

平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震等の揺れに関するアンケート調査 Questionnaire Survey on Seismic Shaking for the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

平松秀行¹, 阿部正雄², 山崎 明³
Hideyuki HIRAMATSU¹, Masao ABE², and Akira YAMAZAKI³

(Received: February 14, 2013: Accepted: February 20, 2014)

ABSTRACT: The Japan Meteorological Agency (JMA) conducted a questionnaire survey on seismic shaking intensity for the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, which occurred on March 11, 2011; the near Nagano-Niigata border earthquake on March 12, 2011; and the eastern Shizuoka prefecture earthquake on March 15, 2011. 19,046 questionnaires were distributed around the 191 seismic intensity stations, where the population density is relatively high and the observed seismic intensity was 5 upper or more. Approximately 50% of the questionnaires were retrieved and the effective response rate was 22.9%.

We investigated the responses for each earthquake, finding responses from areas of higher observed seismic intensity tended to select higher seismic intensity ranges. Comparing responses for the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake with responses for the other two earthquakes, responses for the former tended to select higher seismic intensity ranges.

Using the questionnaire survey results, we checked the JMA seismic intensity scale description table, denoting the correspondence between seismic intensity and damage caused by earthquake shaking, confirming that the current description table basically expresses the situation properly.

We obtained the questionnaire seismic intensity from questionnaire survey results by investigating the relationship between questionnaire seismic intensity and observed instrumental seismic intensity. Differences between the questionnaire and observed seismic intensity for the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake were within approximately ± 0.5 .

1 はじめに

気象庁が発表する震度は、地震による揺れの強さを総合的に表す指標となるため、多くの防災機関で防災対応の基準として利用されている。

この震度と、地震により実際に発生する現象や被害との関係の目安を示した「気象庁震度階級関連解説表」(以下、解説表)の記述内容は、建築物の耐震技術の向上等に伴い実情に合わなくなる場合がある。このため、震度と地震による被害の状況の関係を常に把握し、解説表を定期的に点検する必要がある。

2009 年に開催された「震度に関する検討会」(気象庁・消防庁, 2009)において、この解説表が更新された他、解説表の点検・改定に資するために、顕著な被害地震が発生した際には現地調査の一環として揺れに関するアンケート調査を実施することが望ましいとされた。気象庁では、この検討会後に発生した 2009 年 8 月 11 日の駿河湾の地震において揺れに関するアンケート調査を実施し(新原, 2012)、解説表の点検をおこなうための資料の蓄積を始めた。

¹ 地震火山部地震津波監視課, Earthquake and Tsunami Observation Division, Seismology and Volcanology Department
現所属: 福岡管区気象台火山監視・情報センター, Volcanic Observation and Information Center, Fukuoka Regional Headquarters

² 地震火山部地震津波監視課, Earthquake and Tsunami Observation Division, Seismology and Volcanology Department
現所属: 東京管区気象台気象防災部, Disaster Mitigation Department, Tokyo Regional Headquarters

³ 地震火山部地震津波監視課, Earthquake and Tsunami Observation Division, Seismology and Volcanology Department
現所属: 地磁気観測所技術課, Technical Division, Magnetic Observatory

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分に発生した「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」（以下、東北地方太平洋沖地震）では、最大震度 7 を観測した他、震度 5 強以上を 461 点で観測した。また、この地震の直後の 3 月 12 日 03 時 59 分には長野県・新潟県県境付近で、3 月 15 日 22 時 31 分には静岡県東部でそれぞれ最大震度 6 強を観測する地震が発生した。

今回、これらの地震で高い値の揺れを観測した震度観測点周辺において「地震の揺れに関するアンケート調査」を実施した。調査結果から、解説表の記載内容が妥当であるかの点検をおこなった他、アンケート震度（太田・他，1979）を求め、気象庁が発表している震度（計測震度）との比較をおこなった。東北地方太平洋沖地震は非常に大規模な地震であったことから調査地点も広範囲となり、多くの回答を得ることができた。そのため、精度の高いアンケート調査結果を得ることができた。

2 調査方法

アンケート調査票（以下、調査票）は、太田・他（1979）の調査票に、解説表の点検に資する気象庁独自の設問を追加したものを使用した（Appendix）。追加した設問は設問番号を「13-1」のように枝番形式としてある。新原（2012）においても解説表の点検に資する設問を追加して調査を実施しているが、今回の調査票は新原（2012）の調査票にさらに設問の追加をおこなっている。

今回の調査は解説表の内容点検を主目的とすることから、震度観測点近傍でデータを取得する必要があるため、調査票の配布は調査対象となる震度観測点から原則半径 200m 以内で実施した。

調査票の配布は、封筒に調査票・挨拶状・返信用封筒（料金受取人払）を同封し、各戸の郵便受けに直接投函するポスティング方式により実施した。

3 調査地点の選定

本調査はそれぞれの地震で震度 5 強以上を観測した地点を対象に実施した。震度 5 強以上を観測した地点は、東北地方太平洋沖地震が 461 地点、長野県・新潟県県境付近の地震が 8 地点、静岡県東部の地震が 5 地点であった。

これら震度 5 強以上を観測した地点のうち、アンケート調査に適していると考えられる観測地点周囲

の人口密度が比較的高い地点を選定した。ただし、東北地方太平洋沖地震の場合は震度 5 強以上を観測した地点が多いため、前述の選定後に市区町村単位で複数地点が残っている場合は計測震度が最も大きい地点を代表地点として選定した。また、津波被災地および福島第一原子力発電所の事故による規制区域等に含まれる地点は除外した。その結果、調査地点は東北地方太平洋沖地震 181 地点、長野県・新潟県県境付近の地震 6 地点、静岡県東部の地震 4 地点の計 191 地点となった（Fig. 1）。

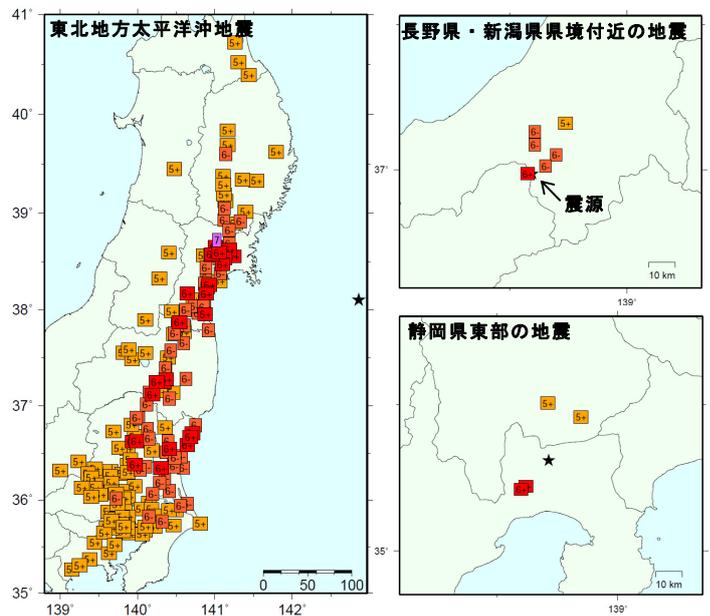


Fig. 1 Distribution maps of questionnaire survey stations. The numbers indicate the observed seismic intensity. Stars indicate epicenter.

Left: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake
Upper right: The near Nagano-Niigata border earthquake
Lower right: The eastern Shizuoka prefecture earthquake

4 調査票の配布

調査票の配布は 2012 年 1 月に実施した。ただし、調査予定地域の一部ですでに大学により同様の調査が行われていた地域（宮城県栗原市、大崎市）があったため、同一住家への二重配布となるのを避けるために気象庁職員が戸別訪問により直接配布をした地点が 6 地点ある。ポスティング方式による配布は、戸別訪問や自治体等の協力の元での配布などよりも

一般的に回収率が低い。今回はポスティング方式による回収率を 10%程度と想定した。信頼度の高いアンケート結果を得るためには各地点で少なくとも 10 部以上の回答を得る必要があると考え、各地点に 100 部の調査票を配布することとした。なお、震度計は役場等に設置されている場合が多く、このような地点では最大 20 部程度を役場職員等にも渡して調査に協力していただいた。

先に述べたように、配布は観測点から原則 200m 以内としたが、200m 以内で 100 部配布できなかった地点もあったため、その場合、最大 400m まで配布範囲を広げた。しかし、それでも 100 部配布できなかった地点が 4 地点あった。

配布部数は合計で 19,046 部である。

5 調査票の回収結果

2012 年 3 月までに回収できた調査票を元に回答の集計をおこなった。調査票の回収数・有効回答率を Table 1 に示す。ここで有効回答とは、調査票に住所記載があり、かつ、震度観測点の半径 300m 以内からの回答であるという条件を満たすものとした。震度観測点近傍の揺れの状況を把握するためには、前述したように半径 200m 程度の範囲のデータで検証するのが良いと考えられるが、200m 以内の回答では有効回答が 10 に満たない地点が 20%程度あった。そのため、今回は 300m 以内の回答を有効回答とした。300m まで広げたことによって約 96%にあたる地点で有効回答数は 10 以上となった。

全体の回収率は 51.5%とポスティング方式による配布としては高い回収率であったと考えられる。有効回答率は各地震によって差があり、15.3～35.2%であった（全体の平均有効回答率は 22.9%）。有効回答率が比較的低いのは、東北地方太平洋沖地震が平日の日中に発生し、回答者が勤務先など出先にいたことなどから震度観測点周辺の回答が少なかったことが影響しているものと考えられる。個別訪問方式による配布であれば当日の在宅を確認することにより有効回答率を上げることは可能であったと思われるが、今回はポスティング方式を採用したため在宅・不在宅の確認まではできなかった。

Table 1 Numbers of questionnaires distributed and retrieved as well as effective response rates

対象地震	配布数	回収数	有効回答数	有効回答率(%)
東北地方太平洋沖地震	18,046	9,266	4,097	22.7
長野県・新潟県県境付近の地震	600	341	211	35.2
静岡県東部の地震	400	211	61	15.3
	19,046	9,818	4,369	22.9

6 回答状況の特徴

Fig. 2～11 に東北地方太平洋沖地震、長野県・新潟県県境付近の地震および静岡県東部の地震における被害の状況、人の体感に関する主だった設問の回答状況を示す。これらは回収された有効回答票の回答結果を観測された震度ごとに分類して集計し、各設問の選択肢の選択率をグラフ化したものである。なお、回答状況のグラフ下部にそれぞれサンプル数を示しているが、設問によっては無解答や条件に該当しない場合等あるため、サンプル数には差がある。また、東北地方太平洋沖地震と他 2 つの地震（以後、東北地方太平洋沖地震との比較で長野県・新潟県県境および静岡県東部の地震について述べる場合は「他 2 つの地震」と略す）では有効回答数に大きな差があること、東北地方太平洋沖地震の震度 7 および長野県・新潟県県境付近の地震の震度 6 強はそれぞれ 1 地点しか観測されていない（有効回答数は、東北地方太平洋沖地震・震度 7：42、長野県・新潟県県境付近の地震・6 強：21）ことを考慮する必要がある。

