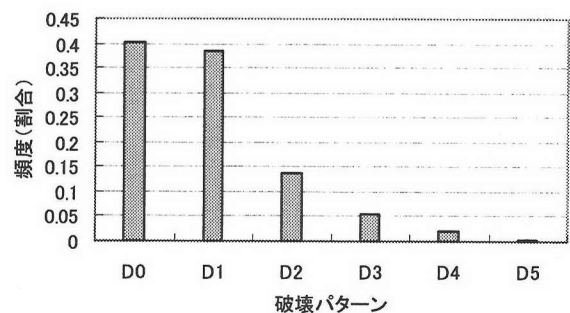


図12 建物被害分布.

次に破壊パターンとアンケートによる震度の関係(図13)を見ると、震度が大きくなるにつれて破壊パターンが被害の大きい方へ移り変わっていく様子が明確に示されている。半壊以上の被害を示すD3以上のパターンは、震度5強(図中では5.25)まではごく少数の発生にとどまっており、震度6弱(図中では5.75)から増加率が大きくなっている。全壊を示すD4以上のパターンは震度6弱(図中では5.75)までごくわずしか発生しておらず、震度6強(図中では6.25)から増加率が大きくなっている事がわかる。人的被害に多大な影響をおよぼすD5のパターンは、震度7(図中では6.75~)においてもほとんど現れていない。境港市では、震度6強~7に相当するゆれに見舞われた地点が少数であり(図3)、なおかつ震度7を示した地点も実際には震度6強に近い震度7であったことがその原因の一つにあげられるだろう。

以上のことから境港市の建物被害が観測された計測震度の割に軽微に押さえられていた理由は以下のように考えられる。

- ・観測された計測震度は、旧気象庁震度より高めの値となっている
- ・境港市全域が、全壊率が急増する震度6強以上のゆれに見舞われたわけではなく、ごく限られた地域のみであった

なお、建築時期と破壊パターンの関係は図14に示すとおりである。全体の傾向として、戦前(終戦以前)に建築

された建物の被害が大きく、戦後の建物では被害程度が大幅に軽くなっていることが明確に示されている。昭和21年~昭和55年までに建築された建物では、新しい建物になるにつれて若干被害程度が軽いものの、ほぼ横ばいであった。新耐震以後の建物(昭和56年以降)では、被害程度が一段と軽くなっており、重大な被害を被った建物の割合が大幅に軽減している。これは、戦前の建物の被災危険度が特に高くなっていることを示しており、これらの建物に対する耐震補強等の対策が早急に望まれるところである。

## (2) 人的被害状況

境港市発表の人的被害状況は、負傷者86名(重傷11名、軽傷75名)であり、幸い死者はなかった。市人口は約38,000名であり、負傷者割合は約0.23%(重傷0.03%、軽傷0.2%)であった。本調査においてもおおむね同様の結果を得ている。これは全壊棟数と死傷者数の関係における既存研究<sup>11)</sup>を見ると、かなり低い数値である。

負傷者の年齢別頻度分布(図15)を調べたところ、70代の負傷者が飛び抜けて多くなっているようである。これは図16に示すように境港市では高齢者の割合が高く、地震発生が平日昼間であったために、在宅者の多くが高齢者であった(図17)ことが原因としてあげられよう。

