

地震時人的被害のマクロ過程モデル

—1976年中国・唐山地震での事例研究—

1. はじめに
2. 一般事項
3. 震度分布
4. 建物倒壊率
5. 死者発生率
6. おわりに

塩野計司*
太田裕**

要 約

死者の発生プロセスを「地震動→建物の倒壊→死者の発生」という3つの要素からなる一連の事象として捉え、唐山地震の調査結果をもとに、各要素について記載した。地震動の評価には、等震度線を楕円で近似した震度分布モデルを用いた。「震度と建物倒壊率」および「建物倒壊率と死者発生率」の関係を示す経験式を誘導し、これらによって死者発生のプロセスモデルを構成した。震度分布と人口分布をプロセスモデルへの入力情報として、死者数の分布を推定した。

1. はじめに

唐山 Tangshan 地震（1976年7月28日）は、24万の死者を始めとする大被害をもたらし、世界的な地震災害の一つとしてその名をとどめることになった。しかし、この地震には、被害の大きさ以外にも見落とせない点がある。震後調査が多方面から精力的に実施され、関連の出版が数多く行わ

れた。このこともまた特筆に値する。

筆者らはこの数年、唐山地震に関する出版物の収集につとめ、相応の蓄積を得るに至った。また、入手した出版物のなかには、筆者らが手がけている研究に利用できそうなデータが相当に含まれていることも明らかになってきた。地震工学や耐震工学からの出版物には、震度分布や建物被害に関する詳しいデータが数多く収められていた。社会的な視点で著された出版物からは、人的被害(死

* 都市研究センター・工学部

** 東京大学地震研究所（都市研究センター非常勤研究員）

傷者の発生)に関する状況が、大まかにではあるが読み取れるようになった。

一方、筆者らは以前から、地震による死傷者の発生を「ゆれ→建物の倒壊→死者の発生」という3段階のプロセスとして巨視的にとらえ、これをもとに死者数の予測モデルを開発してきた(Shiono et al., 1991; Shiono, 1992; 塩野, 1992a; 塩野, 1992b)。

この研究では、唐山地震を対象として、筆者らが提案するマクロ過程モデルを構成し、死者の発生を定量的に記載することを目的とした。また、この事例研究ではとくに、死者の発生分布を評価するための処理手順の具体化に重きをおき、その成果を利用して唐山地震による死者を行政単位べつ(市・郡レベル)に推定することにした。

2. 一般事項

2. 1 研究対象としての利点

唐山地震は深夜(3時42分)に発生した。このため、住民の大半が屋内で被災し、死傷者の大部分が建物の倒壊によるものだった(Wang, et al., 1986)。このような状況からみて、唐山地震の事例研究には、つぎのような利点がある:

(1) 地震による死者の発生原因を世界的な傾向としてみると、建物の倒壊がもっとも重要な位置をしめる。地震時の死者は、今世紀初頭から130万人を数えるが(太田・他, 1990)、その75~90%が建物の倒壊によって発生している(Coburn et al., 1989; Power et al., 1991)。地震時の人的被害の原因には、地震火災・地変・津波などもあるが、これらの原因が占める割合は、建物の倒壊に比べて著しく小さい。唐山地震の事例を分析することにより、死者の発生に関する「世界的な平均像」

について調べられる可能性が高い。

(2) 一般に、建物倒壊の影響は、屋外にいた人には及びにくい。建物の倒壊による死傷者の発生については、屋内にいた人を対象として考えるのが適当である。したがって、人の動き(屋内・屋外の別)が顕著な昼間に発生した地震では、あらかじめ人の動きを把握しておくが必要になるが、これはさほど簡単なことではない。これに対し、人の動きの少ない深夜に発生した地震では、地域の居住人口(夜間人口)を評価の対象とすることの妥当性が高まり、人口(被災可能人口)に関する取り扱いを単純化することができる。

2. 2 対象地域

事例研究の対象地域には、被害の発生分布と収集したデータのカバーする範囲を考慮して、地震当時の「唐山地区」¹⁾を選んだ。この地域の面積は約16,500 km²、人口は約700万だった。

唐山地区は、面積がほぼ等しい15の行政単位(2つの市²⁾、12の「県」³⁾、1つの農墾区⁴⁾)で構成されていた。当該地域の行政単位を図1に示した。

2. 3 モデルの全体構成

この事例研究を進める手順を図2に示した。

評価モデルの主要部分は、1)建物の倒壊率関数と、2)死者の発生率関数(死者率関数)で構成した。どちらの関数も、1976年唐山地震の調査結果から誘導した。

評価モデルへの入力情報として、1)人口分布と、2)震度分布を用いた。人口分布は行政単位(市、「県」、農墾区)ごとに与え、行政単位内の人口密度は一定として取り扱った。震度分布は地域単位(5 km×5 kmの正方形要素;メッシュ)ごとに与えた。