いずれの地震でも震度が大きくなるほどより高震度側の選択肢の選択率が増加していく傾向が明瞭であり、震度が大きくなるにつれて被害が大きくなっている様子が分かる。例えば、棚からの本の落下について問う設問 14-1 (Fig. 5) の「多くのものが落ちた」、「棚ごと倒れた」を合わせた選択率を見てみると、東北地方太平洋沖地震では 5 強で約 29%、6 弱で約 64%、6 強で約 80%、長野県・新潟県県境付近の地震では 5 強で約 8%、6 弱で 38%、6 強で 95%、

静岡県東部の地震では 5 強で 0%, 6 強で約 50%と明らかに増加している。

全体的に東北地方太平洋沖地震の回答は、他 2 つの地震と比較して同じ震度でも、より高震度側に対応する選択肢が選択されている傾向がある。ただし、長野県・新潟県県境付近の地震の震度 6 強については例外で、1 地点の観測で震度 7 に近い震度 6 強であったこともあり高震度側の選択率が高かった。

また、東北地方太平洋沖地震と他 2 つの地震との比較で最も回答状況の差が大きかったのは設問 18 (Fig. 8), 32 (Fig. 10), 32-1 (Fig. 11) の 3 つであった。設問 18 は揺れの長さに関する質問であるが、東北地方太平洋沖地震では「非常に長かった」、「いつ終わるとも知れなかった」の 2 つの選択肢で 60~90%程度を占めるのに対し、他 2 つの地震では 10~50%程度と大きく異なっている。また、地震による停電等の被害について問う設問 32 では、東北地方太平洋沖地震では震度 5 強の地域でも「かなり長時間にわたった」がほぼ 50%であるのに対し、他 2 つの地震ではより小さい。液状化に関する設問 32-1 では、東北地方太平洋沖地震では 5 強で「わずかにあった」以上の回答で約 34%, 6 弱で約 60%を占めているの

に対し、他 2 つの地震では「全然なかった」の回答が非常に多い。東北地方太平洋沖地震では、その主な破壊継続時間は約 160 秒にも及んだ(気象庁, 2012)。そのため東北地方太平洋沖地震では他 2 つの地震よりも極めて長い時間強震が継続したことになる。観測された震度が大きいことに加え、震動の継続時間が長かったことにより建造物・ライフラインなど、より大きな影響があったと考えることができる。このことが東北地方太平洋沖地震と他 2 つの地震の回答の差に反映されていると思われる。液状化についても同様のことが言えるであろう。

東北地方太平洋沖地震の震度 7 と長野県・新潟県県境付近の地震の震度 6 強の回答状況を比較すると、長野県・新潟県県境付近の地震の回答のほうがより高震度側の選択肢の選択率が大きい傾向がある。客観的に選択率だけを見ると、観測された震度が小さい長野県・新潟県県境付近の地震での被害が大きい結果となっている。しかし、どちらも 1 地点のみの調査結果であり、被害状況を比較するにはサンプル数が十分ではない。

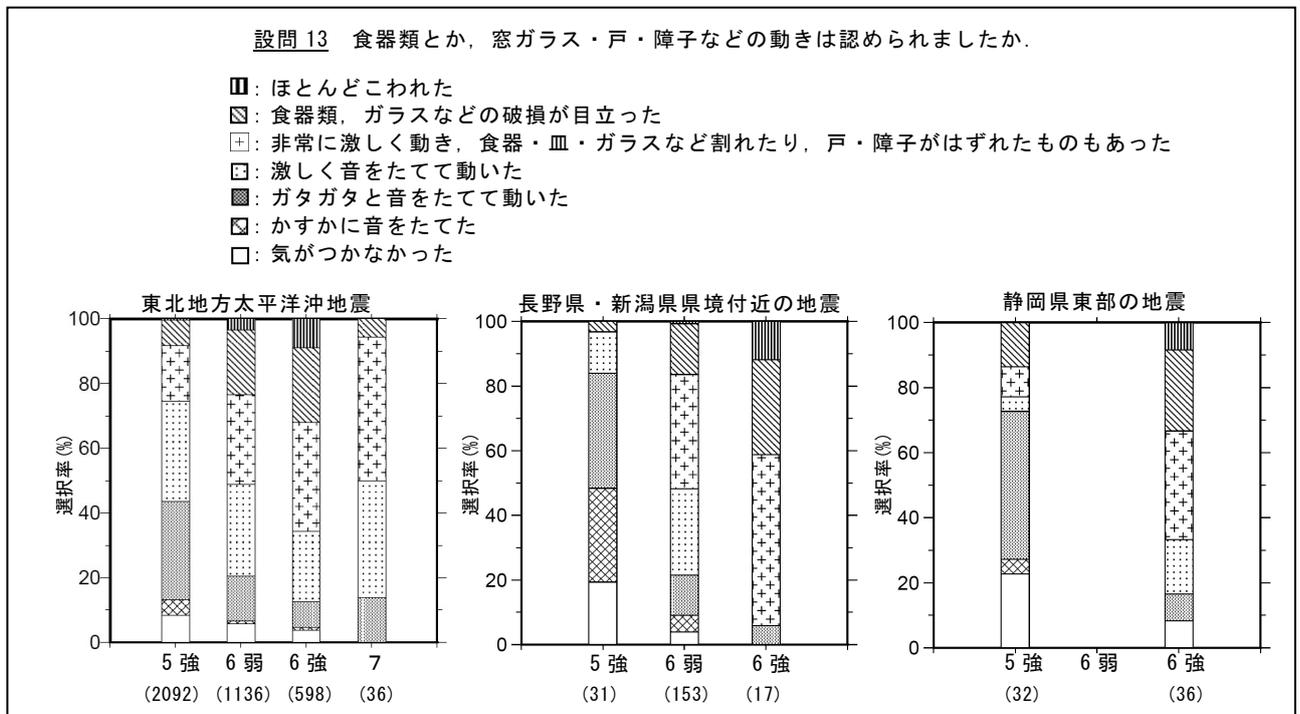


Fig. 2 Selectivity chart of responses to Q13 according to seismic intensity. Numbers in parentheses indicate sample amounts.

Left: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake
 Middle: The near Nagano-Niigata border earthquake
 Right: The eastern Shizuoka prefecture earthquake

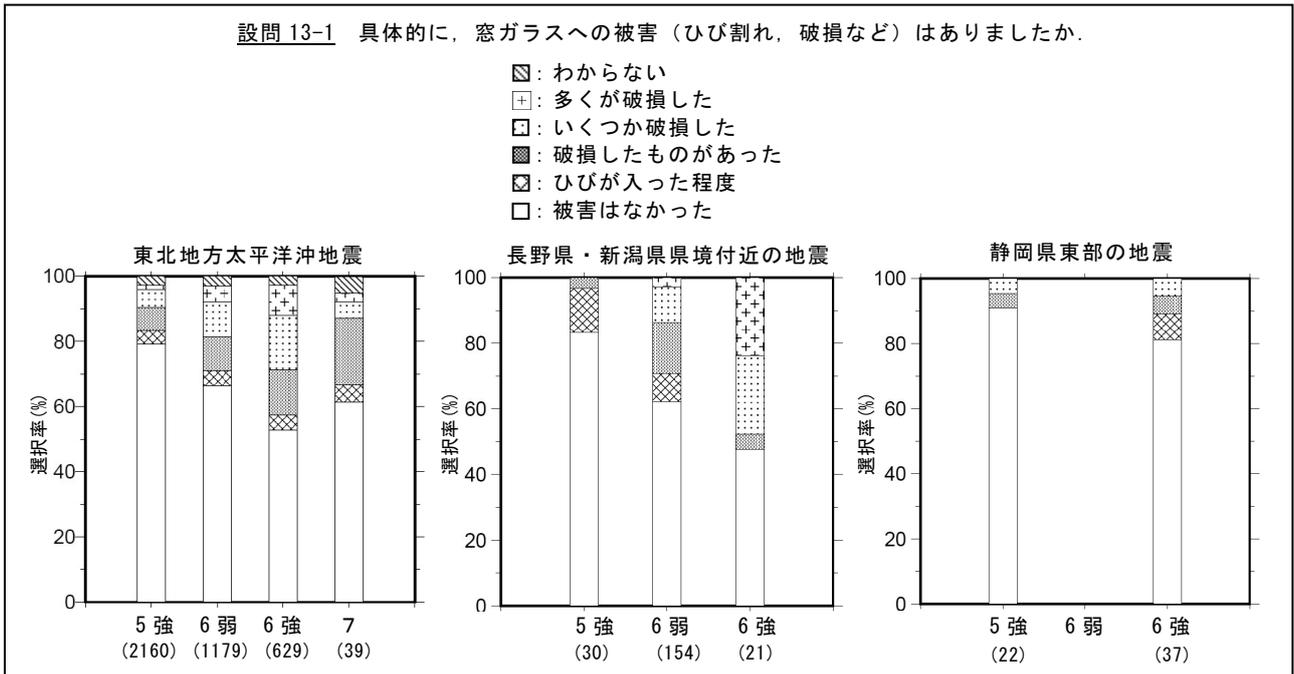


Fig. 3 For Q13-1.

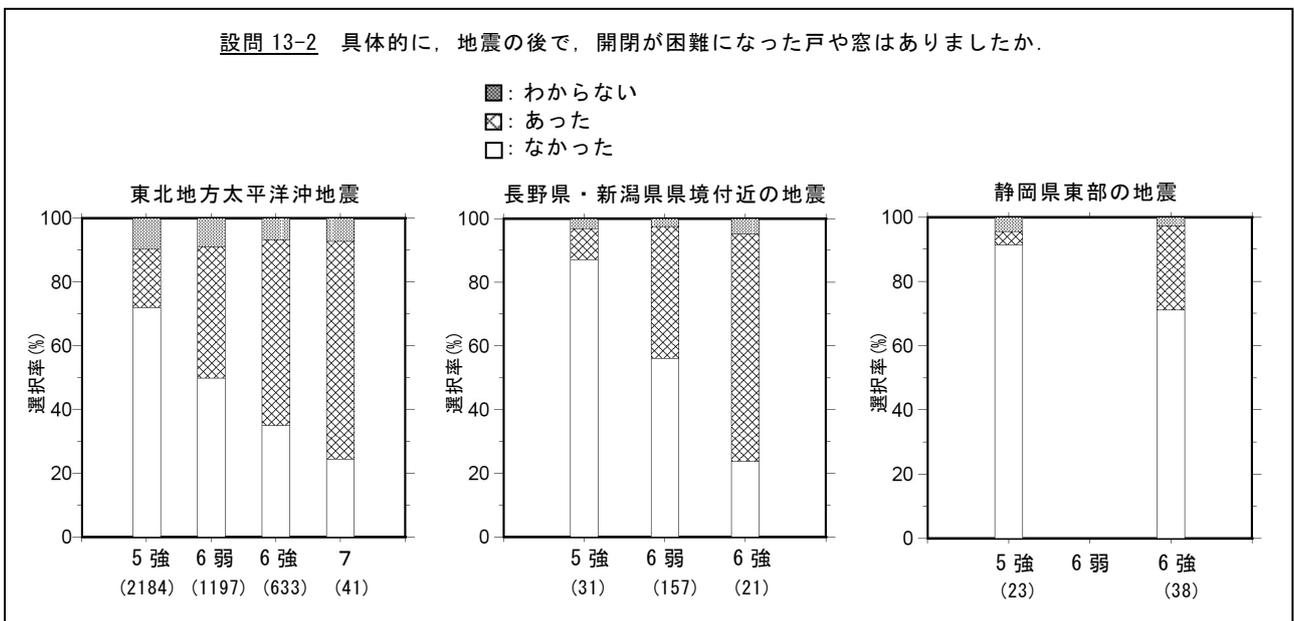


Fig. 4 For Q13-2.