負傷者の人数がごく少数であることから、これ以上の詳細な解析は難しいが、参考までにアンケートによる震度と人的被害の関係を表1に示す。

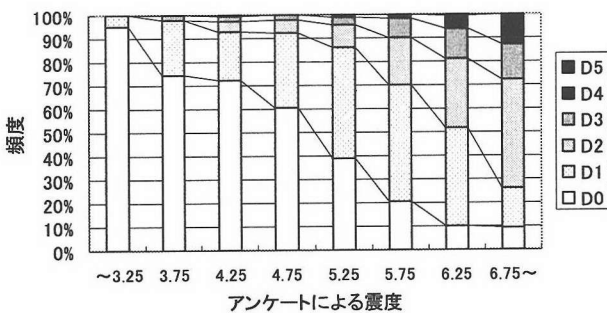


図13 破壊パターンと震度の関係。

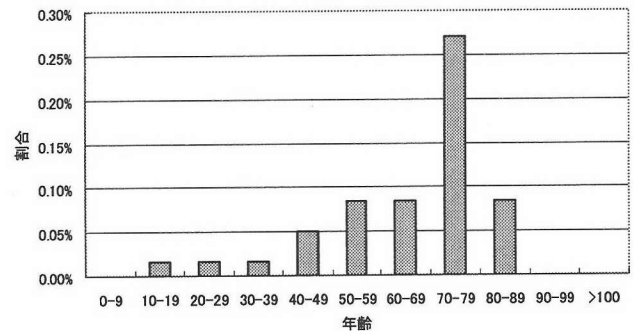


図15 負傷者の年齢構成。

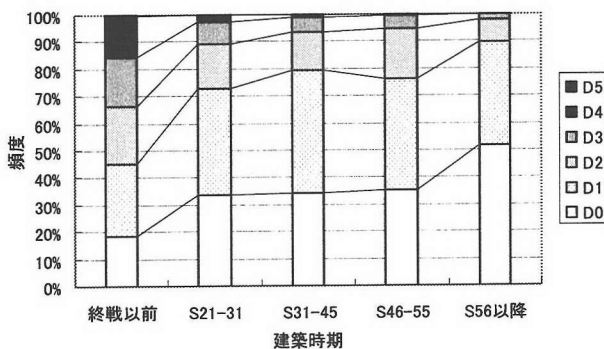


図14 建築時期と破壊パターンの関係。

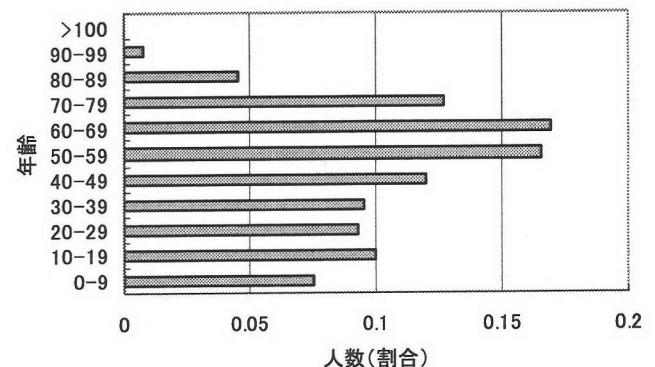


図16 境港市の年齢構成。

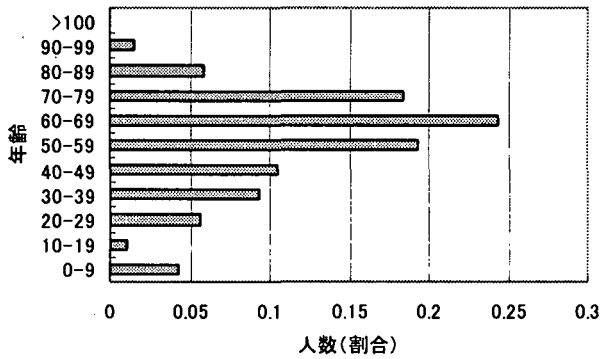


図 17 在宅者の年齢構成。

表 1 本調査による震度と人的被害の関係

単位：人(震度別割合を除く)

アンケートによる震度	本調査				震度別割合		
	けがなし	通院	入院	計	けがなし	通院	入院
2.75	4	0	0	4	100.00%	0.00%	0.00%
3.25	24	0	0	24	100.00%	0.00%	0.00%
3.75	88	0	0	88	100.00%	0.00%	0.00%
4.25	239	0	0	239	100.00%	0.00%	0.00%
4.75	471	0	0	471	100.00%	0.00%	0.00%
5.25	670	6	2	678	98.82%	0.88%	0.29%
5.75	610	6	0	616	99.03%	0.97%	0.00%
6.25	231	1	1	233	99.14%	0.43%	0.43%
6.75	70	2	0	72	97.22%	2.78%	0.00%
7.25	4	0	0	4	100.00%	0.00%	0.00%
計	2411	15	3	2429			