なお、筆者らが「汎用」モデル⁵⁾として提案して

¹⁾現在の唐山市と秦皇島Qinhuandao市(青竜満族自治県をのぞく)に当たる。

²⁾唐山と秦皇島。

³⁾日本の「郡」に当たる。中国語(拼音字母)ではXianと記す。

⁴⁾現在は、その名称・組織が唐海県と改められている。

⁵⁾国・地域のちがいを問わずに適用できるモデルを汎用モデルと位置づけた。

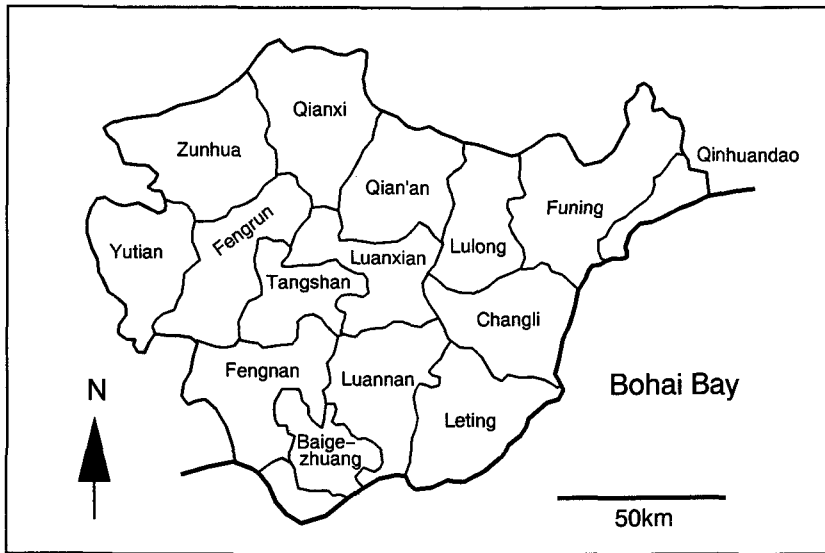


図1 唐山地区の行政単位 (1976年)

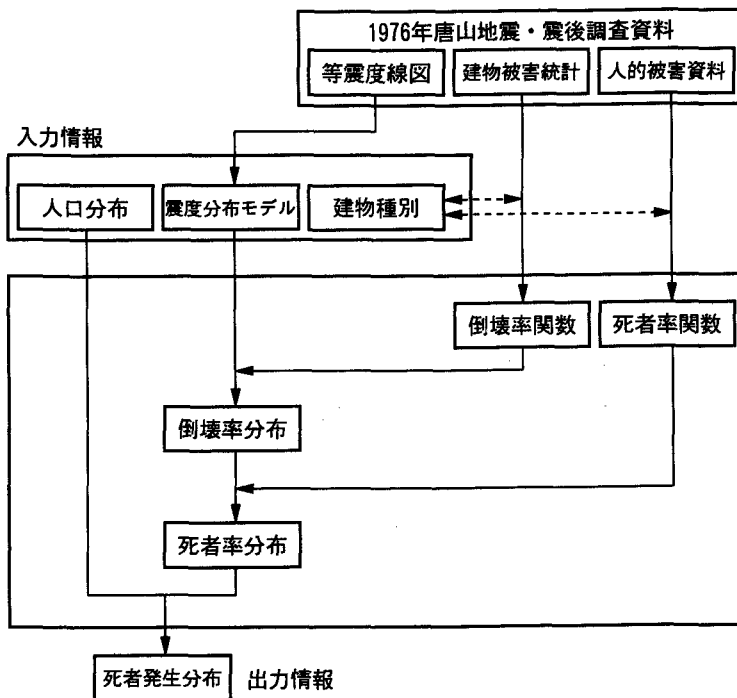


図2 事例研究の手順

きたモデル (Shiono et al., 1991; Shiono, 1992; 塩野, 1992a, 塩野, 1992b) では、被災域の建物の種別 (承重要素と外壁の材料で識別) とその構成

比を、もう一つの入力情報として用いている。これに対し、唐山地震の被災域だけを対象としたこの研究では、これらを表だった入力情報としては

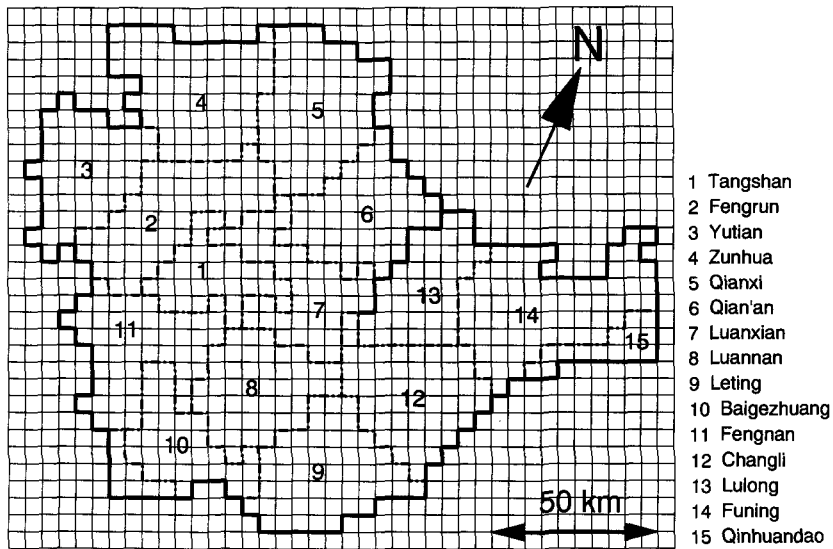


図3 メッシュ図による唐山地区の行政単位 (1976年)

