

論文

震度曝露人口による震災ポテンシャル評価の試み

能島 暢呂*・久世 益充**・杉戸 真太***・鈴木 康夫****

Population Exposure to Seismic Intensity for
Assessment of Seismic Disaster PotentialNobuoto NOJIMA*, Masumitsu KUSE**, Masata SUGITO***
and Yasuo SUZUKI****

Abstract

A simple measure, PEX (population exposure to seismic intensity), has been proposed for assessment of seismic disaster potential. The PEX is aimed at representing the overlapped effect of two major contributors to the impact of seismic disaster: the distribution of seismic intensity as a natural factor, and that of population as a social factor which is highly correlated with built environment and socioeconomic activities. The PEX is evaluated as an aggregation of spatially distributed population exposed to a certain level of seismic intensity. Retrospective assessment has been done for five destructive earthquakes in Japan (the 1891 Nohbi earthquake, the 1944 Tohankai earthquake, the 1945 Mikawa earthquake, the 1948 Fukui earthquake and the 1995 Hyogoken-Nambu earthquake). Prospective assessment has also been done for six prefectures (Gifu, Aichi, Mie, Shizuoka, Nagano and Yamanashi) potentially affected by three types of anticipated earthquakes in Nankai Trough region (the Tokai, Tohankai and their coupled earthquakes). The results in as measured by PEX have been shown in comparative perspective: difference in magnitude, intra- / inter- plate events, past / future disasters. The proposed measure can be used for macroscopic assessment of damage as well as for intuitive understanding of the impact of seismic disasters.

キーワード：震度，曝露人口，災害比較，建物被害，震害ポテンシャル

Key words : seismic intensity, population exposure, comparison of disaster, building damage,
seismic disaster potential

* 岐阜大学工学部
Dept. of Civil Engineering, Gifu University
** 岐阜大学非常勤研究員
Post-Doctoral Fellow, Gifu University

*** 岐阜大学流域圏科学研究センター
River Basin Research Center, Gifu University
**** アジア航測株式会社
Asia Air Survey Co., Ltd.

本論文に対する討論は平成 17 年 5 月末日まで受け付ける。

1. はじめに

わが国では、兵庫県南部地震後の数年間のうちに高密度な強震観測網が全国規模で展開され、地震後の震度分布がより詳細に推定されるようになった。アンケート調査法(太田ら, 1979)や建物被害関数を用いた震度推定も広く行われ、推定精度や空間分解能の向上に寄与している。想定地震に関しても、地震動予測手法の高度化や地盤データベースの充実によって、詳細な震度分布の予測が可能となっている。

マップで示された震度分布は、揺れの大きさとその空間的広がりを同時に表わすものであり、地震が及ぼすであろう影響範囲を適切に表現している。これを用いて震度6や震度7となる地域の面積を算定すると、地震の影響範囲を定量的に指標化することができる。その場合の目的は、強い揺れの発生頻度と要因の分析(翠川・五艘, 1997)や、歴史地震の震度分布に基づくマグニチュード推定(村松, 2001)、あるいは震度分布の広域性の評価(久世ら, 2003 a, 2003 b)などであり、自然現象としての側面に主眼を置いたものであるといえる。

地震が社会に及ぼす潜在的影響を評価するには、こうした自然条件(誘因)に加えて社会条件(素因)を併せた重ね合わせの効果を考慮することが重要である。人口分布は施設や社会経済活動の分布と相関が高いため、社会条件を表す単一の指標として適切なものと考えられる。これまで、都市災害の特質解明(河田, 1991)、人的被害の危険度比較(諸井・武村, 1999 a)、活断層の影響評価(鈴木ら, 2000)などに人口統計あるいは人口密度の利用事例があるが、震度分布との対応を詳細に検討した研究はなされていない。

このような背景のもとで本研究では、地震災害の誘因と素因を代表する指標としてそれぞれ「震度」と「人口」を採用し、第一義的な震災ポテンシャル指標としての意味を持たせた「震度曝露人口」を提案する。中部地方に大きな被害をもたらした4地震(1891年濃尾地震, 1944年東南海地震, 1945年三河地震, 1948年福井地震)および1995年兵庫県南部地震の5つの既往地震と、南

海トラフ沿いの想定3地震(想定東海地震, 想定東南海地震, およびそれらの連動型地震)を対象とした震度曝露人口の推計事例を示し、比較を行う。「震度曝露人口」は、人的被害, 物的被害, 経済被害など特定の被害指標と直結するものではないが、揺れの面的広がりを人口規模で表現したものであるとして、地震間・時代間・地域間での相互比較を可能とする包括的尺度と位置付けられる。

以下、本文における震度の標記法については、「震度6.0」のように小数点以下1桁まで表示した場合には連続量としての震度を表わし、「震度6」のように整数表示した場合には、震度階を表わすものとする。

