

社会動態が地震災害に及ぼす将来的影響の定量評価  
Quantitative Effects on Social Dynamics into the Eventual Damage in Earthquakes

○岡田成幸・中嶋唯貴  
○Shigeyuki OKADA, Tadayoshi NAKASHIMA

Nowadays in Japan, we have crucial social problems related to population dynamics such as declining population, decreasing birthrate and aging population, urban centralization, and local disappearance. At the same time, these social problems should greatly affect the number of casualties and injuries in earthquake disasters. In this research, we propose a death toll estimation formula including various building factors such as load-bearing capacity, building deterioration, as well as population dynamics; and using the formula we try to quantitatively evaluate the influence of changes in the future social structure in Japan onto the occurrence of human injury in natural disasters.

1. はじめに

現今、日本社会はその人口構成の地理的分布を大きく変えようとしている。社会学的には人口動態の問題であり、政治経済学的には地域格差問題として認識されている。人口減少・少子高齢化・都市一極集中・地方消滅等々は、現象こそ違え因を同じくする日本社会の構造的不可避近未来予想図である。この非制御状態は、自然災害発生時においても少なからぬ影響を与えるはずである。本論は、地震被害を取り上げ社会構造変化が地域住民に与える影響を定量評価し問題点を整理する。

2. 地震時人的被害への影響評価法

(1) 社会動態と人的被害増減の関係

因果関係を表1にまとめる。本稿で採用したのは下記要因A)~D)である。

表1 社会構造の変化と人的被害増減の関係

社会構造の変化	死者数増加要因	死者数減少要因	採用要因
少子化(人口減少)	・救助者減少による救助率低下	・危険母数減少 ・住宅減少	D)人口増減
高齢化	・体力低下による死亡率上昇 ・要介護者増加(避難困難率上昇) ・関連死対象者増加 ・救助者減少による救助率低下		B)高齢化
都市への人口移動	・都市の危険母数増加	・地方の危険母数減少	D)人口増減
住宅住替	・高齢者の老朽家屋住み続け	・浮遊層高齢者の耐震マンション移住	C)年代別建築割合変化
住老朽化	・耐震性低下		A)経年劣化
住家新築/耐震補強		・耐震性上昇	C)年代別建築割合変化

(2) 死者算定式

多くの地域要因が加味され被害評価精度の高い岡田・中嶋(2016)による算定式(1)を基本とする。同式は地震で建物が倒壊しそこに閉じ込められる

居住者の死傷程度  $\theta$  の発生確率(人数)を、社会動態に関わる様々な要因から評価するものである。

$$M_{ISS}(\theta) = \sum_{\Delta x=0}^{1.0} (\kappa_{\Delta x} \cdot f''_{\Delta x}(\theta)) \quad \dots (1)$$

ここに、 $M_{ISS}(\theta)$ は居住者の外傷重症度指標(ISS)  $\theta$ 別の発症人口、 $\kappa_{\Delta x}$ は木造建物損傷度(Damage Index)  $\Delta x$ 別の被災建物内で瓦礫に閉じ込められる人数、 $f''_{\Delta x}(\theta)$ は  $\Delta x$ の時の  $\theta$ の確率密度分布である。さらに $\kappa_{\Delta x}$ は以下に展開される。

$$\kappa_{\Delta x} = \sum_{I=0}^{7.4} M_f(I, t) \cdot P(I, \Delta x) \cdot W_{\Delta x} \quad \dots (2)$$

ここに、 $M_f(I, t)$ は木造住家に居住する人を対象とした地震発生時間  $t$ 別の震度暴露人口で、地域の震度暴露人口とその地域の木造住家に居住する人口割合及び時間帯別在宅率の積で与えられる。 $P(I, \Delta x)$ は震度  $I$ における  $\Delta x$ の発生超過確率を意味し、地域の木造住家耐力分布 $g_q(I_w)$ を用い、損傷度関数で与えられる  $\Delta x$ を発症する耐震評点の閾値 $I_{w_0}$ までを積分することで求められる。

$$P(I, \Delta x) = \int_0^{I_{w_0}} [\sum_q \{g_q(I_w) \times T_q\}] \cdot dI_w \quad \dots (3)$$

ここで建物の経年劣化 $F_q(t')$ を考慮し、年代区分  $q$ 別に地域の住家耐震評点  $I_w$ の分布は一般に式(4)で与えられる。 $t'$ は築後年数を意味する。

$$g_q(I_w, t') = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_q} \exp\left[-\frac{(\ln(I_w) - \lambda_q)^2}{2\sigma_q^2}\right] \times F_q(t') \quad \dots (4)$$

式(3)中の $T_q$ は地域における年代別住家割合を示す。また、損傷度関数は震度  $I$ の揺れに対する耐震評点  $I_w$ の建物一棟の損傷度  $\Delta x$ の関係を記載する関数でワイブル分布で与えられる[岡田・高井(2004)]が、被災閾値 $I_{w_0}$ を求めやすくするため

き乗関数による変換式が式(5)の形式で提案されている[中嶋・岡田(2008)]。

$$I_{W_0} = \left( \frac{1-a_{\Delta x}}{b_{\Delta x}} \right)^{1/c_{\Delta x}} \dots (5)$$