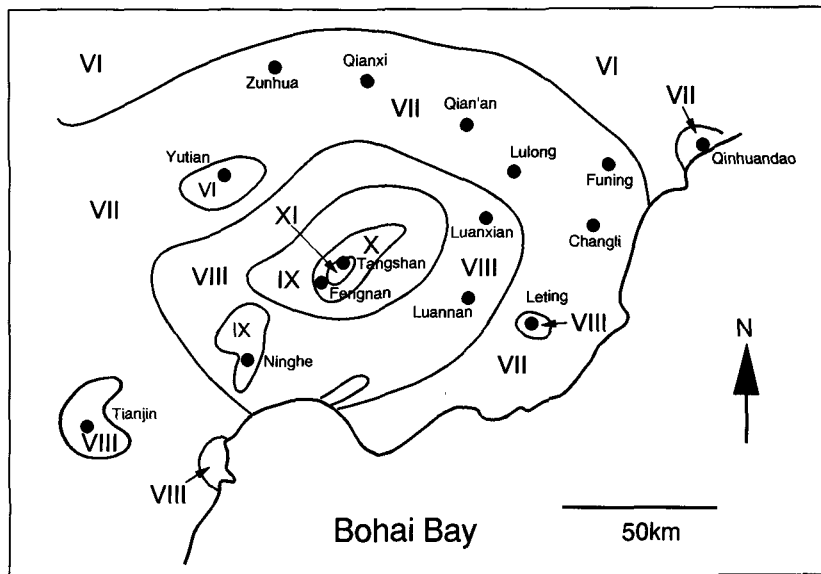


図4 等震度線図 (Yang, 1985より)

用いなかった。被災資料から導かれた倒壊率関数と死者率関数に、その影響が反映されているためである。

死者数の計算は、対象地域内を細分した地域単位(5 km×5 km)ごとに行い、その総和を求めるとい手順を進めた；

$$D = \sum_i d_i (I_i, P_i) \dots\dots(1)$$

ここに、

D：死者の総数

d：地域単位(メッシュ)内の死者数

I：震度

P：人口密度

i：地域単位（メッシュ）を識別する添え字

メッシュで表示した行政単位の分布を図3に示した。

3. 震度分布

唐山地震の震度（Yang, 1985）を図4（等震度線図）と表1（震度別の面積）に示した。震度は中国式の震度階（12階級）で表されており、M S K（Medvedev-Sponheuer-Karnik）震度階、あるいはMM（Modified Mercalli）震度階とほぼ同等な

表1 震度別面積（Ynag, 1985より）

震度	面積 (km ²)
≥11	47
≥10	370
≥9	1,800
≥8	7,270
≥7	33,300
≥5	216,000

評価と考えられる。震度は各種の構造物（建物、煙突、線路、橋梁など）の被害、地盤被害、器物の動き、体感などによって判定されている。

式(1)を使って死者数を算定するためには、任意のメッシュにおける震度（ I_i ）を与える必要がある。この作業を手際よく行うために、震度分布を幾何学的な図形で近似することにした。このようなモデル化を行えば、等震度線（1きざみの離散的な量で震度を示す）の間に位置する地点の震度が与えやすくなる。この研究では、ある地点（地域単位）の震度を0.1きざみで与えながら、建物被害や死者の発生について評価した。

震度分布をもっとも単純な図形で表そうとすれば、等震度線を同心円で近似することが考えられる。しかし等震度線は一般に、断層形状や地殻構造・表層地質の不均質性の影響をうけ、真の円にはならない。唐山地震の場合にも、等震度線を円によって近似するのでは不十分であり、円よりも

楕円で近似するのがふさわしいと判断された。

等震度線を楕円で近似する作業は、つぎの2つのステップで進めた：

(1) 震度別の面積（表1）を所与の条件として、等震度線を円で近似したときの距離減衰式を導いた。

距離減衰式の一般形を、つぎの関数（Chendra et al, 1979 など）で表した：

$$I(r) = (I_0 + a) + b \cdot r + c \cdot \log_{10}(r + d) \dots \dots \dots (2)$$