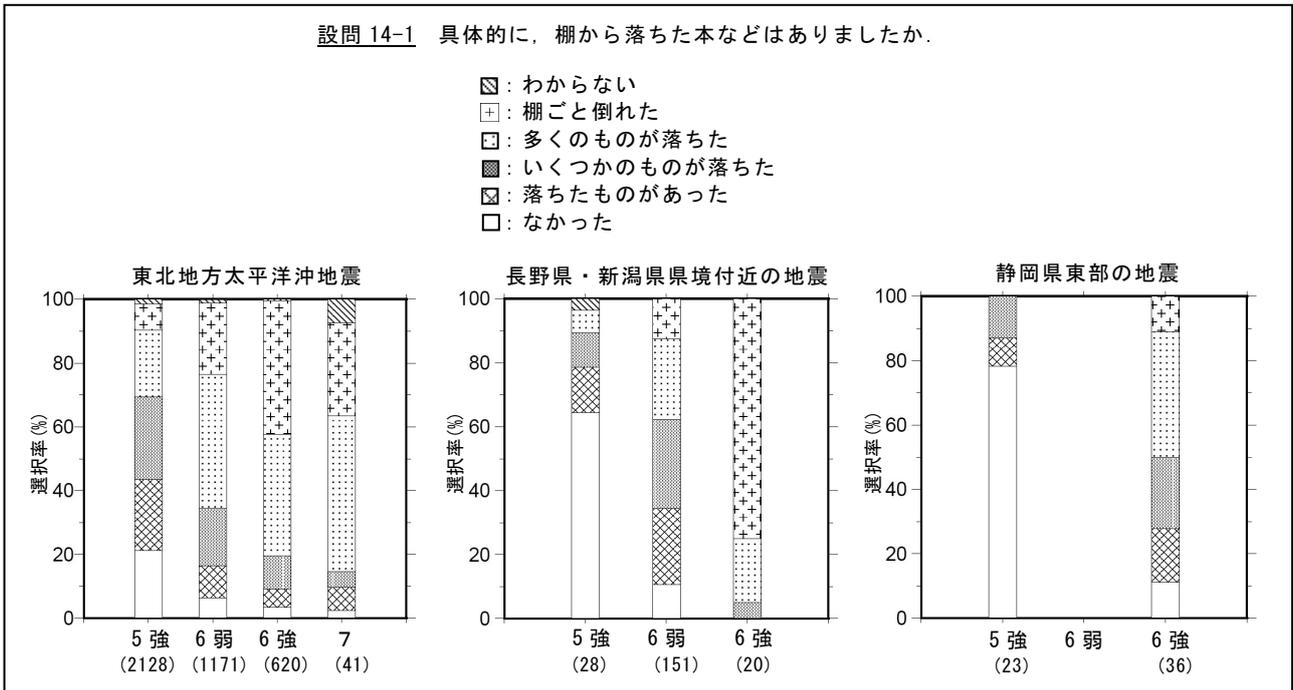


Fig. 5 For Q14-1.

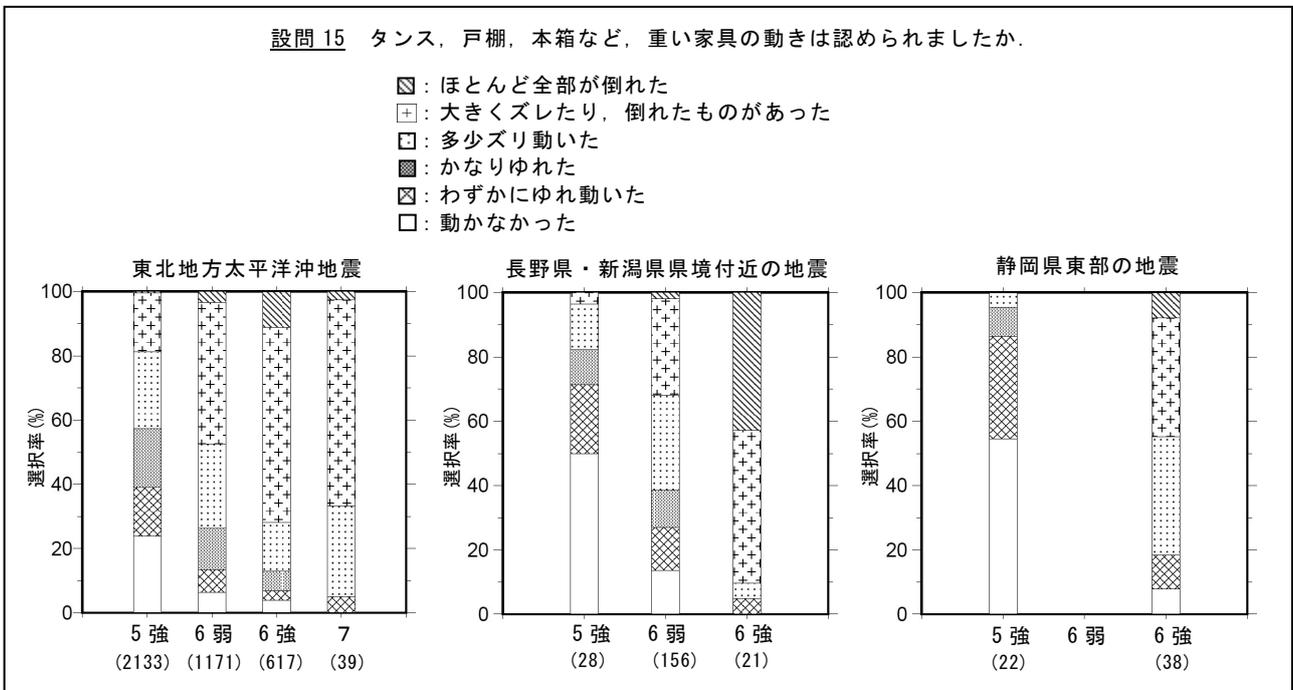


Fig. 6 For Q15.

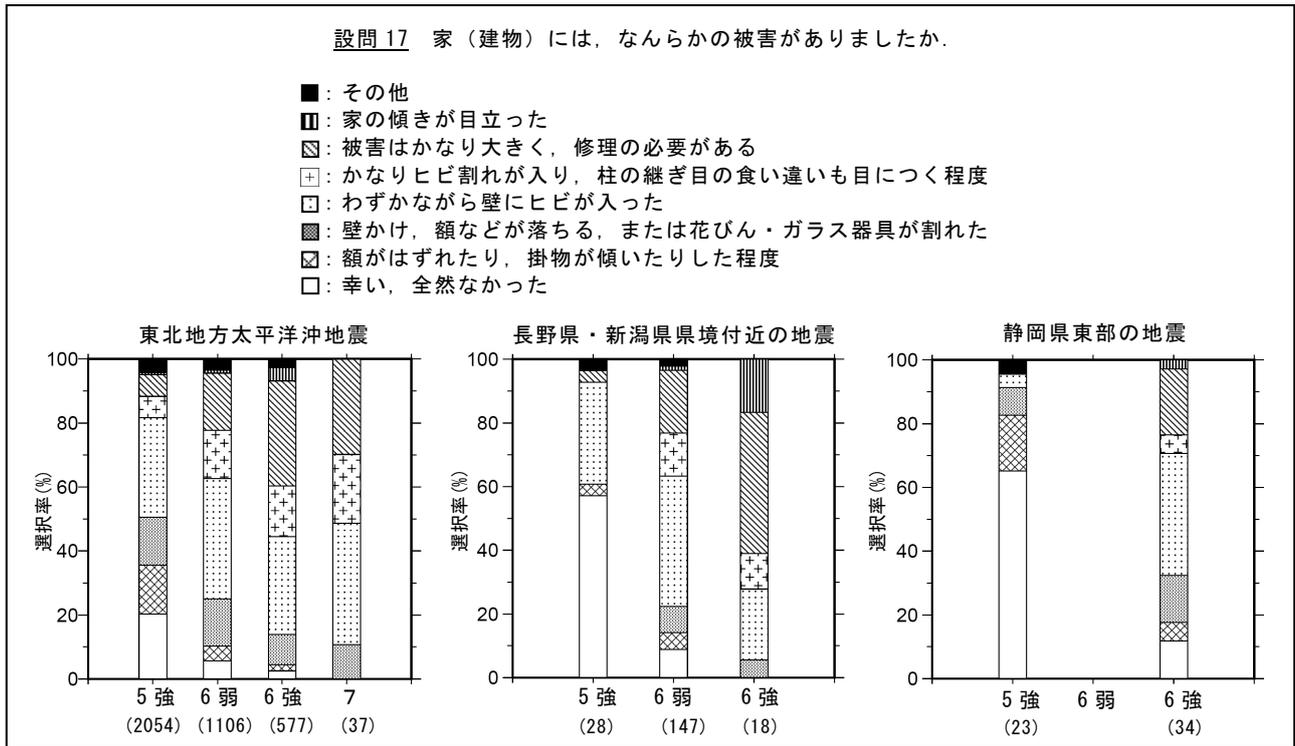


Fig. 7 For Q17.

