

アンケート震度による震度曝露人口の推計方法について

岐阜大学工学部 ○野崎清隆
岐 阜 大 学 正 会 員 能 島 暢 呂 ・ 杉 戸 真 太

1. はじめに

近年、高密度な強震観測網が全国規模で展開され、地震後の地震動強度分布がより詳細に推定されるようになった。しかしながら、観測された地震動強度は当該地点の地盤条件の影響を強く受けたものであり、広域的な揺れの分布特性を詳細に把握するには、観測地点数が必ずしも十分とはいえない場合が多い。震度情報の空間分解能と評価精度の向上を目的として、太田らはアンケート調査による震度推定法を開発した^{1),2),3)}。その有用性は高く評価され、多くの地震での適用実績がある。一方、能島ら⁴⁾は、所定の震度レベルに曝される人口を集計した「震度曝露人口」を定義し、5つの既往地震ならびに想定東海・東南海地震への適用例を示して、震災ポテンシャル指標として活用することを提案した。将来発生するであろう地震において震度曝露人口を推計することを考えると、アンケート震度は有用な情報源となるといえる。本研究は、アンケート震度に基づいて震度曝露人口を推計するにあたって、個人属性に起因するアンケート震度の不確定性を処理する方法について、基礎的検討を行ったものである。

2. アンケート震度の分解

2.1 アンケート震度のばらつき

アンケート震度は、地震の揺れの体験者に対して質問紙によるアンケート調査を実施し、回答者の項目反応を統計処理して求められるものである。気象庁震度階が10段階であるのに対して、アンケート震度は0.1の分解能を持ち、計測震度に準じた解釈が可能であると考えられる。ただし、計測震度が機械計測に基づく物理量であるのに対して、個人の回答より推定されるアンケート震度には、個人属性に起因するばらつきが加わっている。その不確定性はいわば「誤差」と見なせるものであり、十分なサンプルでの平均をとることにより除去するのが適切である。

2.2 アンケート震度の不確定性の解釈

アンケート調査によりある回答者のアンケート震度 x_{ij} が得られたとする。ただし、 i は町・大字、 j は回答者を示す添字であるものとする。町・大字及び市町村という2つのレベルでの平均的特性として回答者の震度 x_{ij} を捉えた場合、 x_{ij} は次のように分解される。

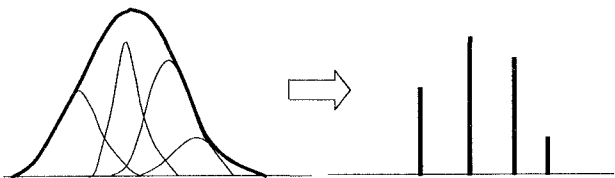


図1 町・大字単位で集計されたアンケート震度

$$x_{ij} = \bar{x}_{..} + (\bar{x}_i - \bar{x}_{..}) + (x_{ij} - \bar{x}_i) \tag{1}$$

x_{ij} : 回答者のアンケート震度,
 $\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}$: i 町・大字における平均震度,
 $\bar{x}_{..} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}$: 市町村単位の平均震度,
 n_i : i 町・大字におけるデータ数,
 $N = \sum_{i=1}^k n_i$: 全データ数,
 k : 町・大字数

この式の右辺第2項は「地盤特性等に起因する市町村内での揺れ方の相違を表す項」、第3項は「平均化処理によって除去されるべき個人属性の誤差項」と解釈される。

3. 震度曝露人口の算出

3.1 アンケート震度の集計が町・大字単位の場合

図1に示すように、町・大字単位でアンケート震度が得られている場合、町・大字単位での平均値 $\bar{x}_i$ においては、既に誤差項がキャンセルされていると考えられる。従って、震度ごとに町・大字の人口を集計すれば震度曝露人口を推計することが可能である。