ここに、

- I：震度
- I_0 ：震央震度
- r：震央距離 (km)
- a, b, c, d：未定係数

未定係数は、つぎの式（残差）を最小にするような最適化（シンプレックス法を利用；以下、すべての最適化の作業と同様）によって求めた：

$$Res = \sum_i (I_i - I(r_i))^2$$

ここに、

- Res：残差
- I：震度
- r：震度 I を与える震央距離（観測値）
- $r_i = (A_i / \pi)^{0.5}$
- ただし、
- A：震度 I_i の等震度線が囲む面積（表1で与えられる）
- i：震度を示す添え字（ $I_1: I_1=11, I_2=10, I_3=9, I_4=8, I_5=7$ ）

未定係数（ $I_0 + a, b, c, d$ ）は、つぎのように求められた：

- $I_0 + a = 13.975$
- $b = 0.0029$
- $c = -3.556$
- $d = 3.069$

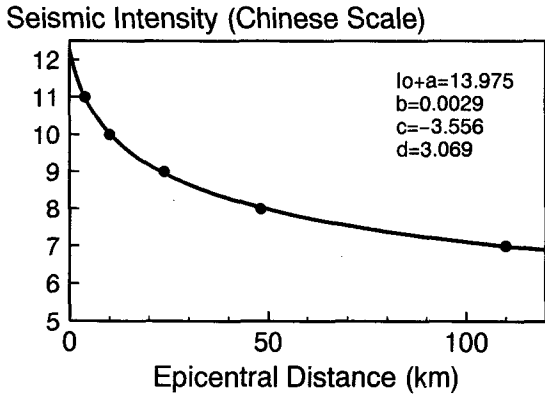


図5 等震度線を円で近似したときの減衰曲線

これらの値（最適パラメータ）を用いたときの距離減衰式を図5を示した。

(2) 円で近似した等震度線を楕円に変換する（直行する径の一方を引き延ばし、他方を押し縮めるとともに回転して、所与の等震度線へ「あてはめる」）を行った。

等震度線の一般形をつぎのように与えた（一つの震度について）：

$$\frac{(x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta)^2}{(a \cdot r)^2} + \frac{(-x \cdot \sin \theta + y \cdot \cos \theta)^2}{(b \cdot r)^2} = 1 \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここに、

- (x, y) : 等震度線の座標
- a・r : 楕円で近似した等震度線の長径
- b・r : 楕円で近似した等震度線の短径
- r : 円で近似したときの等震度線の半径
- θ : 楕円で近似した等震度線の回転角（時計回り）

なお、円で近似した場合と楕円で近似の場合で、等震度線の囲む面積が等しくなるように、つぎの条件を与えた：

$$a \cdot b = 1 \quad \dots\dots\dots(4)$$

最適化のための残差の評価には、つぎの式を用いた（震度ごとの残差に対する重みとして震度の

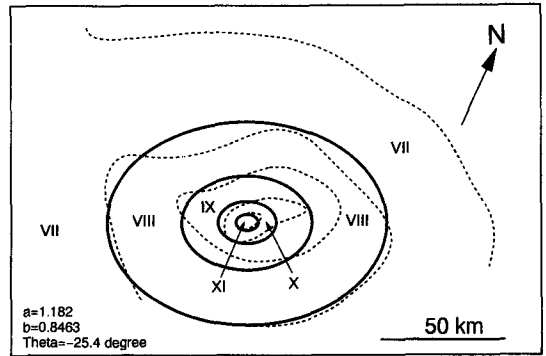


図6 等震度線の楕円近似による震度分布モデル

値 I_i を用いた)：

$$Res = \sum_{i,j} [I_i \cdot (R_{ij} - r_{ij})^2 / R_{ij}^2] \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここに、

- Res : 残差
- I : 震度
- R : 等震度線の位置（震央距離；データ）
- r : 楕円で近似した等震度線の位置（震央距離；計算）
- i : 震度 I を表す添え字 ($I_1; I_1=11, I_2=10, I_3=9, I_4=8, I_5=7$)
- j : 方位 φ を表す添え字 ($\phi_j = (j-1) \cdot \pi / 2; j=1, 2, 3, 4$)

未定係数はつぎのように求められた：

$$\begin{aligned} a &= 1.182 \\ b &= 0.8463 \\ \theta &= -0.141 (= -25.4^\circ) \end{aligned}$$

等震度線を楕円群で近似した震度分布モデルを図6に示した。破線はYang(1985)による等震度線を示している。ただし、この図では異常震域（震度の大きな寧河、震度の小さな玉田などが知られる）を示さず、大局的な震度分布だけが捉えられるようにした。