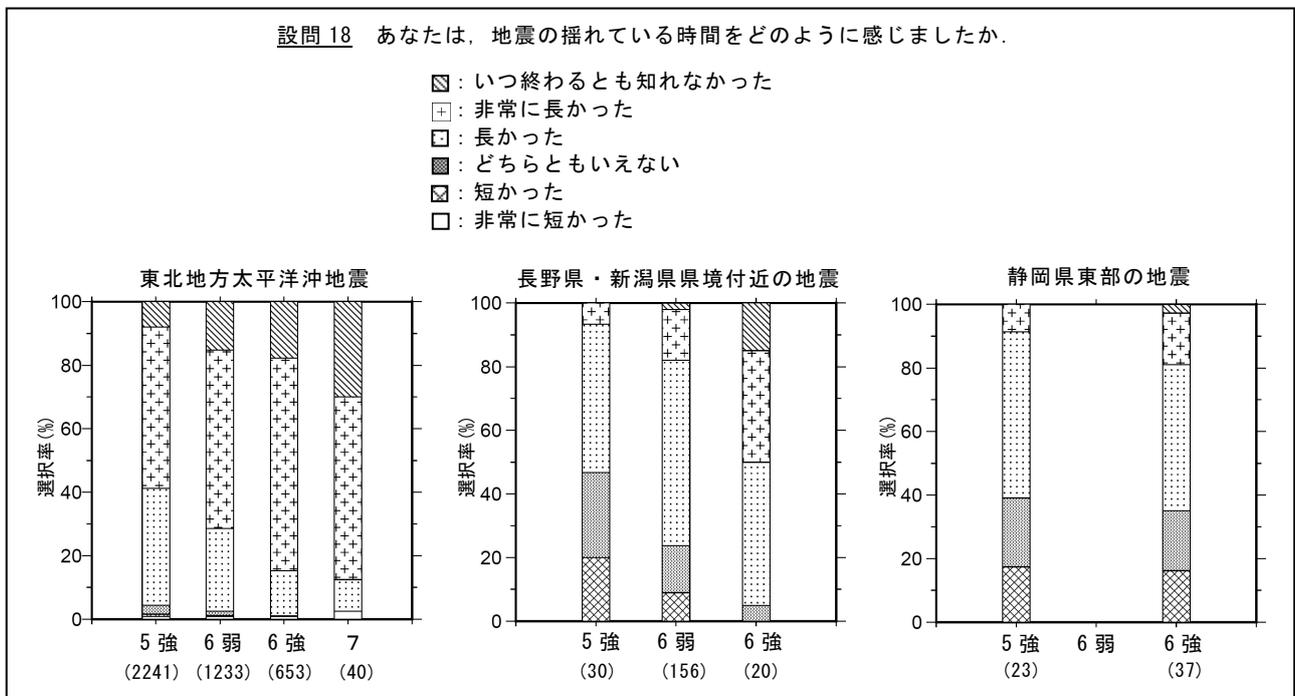


Fig. 8 For Q18.

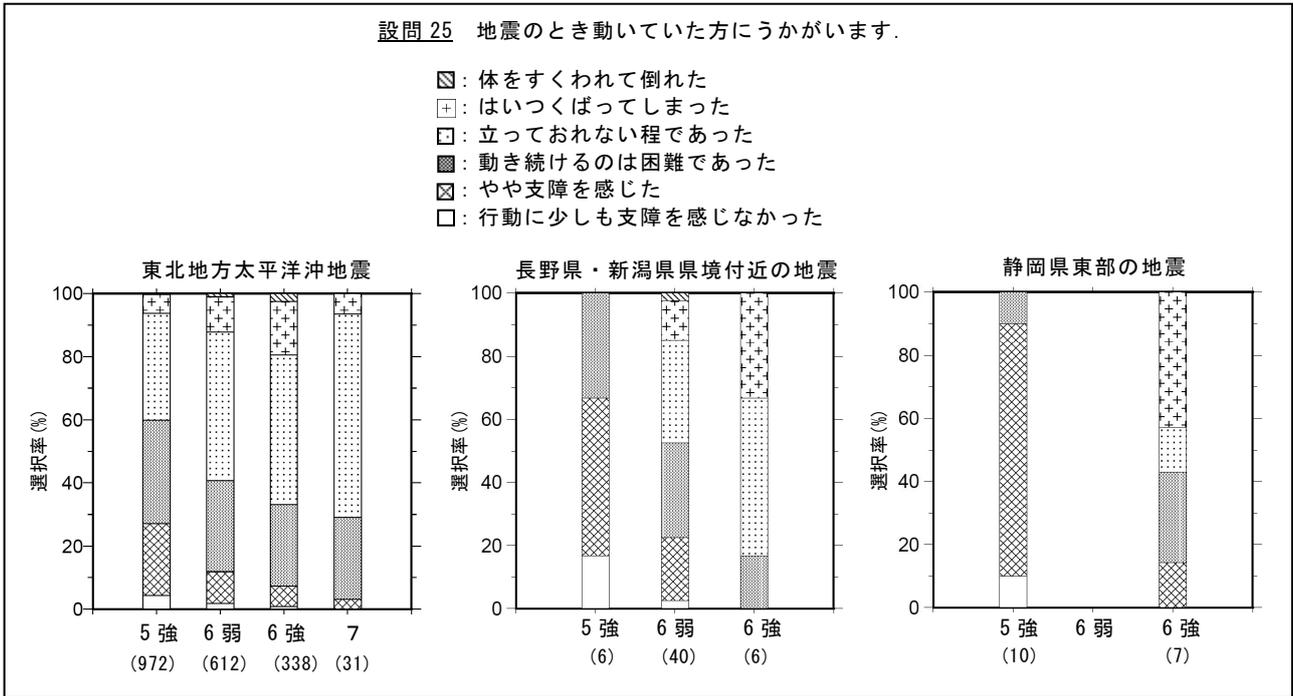


Fig. 9 For Q25.

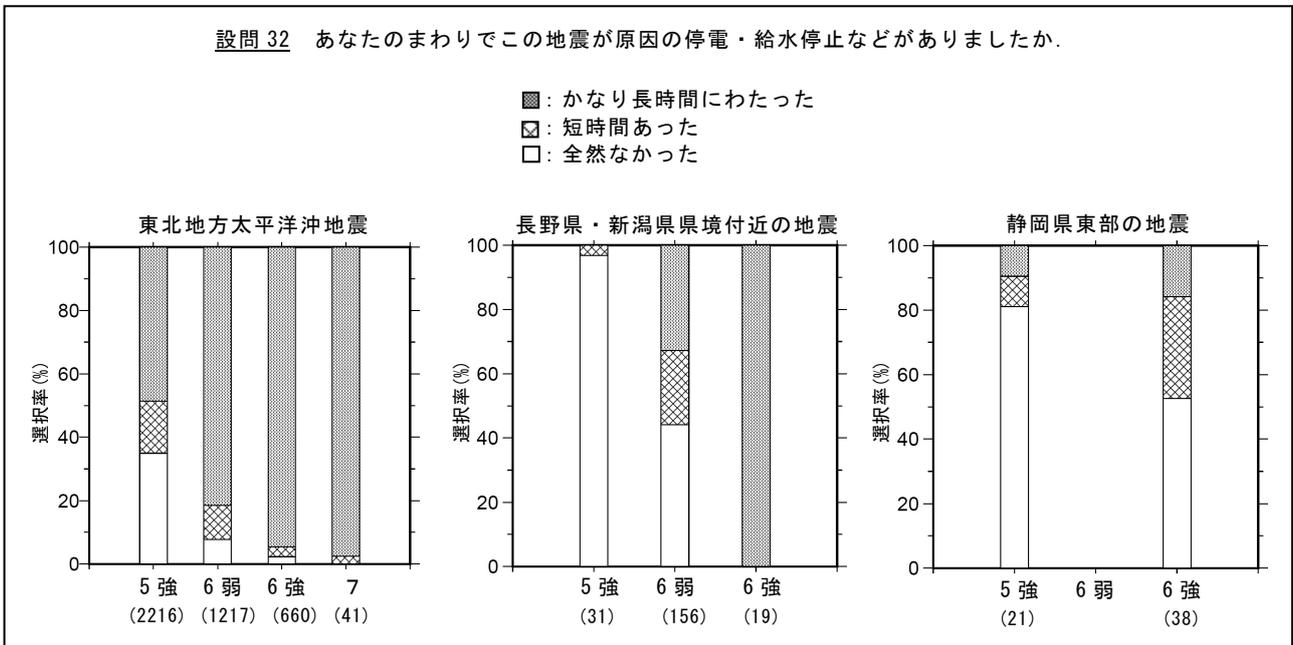


Fig. 10 For Q32.

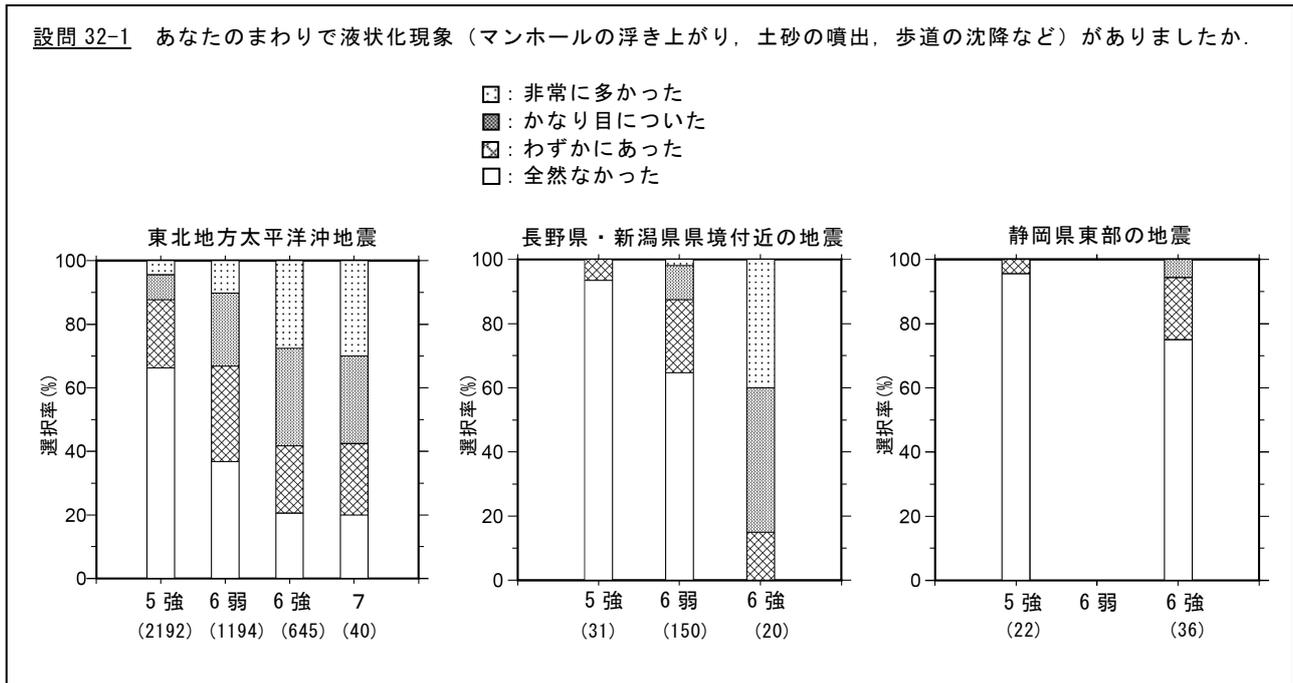


Fig. 11 For Q32-1.