## 6. まとめ

震度 6 環境下における地震応答を詳細に知ることを目的として、境港市のアンケート調査を行った。主な調査項目は「アンケートによる震度」算出のための設問群、物的被害・人的被害に関する設問群である。全世帯を対象とした調査を行ったため、回収率は 20%程度であったものの、かなり高密度な震度分布を得ることができた。その結果、比較的狭い地域にもかかわらず、市内の震度分布は震度 3~7 の幅広い領域にわたっていることが明らかになった。また、震度の面的な広がりも詳細に得ることができた。今回得られたような詳細な震度分布の情報は、以後の防災戦略立案の上で非常に有用となる。例えば、救急救助計画、備蓄物資の分配計画、自主防災組織の連携計画などがあげられる。しかし本来ならば、地震被害を被る前にこのような情報を得ておくことが望ましい。そのためには、被害が発生しないような中程度の地震においてもアンケートによる震度調査を行っておくことが有効であろう。

境港市の建物は木造が多数を占めており、その中でも戦前に建築されたものの割合が多い。このように耐震性が低いとされる建物が多かったにもかかわらず、被害程度は比較的軽微であった。しかしながら、一般に震度 6 を超える高震度領域においては、震度が大きくなるにつ

れて指数関数的に被害が急増する。境港市の大部分の震度は 5~6 であり、もう少し震度が大きければ被害が急増していたと思われる。いわば、激甚災害に至る一歩手前のゆれであったとすることができるだろう。

境港市は全国と比べて高齢者が多く、特に在宅者においては 50~70 代の人が大半であった。しかし、このような状況でも人的被害は少数にとどまっていた。これは、建物被害が比較的軽微にとどまっていたことおよび、地震発生が平日昼間であり、在宅率が少なかったことなどによるものだと考えられる。

境港市という比較的狭い領域でも、そのゆれの程度は場所によって広範囲にばらついていた。その結果、被害も局所的に異なってくることは想像に難くない。実際に高震度のゆれに見舞われた場合、直後対応のトリガーとなる情報は計測震度である。しかしながら地域内のゆれの多様性に対して、現時点では 1 市町村に 1 つの計測震度計しか設置されていない場合が多い。このような現状を踏まえ、今後の防災対策に計測震度情報をより有効に活用するためには、計測震度観測点における震度に応じた市内全域の想定震度分布を事前に把握しておくことが重要になるだろう。

## 参考文献

- 1) <http://www.fri.go.jp/earthquake/index.html>：畑山健・座間信作、消防研究所地震防災研究室、平成 12 年鳥取県西部地震消防庁震度情報ネットワークによる計測震度とその解析、2000。
- 2) 吉川大智：地震・余震・微動データの併合処理による弓ヶ浜半島の 3 次元基盤構造の推定、鳥取大学工学部修士論文、2002。
- 3) 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算定、北海道大学工学部研究報告、第 92 号、pp.117-128、1979。
- 4) 太田裕・小山真紀・中川康一：アンケート震度算定法の改訂—高震度領域—、自然災害科学、16-4、pp.307-323、1998。
- 5) 米子市(米子市史編纂協議会)：新修米子市史、第六巻、自然編、1997。
- 6) 境港市：境港市による資料、2001。
- 7) 境有紀・額額一起・神野達夫：強震記録と建物被害データに基づいた「計測震度」の提案、日本地震学会講演予稿集、2001 年度秋季大会、A53、2001。
- 8) 太田裕・小山真紀：小さな地震の直後防災対応—愛知県・市町村の場合—、東濃地震科学研究所報告、Seq. No. 9、pp.85-100、2002。
- 9) 岡田成幸・高井伸雄：地震被害調査のための建物分類と破壊パターン、日本建築学会構造系論文集、524、pp.65-72、1999。
- 10) 高井伸雄・岡田成幸・高井博雄・宮野道雄・鈴木有：建物破壊パターン分類に基づく 1995 年兵庫県南部地震における北淡町富島地区の建物被害調査、日本建築学会技術報告集、第 10 号、pp.305-308、2000。
- 11) 例えば、塩野計司・小坂俊吉：地震による死者・負傷者の予測、総合都市研究、第 38 号、pp.113-127、1989。