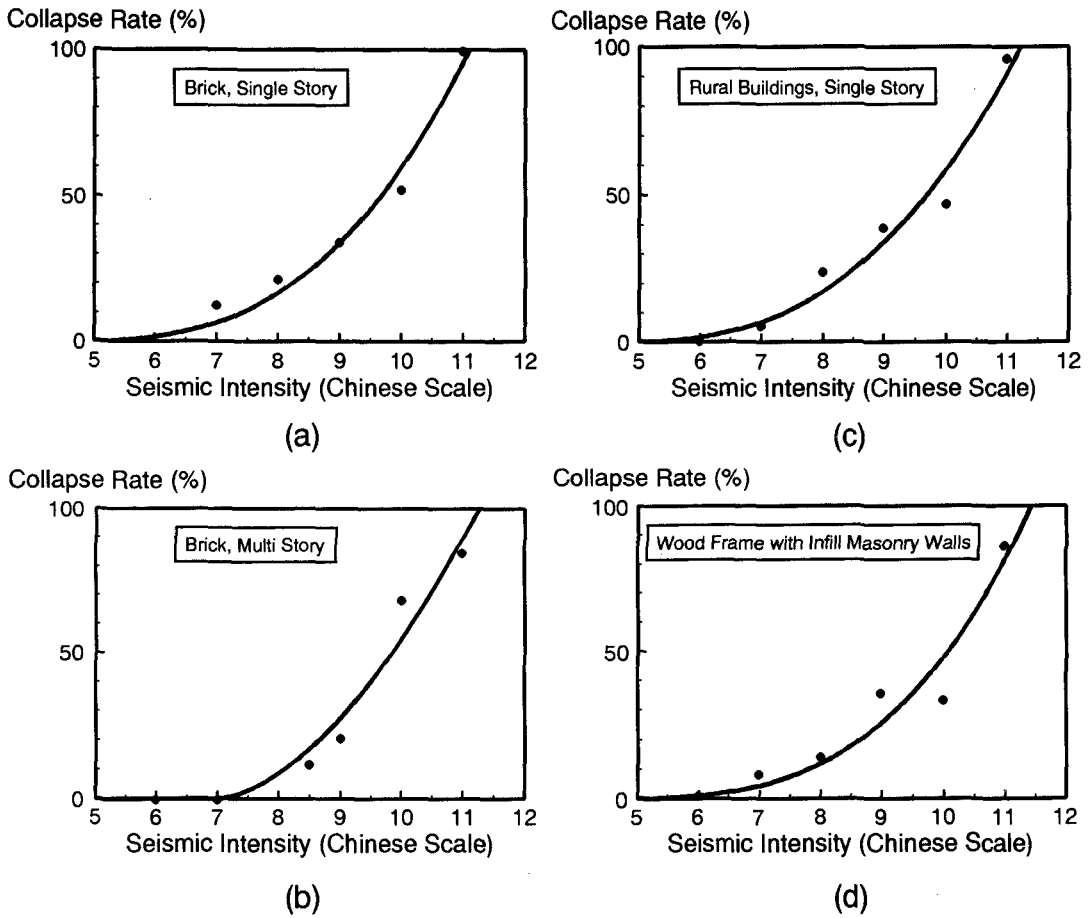


図7 各種建物の倒壊率曲線

4. 建物倒壊率

唐山地震の当時、唐山地区の住宅には、つぎのような構造が使われていた (Yang and Di, 1985; Wu and Yang, 1985; Chen et al., 1988 など) :

非補強組積承重壁構造

- 2 ~ 4 階建て煉瓦造
- 1 階建て煉瓦造
- 1 階建て石造
- 1 階建てアドベ造

木造・組積詰め壁構造

- 1 階建て煉瓦詰め壁

1 階建て石詰め壁

1 階建てアドベ詰め壁

建物種別ごとの構成比 (棟数比) については、どの文献にも明確な記載はなく、文献ごとの記載内容が矛盾する場合もあった。ただし、アドベの壁 (承重壁、詰め壁ともに) をもつ建物が少ないことを窺わせる記述が多く見られたため、アドベを使用した建物は除外して考えることにした。

各種の建物について行われた被害調査の結果 (単層建物: Yang and Di: 1985; 多層建物: Wu and Yang, 1985) を図7 (a-d) に示した。被害調査では、被害レベルごとの発生率を示しているが、ここでは「倒壊」レベルの発生率だけに注

目した。「倒壊」の意味するところを「修復不可能」とみなし、被害程度の記載にもとづいて、単層建物については、「倒壊」⁶⁾が、多層建物については「全毀」と「倒壊」⁷⁾がこれに当たるものと考えた。

倒壊率曲線の一般形をつぎのように与え、被害調査のデータに「あてはめ」た：

$$R_c(I) = \frac{100}{(I_{100} - I_0)^n} \cdot (I - I_0)^n \dots\dots\dots(6)$$

ここに、

R_c：倒壊率 (%)

I：震度

I₀：R_c = 0 を与える最大の震度 (未定係数)

I₁₀₀：倒壊率が100%に達する震度 (未定係数)

n：未定係数 (震度と倒壊率の非直線的な関係を与える)

曲線の「あてはめ」の残差は、つぎの式で評価した：

$$Res = \sum_i (R_{ci} - r_{ci})^2 \dots\dots\dots(7)$$

ここに、

Res：残差

R_c：倒壊率 (データ)

r_c：倒壊率 (計算値)

i：震度を表す添え字 (I₁；I₁=11, I₂=10, I₃=9, I₄=8, I₅=7)