7 解説表の点検

調査票の設問のうち、解説表に関連する設問の回答状況が震度 5 強～6 強の解説表の表現と一致しているかどうかについて点検をおこなった。震度 7 については、観測されたのは 1 地点のみであったため、今回は点検対象とはしなかった。なお、解説表の点検を実施する上で、5 弱での揺れの状況との比較が必要な項目（「食器類の落下・破損」、「本などの落下」の 2 項目、Table 2 参照）があるが、今回の調査は震度 5 強以上を観測した地点のみで実施しているため、それらの項目においては十分な点検を実施できない。そのため、この 2 項目については調査結果を述べるにとどめた。

Table 2 Terms and meanings from the JMA seismic intensity scale description table

用語	意味
まれに	極めて少ない。めったにない。
わずかに	数量・程度が非常に少ない。ほんの少し。
大半	半分以上。ほとんどよりは少ない。
ほとんど	全部ではないが、全部に近い。
が(も)ある、 が(も)いる	当該震度階級に特徴的に現れ始めることを表し、量的には多くはないがその数量・程度の概数を表現できかねる場合に使用。
多くなる	量的に表現できかねるが、下位の階級より多くなることを表す。
さらに多くなる	上記の「多くなる」と同じ意味。下位の階級で上記の「多くなる」が使われている場合に使用。

解説表に関連する設問の選択率の状況から、解説表の表現が妥当であるかどうかの検証をおこなった。解説表では、被害などの量を概数で表せない場合に、一応の目安として Table 2 に示す副詞・形容詞が用いられている。これらの表現に注目し、各震度間での選択率の関係から判断する。

3 つの地震すべての有効回答から作成した選択率のグラフを Fig. 12～19 に示す。震度 7 の地点の選択率も参考値として載せた。これらの選択率から解説表の内容を点検した結果を Table 3 に示す。今回点検を行ったのは、窓ガラスの被害 (Fig. 12, 設問 13-1)、ドアの開閉困難 (Fig. 13, 設問 13-2)、家具の動き (Fig. 14, Fig. 15, 設問 15)、屋根瓦の落下 (Fig. 16, 設問 17-1)、人の体感・行動 (Fig. 17, 設問 25) の 5 項目であり、食器類の落下・破損 (Fig. 18, 設問 13)、本などの落下 (Fig. 19, 設問 14-1) については参考までに調査結果について掲載した。

以下、各点検項目の検証結果について述べる。

「窓ガラスの被害」についてであるが、解説表では窓ガラスの状態について震度 5 強から 6 強にかけて「割れて落ちることがある」、「破損、落下することがある」、「破損、落下する建物が多くなる」と表現されている。そこで、設問 13-1 の選択肢のうち「破損したものがあつた」以上の回答の選択肢の選択率

から検証する (Fig. 12). 5 強では 13.5%, 6 弱で 26.1%, 6 強で 38.7%となっている. 5 強の 13.5%は「落ちることがある」という表現に対して妥当であるかやや判断の難しいところである. 6 弱との比較で見た場合 10%以上の差があることから, 上位階級との差は明瞭であるが, 妥当性については今後のデータが集まった段階で 5 弱のデータとの比較も含め判断したい. 6 弱, 6 強については震度階級が 1 上がることに 10%以上増加しており, 解説表の表現は妥当であるといえる.

「ドアの開閉困難」について, 解説表では震度 6 弱で「ドアが開かなくなることがある」と表現されている. 設問 13-2 の選択肢のうち開閉が困難になった戸や窓が「あった」の選択率から検証をおこなう (Fig. 13). ただし, 設問 13-2 の回答には「窓の開閉困難」も含まれていると考えられるため注意を要する. 「あった」の選択率は震度 5 強で 18.2%, 6 弱で 41.3%, 6 強で 57.0%と 5 強から 6 弱での増加が顕著である. 5 強でも 20%弱は「あった」と回答しており, 実際にはドアの開閉が困難になった例が多数あることになるが, 6 弱では 5 強からさらに 20%以上増加しており 6 弱から「開閉困難」が顕著になることが分かる.

「家具の動き」についてであるが, 解説表では, 震度 5 強で「固定していない家具が倒れることがある」, 6 弱で「固定していない家具の大半が移動し, 倒れるものもある」, 6 強で「固定していない家具のほとんどが移動し, 倒れるものが多くなる」と表現されている. 重い家具の動きについて問う設問 15 の選択肢のうち「ほとんど全部が倒れた」および「大きくズレたり, 倒れたものがあった」の 2 つの選択率から「家具が倒れる」表現について (Fig. 14), 「多少ズリ動いた」, 「大きくズレたり, 倒れたものがあった」および「ほとんど全部が倒れた」の 3 つの選択率から「家具の移動」について (Fig. 15) 検証する.

まず, 「家具が倒れる」についてであるが, 選択率は震度 5 強で 18.4%, 6 弱で 45.7%, 6 強で 70.9%である. 5 強での 18.4%が「倒れることがある」という表現に対して妥当であるかの判断は難しいところであるが, 上位階級との差はいずれも 25%以上あり, 震度が大きくなるほど家具の被害が顕著になっている. ただし, 回答には「家具のズレ」も含まれてい

ることには注意が必要である. 5 強の「倒れることがある」と 6 弱の「倒れるものもある」という表現は直接の比較は難しいところであるが, 6 弱では 45.7%と 5 強より 25%以上多く, 6 弱の表現の妥当性を示していると考ええる. 6 弱と 6 強を比較すると, 6 強では 6 弱より約 25%多い選択率となっており, 「倒れるものもある」と「倒れるものが多くなる」の表現の妥当性を示している.

次に, 「家具の移動」についてであるが, 選択率は 6 弱で 72.4%, 6 強で 86.9%である. 6 弱では「大半が移動」と表現されており妥当であると考ええる. 6 強では 6 弱より 14%以上選択率は増加し約 87%を占めており, 解説表の「ほとんどが」という表現の許容範囲であると考ええる.

「屋根瓦の落下」については, 設問 17-1 の「落下したものがあった」, 「いくつか落下した」, 「多くが落下した」の 3 つの選択肢の選択率から検証する (Fig. 16). 解説表では震度 6 弱で「瓦が落下することがある」と表現されている. 選択率は震度 5 強で 15.3%, 6 弱で 32.7%, 6 強で 43.5%である. 5 強でも約 15%の選択率であり落下した例もあったようであるが, 6 弱の選択率は約 30%とほぼ倍増しており, 6 強から事例が顕著に増えることが分かる. 以上より, 解説表の表現は概ね妥当であると言える.

「人の体感・行動」については, 設問 25 の回答から検証する (Fig. 17). 解説表では, 震度 5 強で「大半の人が, 物につかまらなると歩くことが難しいなど, 行動に支障を感じる」, 6 弱で「立っていることが困難になる」, 6 強および 7 で「はわなないと動くことができない. 揺れにほんろうされ動くこともできず, 飛ばされることもある」と表現されている. 設問 25 では選択肢のうち, 「やや支障を感じた」および「動き続けるのは困難であった」が震度 5 強, 「立っておれない程であった」が震度 6 弱, 「はいつくばってしまった」および「体をすくわれて倒れた」が震度 6 強に概ね対応することから, これらの選択率を用いる. 震度 5 強に対応する選択肢の選択率は 5 強で 55.6%, 6 弱で 39.0%, 6 強で 32.2%である. 6 弱, 6 強でも 30%を超えて比較的大きな選択率となっているが, 5 強で 50%以上を超えていることから「大半の人が」という表現に一致し, 妥当であると考えられる. ただし, 6 弱・6 強の選択率も大きいことについては今後のデータの蓄積を待ち, 検証が必

要であろう。6 弱に対応する選択肢の選択率は 5 強で 33.8%、6 弱で 47.0%、6 強で 47.4%となっている。この場合、6 弱と 6 強で選択率に差がない他、5 強の選択率も大きく、この結果から妥当と判断することは難しい。また、6 強に対応する選択肢の選択率は、5 強で 6.3%、6 弱で 12.2%、6 強で 19.6%である。6 強で最大値をとってはいるが、6 弱との差は小さいこと、5 強でも約 6%あることから、妥当とは言い切れないと考える。先にも述べたように、東北地方太平洋沖地震では強震が長時間継続したことから、1 階級もしくは 2 階級上の揺れに感じた可能性もある。このことが各震度間の選択率の差が小さい原因の一つとなっているかもしれない。「人の体感・行動」に関する表現については、今後の調査結果を踏まえて再度評価することとしたい。

以下に前述した下位の震度階級との比較が必要となる 2 項目の結果について述べる。

「食器類の落下・破損」について、解説表では震

度 5 強で「棚にある食器類で落ちるものが多くなる」とあり、これは下位の震度階級（5 弱）と比較して「多くなる」ということを意味しているため、十分な検証をおこなうことはできない。Fig. 18 における 5 強での「食器類、ガラスなどの破損が目立った」、「ほとんどこわれた」の 2 つの選択肢の選択率の合計をみると約 25%であり、回答者の 4 分の 1 で何らかの破損があったことになる。

「本などの落下」についてであるが、解説表では震度 5 強で「書棚の本で、落ちるものが多くなる」と表現されている。これも下位の震度階級の表現「書棚の本が落ちることがある」との比較であるため、「食器類の落下・破損」の場合と同様に調査結果についてのみ述べる。棚から落ちた本について問う設問 14-1 の回答をみる (Fig. 19)。選択肢のうち「いくつかのものが落ちた」、「多くのものが落ちた」および「棚ごと倒れた」の選択率は、5 強で 54.4%、6 弱で 80.5%、6 強で 89.8%となっている。

Table 3 Results checked on the JMA seismic intensity scale description table by the questionnaire survey. The items in the list correspond to Figs. 12-19.