3.2 アンケート震度の集計が市町村単位の場合

市町村単位の平均値 $\bar{x}_{..}$ と標準偏差 σ_T が既知の場合を考える。市町村単位での平均値 $\bar{x}_{..}$ においては、誤差項がキャンセルされているばかりでなく、市町村内での震度の相違も平均化されてしまっている。一方、市町村単位の標準偏差 σ_T には個人属性による誤差項が含まれている。ここでは、市町村単位の標準偏差 σ_T から個人属性に起因する誤差項の寄与分を除去した標準偏差 σ'_T を求める方法を検討する。

まず式(1)において $\bar{x}_{..}$ を移項して両辺を2乗し、全データについての総和をとると、

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2 = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \tag{2}$$

となり、表1の記号を用いると次式のようなになる⁵⁾。

$$S_T = S_B + S_W \tag{3}$$

いま、市町村内でのアンケート震度の標準偏差 σ_T (既知とする)と個人属性に起因する誤差項の標準偏差 σ_W (後に値を仮定する)は、全変動 S_T および誤差変動 S_W を用いると次式で表わせる。

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{S_T}{N-1}}, \quad \sigma_W = \sqrt{\frac{S_W}{N-k}} \tag{4}$$

市町村内での揺れの相違に起因する本来のばらつきを表わす標準偏差 σ'_T は、全変動から誤差変動のみを除去する

表 1 3 種の変動を表わす平方和

	平方和	自由度 ϕ	
S_T	全変動	$N - 1$	$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$
S_B	因子	$k - 1$	$\sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_{i.} - \bar{x}_{..})^2$
S_W	誤差	$N - k$	$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{i.})^2$

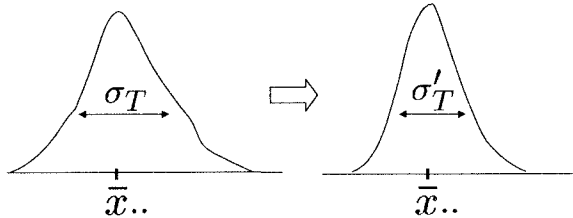


図 2 市町村単位のアナケート震度のばらつき

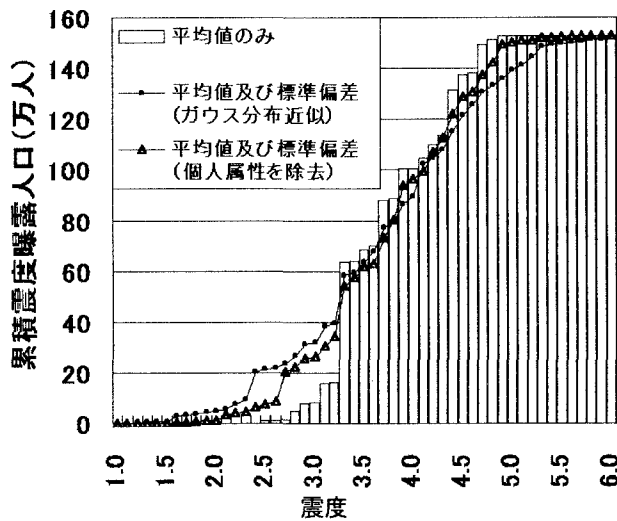


図 3 累積震度曝露人口の比較

ことにより得られ、次式のようになる。

$$\sigma'_T = \sqrt{\frac{S_T - S_W}{N - 1}} = \sqrt{\sigma_T^2 - \frac{N - k}{N - 1} \sigma_W^2} \quad (5)$$

k と比べて十分に N が大きい場合、この式は次のように近似される。

$$\sigma'_T \simeq \sqrt{\sigma_T^2 - \sigma_W^2} \quad (6)$$

以上より、市町村単位での平均値 $\bar{x}_{..}$ に加えて標準偏差 σ'_T を考慮した震度分布を用いることにより、市町村内での揺れの分布特性を反映した震度曝露人口を推計することができる。図 2 は以上の手順による標準偏差の変化 ($\sigma_T \rightarrow \sigma'_T$) を概念的に示したもので、誤差項の寄与分を除去したことによる標準偏差の低減を示している。