回帰分析の結果を表2と図8に示した。

表2 倒壊率曲線の回帰係数

建物種別	回帰係数		
	I ₀	I ₁₀₀	n
煉瓦承重壁 (単層)	4.53	11.10	2.80
(多層)	6.92	11.26	1.75
木造・組積詰め壁 (単層)	4.21	11.44	3.31
農村建物 (各種構造混在, 単層)	4.70	11.22	2.57
全種別、一括で回帰	4.29	11.23	3.11

Collapse Rate (%)

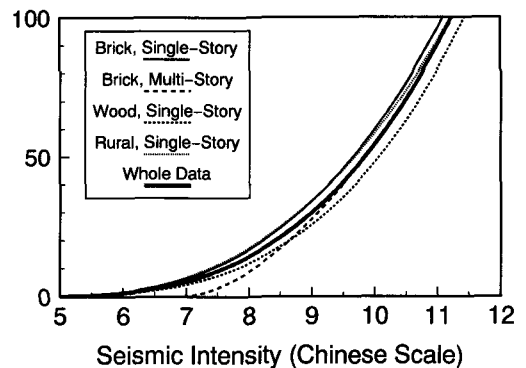


図8 建物倒壊率の回帰曲線

構造種別ごとの倒壊率関数は、震度の変化に対する倒壊率の全体的な推移の様子のみならず、値そのものについてもよく似ていることが明らかになった。唐山地震の被災域という限られた条件のもとでの、きわめて固有性の高い特徴であるに止まるが、地域内のあらゆる種類の建物の脆弱性が、

⁶⁾ 5階級に分類された被害程度 (倒壊—嚴重破壊—中等破壊—輕微破壊—基本完好) の最上位にあたる。被害状況は、木造建物 (組積詰め壁) では柱が倒れ、あるいは屋根が落ちる；承重壁建物では壁が倒れ、あるいは屋根が落ちる、と記されている。これに対し、「嚴重破壊」の被害状況は、木造建物では柱・梁の継ぎ手の抜け出しや大きな傾斜が発生、あるいは外壁の一部が大きく崩れる；承重壁建物では壁の大きな亀裂や外傾、あるいは局部的な崩れが生じる、と説明されている。

⁷⁾ この2つは、6階級に分類された被害程度 (全毀—倒壊—嚴重破壊—中等破壊—輕微破壊—基本完好) の最上位にあたる。「全毀」は、すべて、または上部の数階が端から端まで完全につぶれたもの、あるいは建物の大部分がつぶれ、局部的に残存部分があるもの。「倒壊」は、長手方向の外壁がすべて倒れたもの；最上階の大部分が倒壊したもの (木造の屋根を持つ建物の場合)；承重要素が部分的に倒壊したものを含む。「嚴重破壊」には、大規模な修理を行えば再度使用が可能な場合と、修復の価値がない場合が含まれるとされているため、「嚴重破壊」の一部を「修復不可能」に含めることも考えられる。しかし、「嚴重破壊」の占める割合があまり大きくないことを考慮し、その考えは採用しなかった。

ただ一つの倒壊率関数によって評価できることになる。これによって、唐山地震での被害に注目する限り、建物種別の構成比（棟数比）が与えられなくても、死者数の評価には差し支えないことが分かった。

5. 死者発生率

死者の発生分布に関しては、表3に示すようなデータが公にされている（Wang et al., 1986）。

このデータを所与の条件とし、つぎのような一般形をもつ関数（Coburn et al., 1989などを参考にして決定）の最適化を行った：

$$R_f(R_c) = R_{f100} \cdot R_c^n \dots\dots\dots(8)$$

ここに、

- R_f : 死者発生率（死者数/人口；％）
- R_c : 建物倒壊率（％）
- R_{f100} : 建物倒壊率が100％のときの死者発生率（％）[未定係数]
- n : 未定係数（建物倒壊率と死者発生率の非直線的な関係を与える）

なお、「震度11の地域での平均的な死者発生率が25％」（Wang et al., 1986；p. 53）という条件を加えることによって、式（8）をつぎのように書き改め、ただ一つの未定係数をもつ問題として解くことにした（震度11における平均的な建物倒壊率は、図6にもとづいて90％と与えた）：

$$\left. \begin{aligned} R_f(R_c) &= R_{f100} \cdot R_c^n \\ R_{f100} &= 25 / (90^n) \end{aligned} \right\}$$

$$\therefore R_f(R_c) = [25 / (90^n)] \cdot R_c^n \dots\dots\dots(9)$$

最適化のための残差の評価は、つぎの式で行った：

$$Res = \sum_i (R_{fi} - r_{fi})^2 \dots\dots\dots(10)$$

ここに、

Res : 残差

R_f : 死者数（データ）

r_f : 死者数（計算値）

i : 地域を表す添え字（ $i=1$: 唐山市； $i=2$: 唐山地区）

式(9)の説明変数 R_c は、前の2つの節で導いた、楕円近似による震度分布モデルと建物の倒壊率関数を用いて計算した。死者数の計算は行政単位ごとに行い、唐山地区（唐山市をのぞく）の死者数については、該当する行政単位での結果を足し合わせて求めた。