事象等	解説表の記載内容	点検結果
窓ガラスの被害	震度5強：窓ガラスが割れて落ちることがある 震度6弱：窓ガラスが破損、落下することがある 震度6強：窓ガラスが破損、落下する建物が多くなる	設問13-1の選択肢のうち、「破損したものがあつた」以上の回答の選択肢の選択率から検証。5強では13.5%、6弱で26.1%、6強で38.7%と、震度階級が1上がるごとに10%以上増加しており、概ね妥当である。
ドアの開閉困難	震度6弱：ドアが開かなくなることがある	設問13-2の選択肢のうち、開閉が困難になった戸や窓が「あつた」の選択率から検証。「あつた」の選択率は5強で18.2%、6弱で41.3%、6強で57.0%であり、5強から6弱にかけての増加が顕著であり、概ね妥当である。
家具の動き	震度5強：固定していない家具が倒れることがある 震度6弱：固定していない家具の大半が移動し、倒れるものもある 震度6強：固定していない家具のほとんどが移動し、倒れるものが増える	設問15のうち、「ほとんど全部が倒れた」および「大きくズレたり、倒れたものがあつた」の選択率から「家具が倒れる」表現について、「多少ズリ動いた」、「大きくズレたり、倒れたものがあつた」および「ほとんど全部が倒れた」の3つの選択率から「家具の移動」について検証。 「家具が倒れる」について、選択率は5強で18.4%、6弱で45.7%、6強で70.9%。5強での18.4%が「倒れることがある」という表現に対して妥当であるか判断は難しい。6弱では45.7%と5強より25%以上多い。6弱と6強を比較すると、6強では6弱より25%多い選択率となっており、「倒れるものもある」と「倒れるものが増える」の表現は概ね妥当である。「家具の移動」については、選択率は6弱で72.4%、6強で86.9%。6弱では「大半が移動」と表現されており妥当。6強では6弱より14%以上の増加で約87%を閉めており、「ほとんどが」という表現の許容範囲と考える。
屋根瓦の落下	震度6弱：瓦が落下することがある	設問17-1の「落下したものがあつた」、「いくつか落下した」および「多くが落下した」の3つの選択率から検証。選択率は5強で15.3%、6弱で32.7%、6強で43.5%。5強から6弱にかけて選択率はほぼ倍増。6強から事例が顕著に増えていることから、概ね妥当である。
人の体感・行動	震度5強：大半の人が、物につかまらなさと歩くことが難しいなど、行動に支障を感じる 震度6弱：立っていることが困難になる 震度6強：立っていることができず、はわないと動くことができない。揺れにほんろうされ、動く事もできず、飛ばされることもある。	設問25のうちそれぞれの震度に対応すると考えられる選択肢の選択率から検証。震度5強に対応する選択率の選択率は5強で55.6%、6弱で39.0%、6強で32.2%であり、5強での選択率が半分以上を占めており妥当。ただし、6弱と6強の選択率も大きいことから今後も検証必要。6弱に対応する選択率は5強で33.8%、6弱で47.0%、6強で47.4%で、6弱と6強で差が小さく、又、5強でも30%を超えていることから妥当性を判断するのは難しい。6強に対応する選択率は5強で6.3%、6弱で12.2%、6強で19.6%と6強で最大値を取ってはいるが、6弱との差が小さい上に、5強でも約6%や大きいいため、妥当性の判断は難しい。
*食器類の落下・破損	震度5強：棚にある食器類で、落ちるものが増える	(震度5弱との比較が必要のため検証は未実施)
*本などの落下	震度5強：書棚の本で、落ちるものが増える	

※震度 5 弱のデータがないため検証は実施していない。

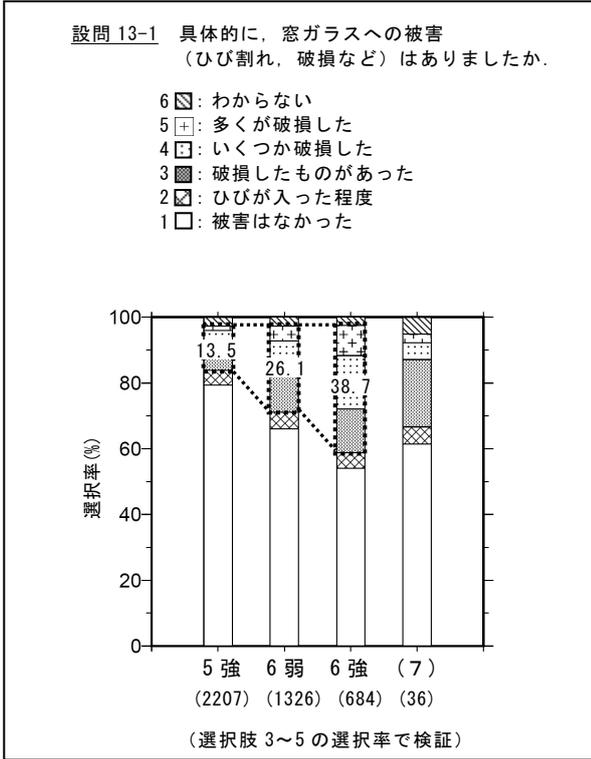


Fig. 12 Selectivity chart of responses to Q13-1 according to seismic intensity. Intensity 7 is shown as a reference. Numbers in parentheses indicate sample amounts.

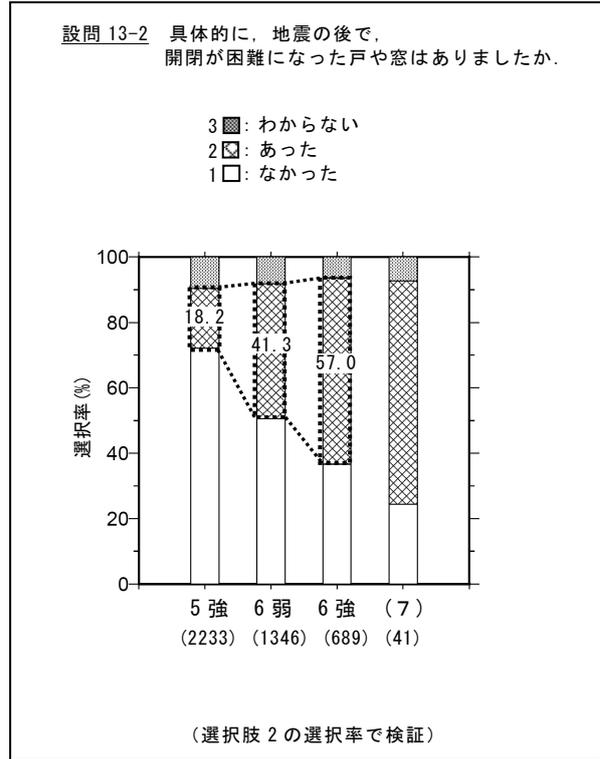


Fig. 13 For Q13-2.

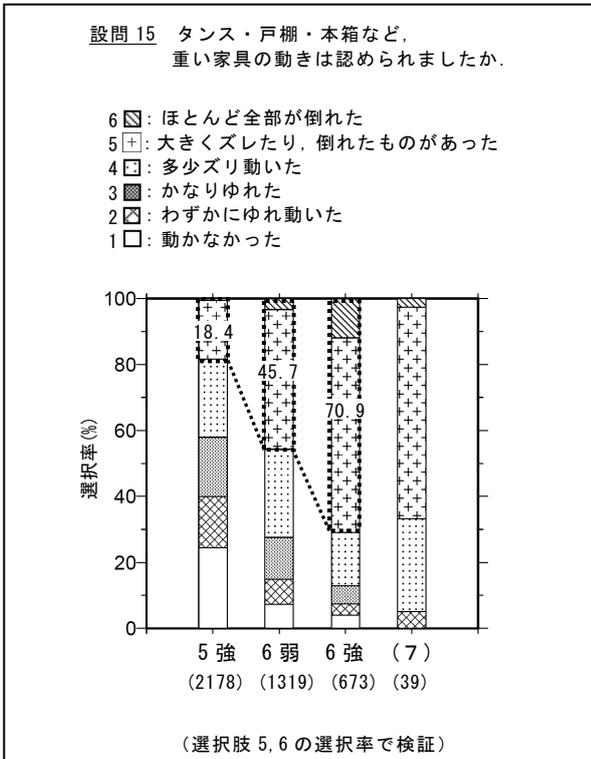


Fig. 14 For Q15.

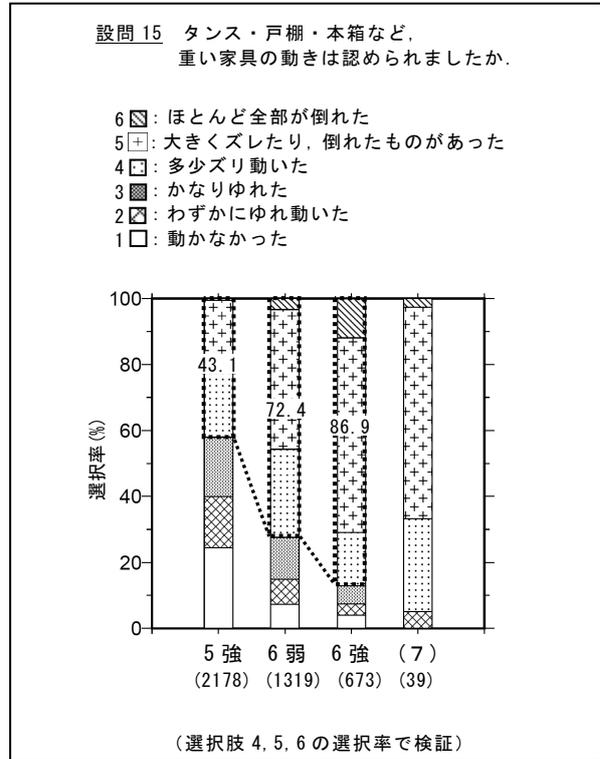


Fig. 15 For Q15.

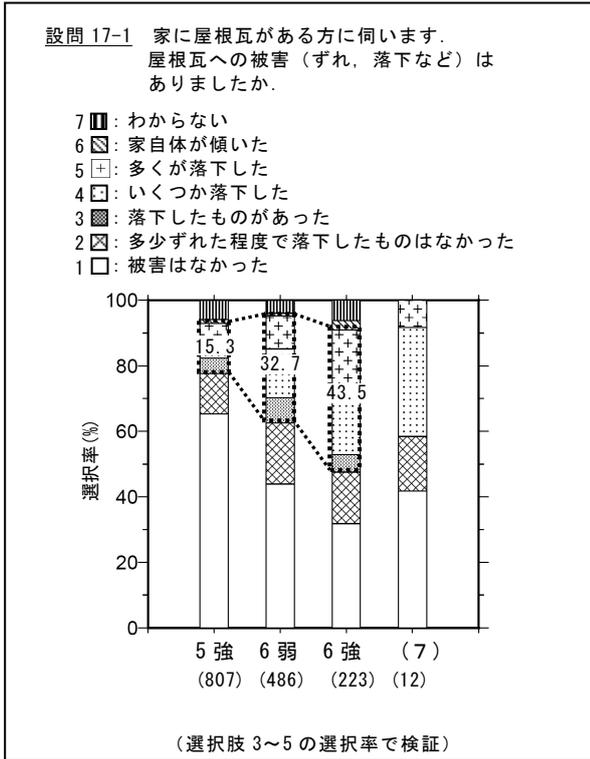


Fig. 16 For Q17-1.