パラメータ  $a_{\Delta x} \cdot b_{\Delta x} \cdot c_{\Delta x}$  は  $\Delta x$  ごとに定数として与えられている。

式(2)中の  $W_{\Delta x}$  は被災した建物内部の居住者が落下瓦礫等の危険空間内に閉じ込められる確率を意味する (W 関数[Okada(1996)])。

式(1)中の  $f''_{\Delta x}(\theta)$  は観測例が少ないため将来更新を考慮し、ベイズの方法を採用し以下の事後分布として与えている。

$$f''_{\Delta x}(\theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f''_{\Delta}(\lambda)}{\sqrt{2\pi\alpha\zeta\theta}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\ln(\theta)-\lambda}{\zeta} \right)^2 \right] d\lambda \dots (6)$$

ここに、基本関数を対数正規分布としたときの共役対の関係から  $f''_{\Delta}(\lambda)$  は平均値  $\lambda$  の事後分布であり正規分布で与えられ、式(6)中では積分操作における重み係数的働きを与えている。

算定式に含まれるパラメータを図1に整理する。他の評価式(たとえば内閣府)と比較し、多くの要因の影響評価が可能である。

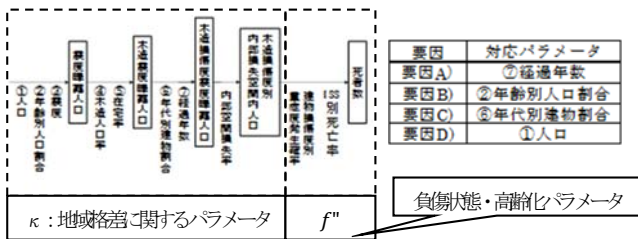


図1 式(1)の計算過程と対応パラメータ

### 3. 社会動態の影響評価

前章定義の算定式を基本に現在本邦が抱える社会問題について以下検討する。

#### (1) 自治体単位でみる少子高齢化の影響

都道府県単位で2013年(住民基本台帳)と2023年推定データ[国立社会保障人口問題研究所(2016)]を用いて入力震度6.6に対する死者数比較を図2に示す。少子高齢化・建物老朽化による増加よりも建物新築建替・人口減少の影響が大きく死者数はほぼ全都道府県で減少傾向を示している。しかし、その減少割合は地域差が大きい。

釧路市を例に想定十勝沖地震(震動-津波同時複合災害)の際の少子高齢化の影響を同様に試算した。災害シナリオは、地震動で住家倒壊し居住者負傷及び閉じ込め発生し、近隣者による救出の後に避難を開始し、その後津波襲来を想定し、式(2)により被災住宅の閉じ込め者数を津波到達時間別

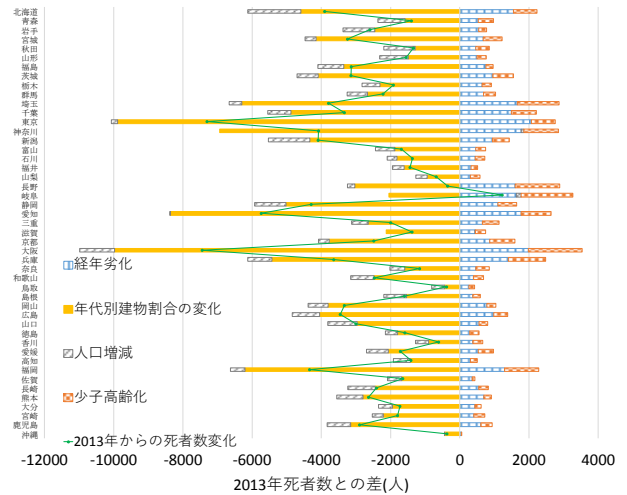


図2 社会動態が死者数に与える影響(都道府県)の釧路市内地域で集計し、図3(棒グラフ)に示す。閉じ込められ救助されないままに津波襲来を受けたときの死者数の分布に等しい。発生時期を2010年と2040年で計算してある。図2同様、将来的には死者数低減が見込まれているが、同図に示した65歳以上の高齢化率比較(折れ線グラフ)は平均20%であった高齢化率が30年間で40%に上昇している。救助者負担を増加させ避難不可による津波死亡者増大という新たな問題点を指摘できる。



図3 釧路市の閉じ込め者数及び高齢化率の変化

#### (2) 地域内居住区スプロール現象にみる影響

都市域では人口増加と共に居住域の郊外(想定地震による高震度域に指定されているハザード危険地域であることが多い)への拡大が顕著である。札幌市を例に、人口移動と新築耐震化の人的被害に与える影響を式(1)を用いて1947~1990年の時間変化で評価した結果、時間と共に大震度想定地域への人口移入は増えてはいるものの、住宅新築建替による耐力上昇の影響が大きく死者数は低減化の方向にあることが判明した。新築や住み替えが盛んな都市域においては建物耐震化の効果が極めて顕著に表れている反面、居住者移動が少なく建築行為が低迷している地方においてはその格差が拡大していると言えよう。