死者の発生分布をもっとよく説明する n の値と、それに対応する R_{f100} の値はつぎのように求められた：

$$n = 1.96$$

$$R_{f100} = 30.7 (\%)$$

最適化された死者率関数を図9に示した。また、この死者率関数を用いて推定した死者の発生分布（市・「県」べつ）を表4と図10に示した。なお、

表3 死者の発生分布

地域	死者数(人)
唐山市	135,919
唐山地区（唐山市を除く）	69,065
合計	204,984

出典：Wang et al. (1986)；p. 49

Fatality Rate (%)

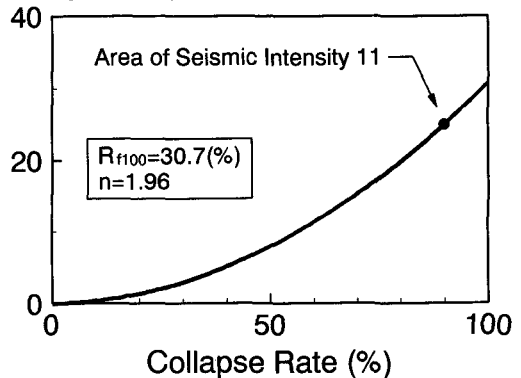


図9 死者率関数

表4 死者数の推定結果

地域	死者数(人)	
	資料	推定*
唐山 Tangshan 市	135,919	123,651
唐山地区(唐山市を除く)		
豊潤 Fengrun	—	21,943
玉田 Yutian	—	5,284
遵化 Zunhua	—	3,141
遷西 Qianxi	—	1,450
遷安 Qian'an	—	2,772
滦県 Luanxian	—	7,361
滦南 Luannan	—	6,664
楽亭 Leting	—	1,890
柏各庄 Baigezhuang(農墾区)	—	2,248
豊南 Fengnan	—	18,024
昌黎 Changli	—	1,801
盧竜 Lulong	—	1,442
撫寧 Funing	—	596
秦皇島 Qinhuandao(市)	—	216
計(唐山市をのぞく)	69,065	74,832
合計	204,984	198,483

*最適化された倒壊率関数および死者率関数による

筆者らの知る限り、既存の出版物のなかに、市・「県」べつの死者数を掲載したものはなく、この推定の妥当性を直ちに検討する方法は見あたらない。

6. おわりに

唐山地震に注目し、建物倒壊による死者の発生過程を記載するマクロ定量モデルを作成した。収集した震後調査のデータをもとに、1) 震度と建物倒壊率の関係(倒壊率関数)、2) 建物倒壊率と死者発生率の関係(死者率関数)を誘導し、これによってモデルの主要部分を構成した。

このモデルへの入力情報として、唐山地震の震度分布と人口分布を与え、死者の発生分布を推定した。この事例研究では、地震当時の唐山地区(面積約16,500 km²、人口約700万で、15の行政単位で構成される)を対象として、行政単位べつの死者数を算定した。今のところ、この推定値と直接に比べられる実データは入手できていない。既存の出版物のなかには、これを取めたものはないと思

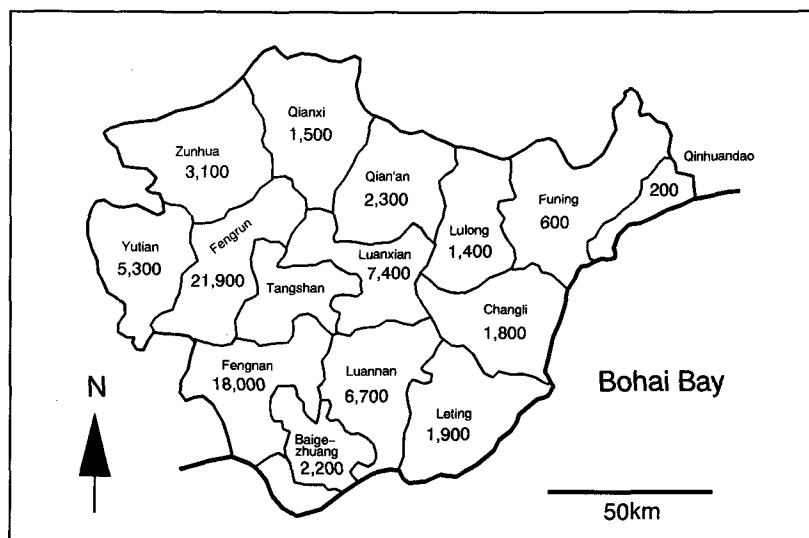


図10 死者の発生分布(推定)