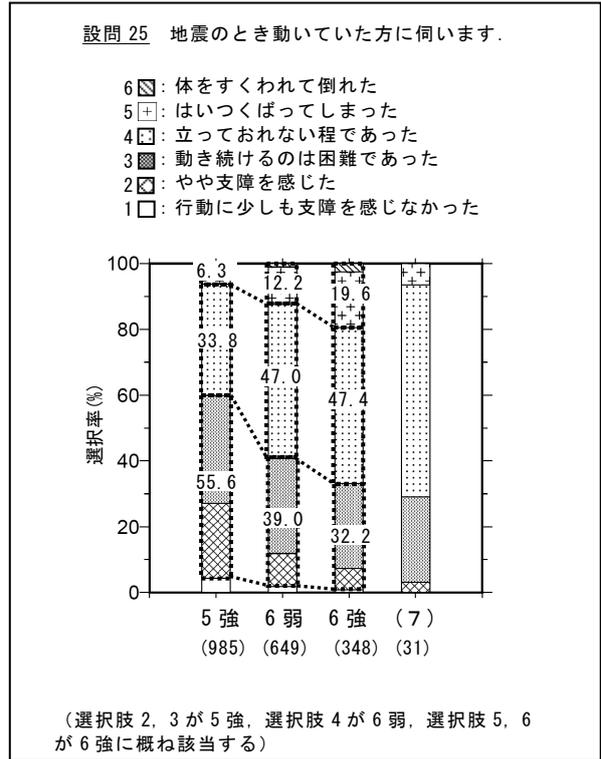


Fig. 17 For Q25.

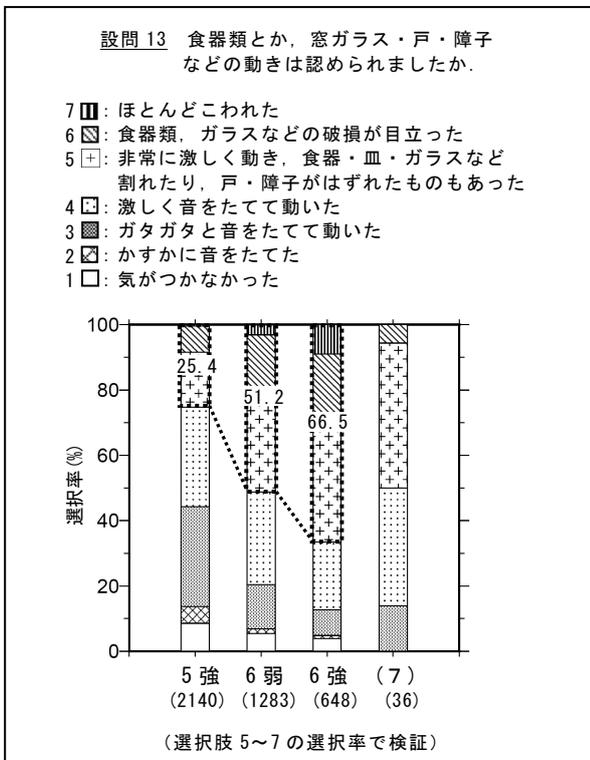


Fig. 18 For Q13.

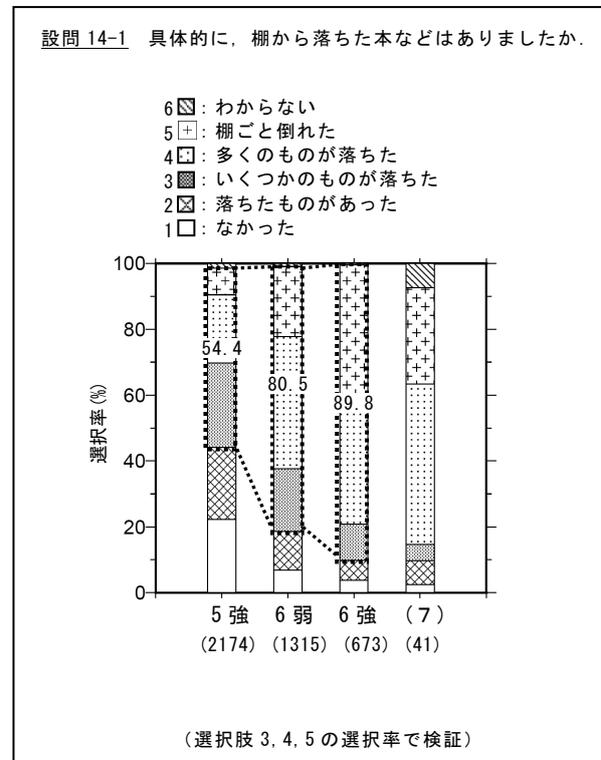


Fig. 19 For Q14-1.

8 アンケート震度

太田・他 (1979) では、回収された調査票 1 枚につき 1 つの震度が算出され、近接地点のものを集計して平均することで当該地点の代表震度とされる。このようにして算出された震度は過去の調査から求められた経験式により気象庁震度に対応する震度に変換される。なお、得られた震度が 4.5 以上の場合には高震度領域に対応した太田・他 (1998) による方法で震度を再計算する。変換された震度をここでは「アンケート震度」と呼ぶことにする。なお、アンケート震度は有効回答を 10 通以上確保できた地点のみについて求めた。

今回調査対象とした 3 地震における各調査地点のアンケート震度と計測震度を比較したものを Fig. 20 に示す。東北地方太平洋沖地震のアンケート震度と計測震度の差は概ね ± 0.5 程度でありよく一致している。長野県・新潟県県境付近の地震では 6 点のうち 3 点は ± 0.5 以内であるが、残り 3 点は 0.5 以上アンケート震度の方が小さい。静岡県東部の地震では、すべての地点でアンケート震度の方が小さく、4 点中の 2 点は 1.0 以上の差がある。

東北地方太平洋沖地震で震度 7 (計測震度 : 6.6) を観測した「栗原市築館」のアンケート震度は 6.0, 長野県・新潟県県境付近の地震で震度 6 強 (計測震度 : 6.4) を観測した「栄村北信」のアンケート震度は 6.5 であった。

次に、過去の調査結果との比較をおこなった。太田・他 (1979) の方法によりアンケート震度を求めた調査例は多数あるが、中には計算過程に独自の工夫を行った研究例等もある。今回の結果は太田・他 (1979) および太田・他 (1998) の手法に従っていることから、比較例としては太田・他 (1979) および太田・他 (1998) の手法に準拠しているもののみを選んだ。今回、比較のために選んだ例は、太田・他 (1998) による兵庫県南部地震、森・圓井 (2001) による鳥取県西部地震、源栄 (2004) による宮城県北部の地震、新原 (2012) による駿河湾の地震の 4 例である (Fig. 21)。これを見ると、全体的に計測震度よりもアンケート震度のほうが小さい傾向にあることが分かる。駿河湾の地震の例のように震度差が 1 程度ある場合もある。長野県・新潟県県境付近の地震と静岡県東部の地震の結果は過去の事例と同様の傾向を示しているが、東北地方太平洋沖地震の結

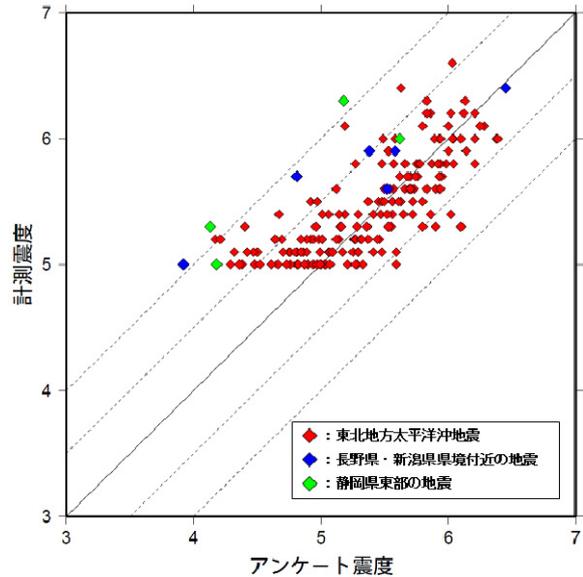


Fig. 20 Relationship between seismic intensity obtained from this study's questionnaire survey and observed instrumental seismic intensity.

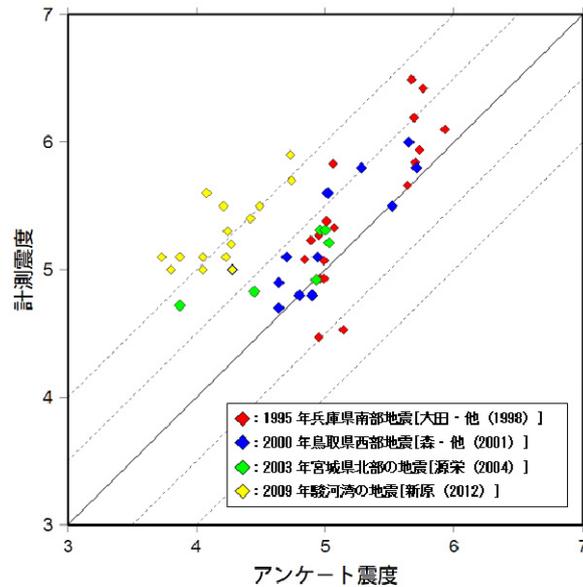


Fig. 21 Relationship between seismic intensity obtained from questionnaire survey in past studies and observed instrumental seismic intensity.

果はアンケート震度のほうが大きく求められたものも多いのが特徴的である。このことは 6 節で述べた、東北地方太平洋沖地震の回答結果は他 2 つの地震と比較してより高震度側の選択肢の選択率が大きかったことが反映されていると考えられる。このことは、6 節でも述べたように、東北地方太平洋沖地震では他 2 つの地震と比べて揺れの継続時間が非常に長か

ったことが大きな原因の一つとなっていると考える。

9 まとめ

東北地方太平洋沖地震、長野県・新潟県県境付近の地震および静岡県東部の地震を対象として地震の揺れに関するアンケート調査を実施した。

観測された震度ごとの回答状況を調べたところ、震度が大きいほど高震度に対応する選択肢の選択率が大きくなる傾向が見られた他、東北地方太平洋沖地震の回答は他 2 つの地震と比較してより高震度側の選択率が大きい傾向があった。

回収された調査票の設問のうち解説表に関連する設問の回答状況から、解説表で表現されている震度と被害状況の関係が現状に合致しているかどうかの検証を行ったところ、概ね一致していることを確認した。ただし、「人の体感・行動」に関する表現については一部妥当性を確認するまでに至らなかった。この表現についての妥当性の判断は今後の調査結果も踏まえて再度確認する必要がある。

また、調査対象とした 3 地震の調査票から各調査地点のアンケート震度と計測震度の比較をおこなったところ、東北地方太平洋沖地震のアンケート震度と計測震度の震度差は概ね±0.5 以内であった。これは、過去に実施された調査結果と比較してもよく一致している。

今回、東北地方太平洋沖地震で震度 5 強以上が観測された地点数が非常に多かったこともあり、調査対象を震度 5 強以上の地点とした。しかし、解説表では、震度 5 弱から震度 5 強にかけてどの程度被害が多くなるかを示す記述もあることから、震度 5 弱についても調査を実施することが必要である。また、設問によっては解説表を点検するにあたって、正確な評価が難しい設問もある（例えば、設問 13-2 の「戸や窓」の表現。この場合、「戸」と「窓」は分けて取り扱う必要がある。）。このため、今後は調査票の設問についても、より解説表の点検に資するものに改善していく必要があるであろう。