4. 震度曝露人口の算出例

2001 年芸予地震における山口県内の震度曝露人口を算出した事例を示す。ここでは、村上⁶⁾による調査研究報告書に記載された、市町村別の平均震度 $\bar{x}_{..}$ と標準偏差 σ_T を用いることとした。

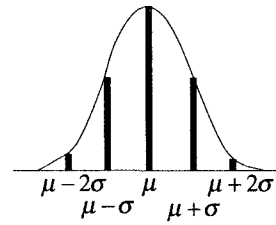


図 4 正規分布の簡易的な集計方法

個人属性に起因する誤差項の標準偏差 σ_W に関しては、既往の研究^{7),8)}の成果を参考にして定めた。小山ら⁷⁾は、境港市において 1999 年鳥取県西部地震の高密度アンケート震度調査を実施し、町・大字ごとのアンケート震度が正規分布で近似されることを指摘した。計 44 町の標準偏差はおおむね 0.6~0.7 の範囲に入っている。また森ら⁸⁾は、2001 年芸予地震におけるアンケート震度調査の結果に基づいて、領域分割のサイズ(市町村および町丁目大字)と領域内での標準偏差の関係について考察した。その結果、標準偏差は町丁目大字内で 0.6 程度、市町村内で 0.7 程度に収束することを指摘した。以上より本研究では、町・大字内の震度は均一とみなすことができると考え、 $\sigma_W = 0.6$ を採用し、式(6)より市町村別に σ'_T を求めた。ただし $\sigma_T < 0.6$ の市町村については、 $\sigma'_T = 0$ としている。

図 3 は上記の手順により、市町村別の平均値 $\bar{x}_{..}$ と標準偏差 σ'_T を用いて正規分布 $N(\bar{x}_{..}, \sigma'_T)$ を仮定し、山口県下全域で推計した震度曝露人口の累積分布である(図中の△)。簡単のため図 4 に示すように、 $\mu - 2\sigma$, $\mu - \sigma$, μ , $\mu + \sigma$, $\mu + 2\sigma$ に市町村人口の 5%, 25%, 40%, 25%, 5% をそれぞれ配分した。比較のため、ばらつきを考慮せず市町村別の平均値のみを用いた場合を棒グラフで示し、正規分布 $N(\bar{x}_{..}, \sigma_T)$ を仮定したものを図中の●で示している。 σ'_T を用いた場合は、平均値のみを用いた場合と σ_T を用いた場合の中間的傾向を示していることが分かる。

謝辞: 本研究を実施するにあたり、東濃地震科学研究所 太田裕副主席主任研究員および小山真紀研究員には、有益な示唆をいただいた。記して感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 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, 北海道大学工学部研究報告, 第 92 号, pp.117-128, 1979 年 1 月。
- 2) 太田裕, 小山真紀, 中川康一: アンケート震度算定法の改訂 一高震度領域一, 自然災害科学, Vol.16, No.4, pp.307-323, 1998 年。
- 3) 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, Vol.17, No.3, pp.245-247, 1998 年。
- 4) 能島暢呂, 杉戸真太, 久世益充, 鈴木康夫: 震災ポテンシャル評価のための震度曝露人口指標の提案, 第 21 回日本自然災害学会学術講演会, pp.61-62, 2002 年 9 月。
- 5) 早川 毅: 現代人の統計 5 実験計画法の基礎, 朝倉書店, pp.29-37。
- 6) 村上ひとみ: 3.4 山口県におけるアンケート震度調査, 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, 研究成果報告書(代表者: 中山隆弘), pp.58-62, 2002 年 3 月。
- 7) 小山真紀, 太田裕, 西田良平, 清野純史: 2000 年鳥取県西部地震における境港市高密度アンケート調査, 東濃地震科学研究所報告, (財)地震予知総合研究振興会, pp.41-71, 2002 年 3 月。
- 8) 森伸一郎, 掛水真一, 依司, 村上ひとみ, 河原莊一郎, 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, paper No.2, 2002 年 11 月 (on CD-ROM)。