われる。今後の課題の一つとして、この研究で得られた推定結果に対する精度の検討があげられる。

この研究で用いた資料には、北海道大学工学部の村上ひとみ・岡田成幸の両氏との協同研究を通じて収集したものが多い。記して感謝する。

文 献 一 覧

- Chandra, Umesh
1979 "Attenuation of intensities in the United States", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 69, No. 6, pp. 2003-2024.
- Chen, Yong, Tsoi Kam-ling, Feibi Chen, Zhenhuan Gao, Qijia Zou, and Zhangli Chen (eds.)
1988 The Great Tangshan Earthquake of 1976. An Anatomy of Disaster, Pergamon Press, Oxford, U. K., 153 pp.
- Coburn, A. W., A. Pomonis, and S. Sakai
1989 "Assessing strategies to reduce fatalities in earthquakes," Proceedings of International Workshop on Earthquake Injury Epidemiology for Mitigation and Response, July 10-12, 1989, The Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland, U. S. A., pp. P107-P132.
- 太田 裕・村上ひとみ・Andrew Coburn
1990 「20世紀における地震被害の概観」『第8回日本地震工学シンポジウム—国際防災の10年記念—論文集』第一分冊, pp. 37-42.
- Power, Maurice S., Djamel El Foul, Charles C. Thier Jr, Frank H. Swan, Robert R. Youngs, A. Boudiaf, M. Khorchi, Nicolas F. Forell, and George G. Mader
1991 "Seismic microzonation of the Ech Cheliff Region, Algeria," Proceedings of Fourth International Conference on Seismic Zonation, August 25-29, 1991, Stanford, California, U. S. A., Vol. I, pp. 539-588.
- Shiono, Keishi
1992 "An assessment model for earthquake fatalities," Proceedings of the Second US-Asia Conference on Engineering for Mitigating Natural Hazards Damage, June 22-26, 1992, Yogyakarta, Indonesia, pp. E10/1-E10/8.
- 塩野計司
1992 a 「地震時人的被害のマクロプロセスモデル—プロトタイプの構築とモデルの適用性—」『地域安全学会論文報告集No.2 (1992)』1992年5月15~16日, 静岡市, pp. 187-194.
- 塩野計司
1992 b 「地震時人的被害の即時推定—国際救助活動の効率化に向けて—」『土木計画学研究・論文集』, Vol. 10, 土木学会, pp. 215-222
- Shiono, K., F. Krimgold, and Y. Ohta
1991 "A method for the estimation of earthquake fatalities and its applicability to the global macro-zonation of human casualty risk," Proceedings of Fourth International Conference on Seismic Zonation, August 25-29, 1991, Stanford, California, U. S. A., Vol. III, pp. 227-284.
- Shiono, Keishi, Frederick Krimgold, and Yutaka Ohta
1991 "Post-event rapid estimation of earthquake fatalities for the management of rescue activity," Comprehensive Urban Studies, Center for Urban Studeis, Tokyo Metropolitan University, No. 44, pp. 61-106.
- Wang, Ziping et al./《唐山地震始末》編写組
1986 『瞬間と十年—《唐山地震始末》』地震出版社、中国、北京、263 pp.,中国語.
- Wu, Tianzhu and Yucheng Yang/鄔 天柱・楊 玉成
1985 「多層磚房的震害統計」『唐山大地震震害』地震出版社, 中国, 北京, Vol. 2, pp. 6-18, 中国語.
- Yang, Lihua/楊 理華

1985 「唐山地震の烈度分布」『唐山大地震震害』
地震出版社, 中国, 北京, Vol. 1,
pp.124-131, 中国語.

1985 「唐山地区城郷平房震害」『唐山大地震震
害』地震出版社, 中国, 北京, Vol. 2,
pp.186-200, 中国語.

Yang, Derong and Haifeng Di/楊 徳栄・邸 海峰

Key Words (キー・ワード)

Earthquake Casualty(地震時人的被害), Earthquake Fatality(地震による死者), Damage Estimation (被害予測), Damage Distribution (被害分布), Tangshan Earthquake (唐山地震)

A Macro Process Model for the Estimation of Earthquake Fatalities
—Case Study of the 1976 Tangshan, China Earthquake—

Keishi Shiono* and Yutaka Ohta**

*Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

**Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Comprehensive Urban Studies, No. 47, 1992, pp. 143—154

Using published data of the 1976 Tangshan, China earthquake, we carried out a case study to estimate the spatial distribution of deaths in the disaster. We selected, as a study area, a region that consisted of fifteen administrative units in the affected area of the 1976 earthquake and calculated the deaths by administrative unit. In the estimation, we applied a macro process model of which framework we have proposed in our previous studies. We composed the model of two empirical equations of 1) collapse rate function and 2) fatality rate function, which we derived on the basis of the published data. As input information to the model, we used the distribution of 1) seismic intensity and 2) population in the 1976 earthquake.