気象庁では、今後も顕著な被害地震が発生した場合には今回と同様の揺れに関するアンケート調査を実施し、震度と被害の関係についてデータを蓄積するとともに解説表の点検を継続的に実施していく。

謝辞

本調査を実施するにあたり、東京工業大学大学院総合理工学研究科の翠川三郎教授、京都大学大学院工学研究科の小山真紀特定准教授には調査手法についてご指導いただいた。また、東北大学大学院工学研究科の源栄正人教授および岩手大学工学部の山本英和准教授には宮城県および岩手県での調査実施にあたりご協力いただいた。東京管区気象台、仙台管区気象台および両管内地方気象台担当者には自治体等との事前調整にご尽力いただいた。仙台管区気象台の武田清史氏（現、気象庁地震火山部）、和賀栄記氏（現、山形地方気象台）、松浦茂郎氏には宮城県栗原市および大崎市での調査票配布にご協力いただいた。地震津波監視課の菊田晴之氏（現、名古屋地方気象台）と匿名査読者には、査読者として本稿改善に有益なご助言をいただいた。

ここに記して感謝の意を表します。

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.
- 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**, No. 4, 307-323.
- 気象庁 (2012): 気象庁技術報告第 133 号「平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震調査報告 第 I 編」, 354pp.
- 気象庁・消防庁 (2009): 震度に関する検討会報告書, 133pp.
- 新原俊樹 (2012): 2009 年 8 月 11 日の駿河湾の地震における震度に関するアンケート調査について, 験震時報, **75**, 1-12.
- 源栄正人 (2004): 2003 年 5 月 26 日宮城県沖の地震災害調査報告・2003 年 7 月 26 日宮城県北部の地震の地震災害調査報告, 社団法人日本建築学会, 344pp.
- 森伸一郎・圓井洋介 (2001): 2000 年鳥取県西部地震における震源地付近のアンケート震度, 第 36 回地盤工学会研究発表会講演集, 2125-2126.

(編集担当 中村浩二)

以降の(7)～(17)の設問は、地震のとき家(建物)の中にいた方にかがいます

(7) その家(建物)の構造は次のどれですか。

1. 木造 2. ブロック(レンガ)造 3. 鉄筋コンクリート造
4. 鉄骨造 5. その他()

(8) その家は何階ですか。

1. 平屋建 2. 2階建 3. 3～5階建
4. 6～9階建 5. 10階以上

(9) あなたは、地震のときにどの階にいましたか。

1. 地階 2. 1階 3. 2階
4. 3～5階 5. 6～9階 6. 10階以上

(10) その家(建物)が建てられたのはいつ頃でしょうか。(わかれば、建築年数 _____年も回答ください)

1. 最近1～2年 2. 数年前
3. かなり古い(昭和56年6月以降) 4. 非常に古い(昭和56年6月以前)

(11) あなたは地震のとき、電灯とかスイッチのひも、カレンダーなど、吊してあるものが揺れ動くのを認めましたか。

1. 注意しなかった 2. 見たが動きは認められなかった 3. かすかにゆれた
4. かなり激しくゆれた 5. 非常に激しくゆれた

(12) 台所の洗い桶、水盤、金魚鉢等の水、又はガラスビンの中のモノの動きはいかがでしたか。

1. 注意しなかった 2. 見たが動きは認められなかった 3. かすかに動いた
4. かなり動いた 5. 激しく動いた 6. あふれる程に、激しく動いた

(13) 食器類とか、窓ガラス・戸・障子などの動きは認められましたか。

1. 気が付かなかった 2. かすかに音を立てた 3. ガタガタと音を立てて動いた
4. 激しく音を立てて動いた
5. 非常に激しく動き、食器・皿・ガラスなど割れたり、戸障子がはずれたものもあった
6. 食器類、ガラスなどの破損が目立った 7. ほとんどこわれた

(13-1) 具体的に、窓ガラスへの被害(ひび割れ、破損など)はありましたか。

1. 被害はなかった 2. ひびが入った程度 3. 破損したものがあつた
4. いくつか破損した 5. 多くが破損した 6. わからない

(13-2) 具体的に、地震のあとで、開閉が困難になった戸や窓はありましたか。

1. なかった 2. あつた 3. わからない

(14) すわりの悪いもの(コケシ・花びんなど)、棚に雑においた品物、ビン類など動きは認められましたか。

1. ほとんど認められなかった
2. わずかに動いた
3. かなり激しく動いた
4. 一部が動いたり、ズレたり、ズリ落ちたりした
5. ほとんど全部が倒れ、または落ちた

(14-1) 具体的に、棚から落ちた本などはありましたか。

1. なかった
2. 落ちたものがあった
3. いくつかのものが落ちた
4. 多くのものが落ちた
5. 棚ごと倒れた
6. わからない

(15) タンス・戸棚・本箱など、重い家具の動きは認められましたか。

1. 動かなかった
2. わずかにゆれ動いた
3. かなりゆれた
4. 多少ズリ動いた
5. 大きくズレたり、倒れたものもあった
6. ほとんど全部が倒れた

(15-1) 家具の動きが認められた方にうかがいます。その家具を固定していましたか。

1. 固定していなかった
2. 何らかの手段で固定していた

(16) 家(建物)全体としてのゆれはいかがでしたか。

1. 認められなかった
2. わずかにゆれた
3. かなりゆれた
4. 激しくゆれた
5. 非常に激しくギシギシゆれた
6. 倒れんばかりにゆれた

(17) 家(建物)には、なんらかの被害はありましたか。

1. 幸い、全然なかった
2. 額がはずれたり、掛物が傾いたりした程度
3. 壁かけ、額などが落ち、または花びん・ガラス器具が割れた
4. わずかながら壁にヒビ割れが入った
5. かなりヒビ割れが入り、柱の継ぎ目の食い違いも目につく程度
6. 被害はかなり大きく、修理の必要がある
7. 家の傾きが目立った
8. その他()

(17-1) 家に屋根瓦がある方にうかがいます。屋根瓦への被害(ずれ、落下など)はありましたか。

1. 被害はなかった
2. 多少ずれた程度で落下したものはなかった
3. 落下したものがあつた
4. いくつか落下した
5. 多くが落下した
6. 家自体が傾いた
7. わからない

(18)～(21)は、すべての方にうかがいます

(18)あなたは、地震のゆれている時間をどのように感じましたか。

1. 非常に短かった
2. 短かった
3. どちらともいえない
4. 長かった
5. 非常に長かった
6. いつ終わると知れなかった

(19)あなたが、地震をもっとも強く感じたのは、どのようなゆれのときですか。

1. ドンと突き上げてくる感じのゆれ
2. かなり速い繰り返しの横ゆれ
3. ゆっくりとした横ゆれ
4. 特に区別できなかった
5. その他()

(20)あなたは地震に気がついたとき驚きましたか。

1. 全然驚かなかった
2. 多少驚いた
3. かなり驚いた
4. 非常に驚いた
5. このうえなく驚いた

(21)それではこわさの程度はいかがでしたか。

1. なんとも思わなかった
2. 少々こわいと思った
3. かなりこわいと思った
4. 非常にこわいと思った
5. 絶望的になった

(22)地震のとき家(建物)の中にいた方にうかがいます。あなたはそのときどのような行動に出ましたか。

1. なにもする必要を感じなかった
2. 意識的に身の安全を考えた
3. 意識して戸外へのがれた
4. ほとんど知らない間に戸外へとび出した
5. 全く本能的に行動したので、よく覚えていない

(23)地震のとき家(建物)の中にいた方にうかがいます。あなたは地震のとき火気(ガスコンロ、石油ストーブ等)をどうしましたか。

1. 使用していなかった
2. 使っていたが消す必要を感じなかった
3. 危険だと思っていたので消した
4. 無意識のうちに消していた
5. とても余裕がなかった

(24)地震のとき、家(勤め先)で、寝ていた(横になっていた)方にうかがいます。

1. 眠っていなかった(または、他に誰もいなかった)ので、答えられない
2. 目覚めた人は少人数
3. かなりの人が目覚めた
4. ほとんどの人が目覚めた
5. 全部の人が目を覚ました

(25)地震のときに動いていた方にうかがいます。

1. 行動に少しも支障を感じなかった
2. やや支障を感じた
3. 動き続けるのは困難であった
4. 立っておれない程であった
5. はいづくばってしまった
6. 体をすくわれて倒れた

(26) 戸外にいた方にうかがいます。樹木とか近くに停車中の自動車の、地震による動きを認めましたか。

1. 注意を向けなかった
2. 見たが動きは認められなかった
3. かすかにゆれていた
4. かなり激しくゆれていた
5. 音がする程ゆれ動いていた

(27) 自動車を運転していた方にうかがいます。運転に支障を感じましたか。

1. 全然なんともなかった
2. やや支障を感じた
3. かなり困難を感じた
4. 運転不能を感じて止まった
5. 事故(道路をはずれる、ぶつかる)を起こした

(28) 停車中の自動車に乗っていた方にうかがいます。

1. かすかなゆれを感じた
2. かなり激しくゆれるのを感じた
3. 音がする程ゆれ動いた
4. 車がこわれんばかりにゆれ動いた

(29)以降は、すべての方にうかがいます

(29) あなたのまわりで地震に気がついた人がいますか。

1. 他に誰もいなかった
2. わずかな人が気がついた
3. かなりの人が地震とわかった
4. ほとんどの人が気がついた
5. 全員が確かに地震だと感じた

(30) あなたのまわりで板掘、ブロック塀、石垣、集合煙突、サイロなどの被害がありましたか。

1. 全くなかった
2. 堀のねじれ、継ぎ目に沿った割れ、石垣、煙突、サイロのゆるみなどがわずかにみられた
3. 堀のねじれ、割れ目、石垣、煙突、サイロのゆるみなどかなり目立ちくずれ落ちそうなものもあった
4. 一部割れたり、ズリ落ちたりしたものもあった
5. かなりのものが壊れた
6. ほとんど壊れた

(31) あなたのまわりで家屋の大きな被害(半壊、全壊)とか、地変(地割れ、地すべり、道路のキレツ)などがありましたか。

1. 全然なかった
2. わずかにあった
3. かなり目についた
4. 非常に多かった

(32) あなたのまわりでこの地震が原因の停電・給水停止などがありましたか。

1. 全然なかった
2. 短時間あった
3. かなり長時間にわたった

(32-1) あなたのまわりで液状化現象(マンホールの浮き上がり、土砂の噴出、歩道の沈降など)がありましたか

1. 全然なかった
2. わずかにあった
3. かなり目についた
4. 非常に多かった

さしつかえなければ、あなたの性別と年齢を教えてください。

性別 : 1. 男性 2. 女性

年齢 : 1. 19才以下 2. 20～29才 3. 30～39才 4. 40～49才 5. 50～59才 6. 60才以上