2. 震度曝露人口の定義と算出方法

環境リスク評価において「曝露(exposure)」とは、発がん性物質, 汚染物質, 放射線などの有害因子に曝(さら)されることを意味する(Kammen & Hassenzahl, 1999)。その曝露規模を人数で表現した指標が「曝露人口」である。本研究では「震度曝露人口(PEX; population exposure to seismic intensity)」を「所定の震度レベルに曝される人数」と定義し、震度と人口の空間分布特性の重なり合いを考慮した震災ポテンシャル指標とすることを提案する。その算出方法はきわめて単純なものであり、対象地域内において震度 I_k の揺れに曝される人口を集計し、その結果が n_k と求められたならば、当該震度の曝露人口を $PEX(I=I_k)=n_k$ とするものである。あらゆる震度に対してこの操作を行うと、対象地域での震度曝露人口の頻度分布が得られる。

震度や人口データを収集・推定する基本単位としては、既往地震の場合は市区町村や都道府県などの行政界が、想定地震の場合は約1 kmあるいは約500 mの標準地域メッシュが主体となろう。震度の分解能はその評価手段や利用データにより異なると考えられるが、基本的には0.1刻みで評価して頻度分布を作成しておき、必要に応じて震度階単位にまとめることとする。

対象地域全域に対して震度曝露人口の集計を行うと、空間的分布についての情報は完全に失われ

てしまう。この欠点を補うには、都道府県や市区町村といった行政界あるいは社会経済的にまとまりを持った都市圏など、目的に応じて集計単位を定めて震度曝露人口を分割集計すればよい。これにより地震の揺れが各地域にもたらす影響をマクロ的に比較評価することが可能となる。

都市化が進行して人口や財が集積すると、それに伴って災害脆弱性が高まることはしばしば指摘されてきた。集積度合いを人口に代表させて評価される震度曝露人口は、特定の地震における地域間比較や、時代背景が異なる複数の地震の比較に有効活用できる。

3. 既往地震の震度分布の推定方法

1996年改訂の気象庁震度階は、震度計で器械観測された計測震度により定められる(気象庁, 1996)。しかし観測体制が整備される以前の地震では、基石転倒や建物などの被災状況は唯一の震度推定手段とっていいし、今日でも震度分布を詳細に把握する際には有力な手がかりである。

飯田(1985)は、濃尾地震等における震度推定の基準として「震度7:住家全壊率30%以上, 震度6:住家全壊率30%以下, 震度5~6:住家全壊はほとんどないが被害あり, 震度5:煙突や石垣などの破壊あり」を採用している。これは1949年改訂の気象庁震度階に「震度5~6」を追加したものに対応しているが、「住家全壊率1%以下を震度5~6としたが震度6に近い」との見解を示した上で、震度5~6と判定された領域の大半を震度6に含めている。一方、武村・諸井(2001)は、1923年関東地震の詳細震度分布の推定基準として、住家全壊率0.1%, 1%, 10%, 30%をそれぞれ震度5強, 6弱, 6強, 7の下限とし、各震度階に計測震度の中央値5.25, 5.75, 6.25, 6.75を割り当てている。また翠川・藤本(2002)は、最近の被害地震における計測震度と住家被害率の関係を調べ、全壊率が震度5強の領域でほぼ0%, 震度6弱の領域で数%以下であることを明らかにしている。

これらを参考に本研究では、計測震度相当の連続量として震度を評価するため、兵庫県南部地震

の低層独立建物の全壊率より算出された被害関数(山口・山崎, 1999)を用いて震度を逆算することとした。図1に示すようにこの被害関数は、平均6.74, 標準偏差0.403の正規分布でモデル化されたもので、岡田・高井(1999)による改訂版自治体統計の全壊(Damage Grade D4以上)率の被害関数(平均6.85, 標準偏差0.565の正規分布)に近い被害関数となっている。震度6弱, 6強, 7の下限はそれぞれ全壊率0.1%, 3.3%, 28%である。ただし本研究では、全壊率99%に相当する震度7.68を震度の上限値とした。

なお建物の被害状況から震度分布を推定する場合には、(1)建物属性の時代変遷と老朽化の影響、(2)被災度分類(全壊, 全潰, 半壊, 半潰, 一部損壊, 大破, 小破)の定義、(3)津波・液状化・火災の影響を除去した震動による被害の抽出、(4)被害統計の集計単位(市区町村, 町丁目)の相違による影響、(5)被害関数の不確定性の影響、などの要因に注意する必要がある(諸井・武村, 1999b; 武村ら, 1998, 2001; 岡田・高井, 1999; 岡田ら, 2003)。

これらのうち要因(1)および(2)は震度推定に特に大きな影響を及ぼすものである。まず要因(1)に関しては、1950年建築基準法制定以前の建築物は、同じ震度でも現在の建築物より大きな被害を受けたと考えられる。従って、兵庫県南部地震の被災データに基づく被害関数を過去に遡って適用して震度を推定すると過大評価となる。要

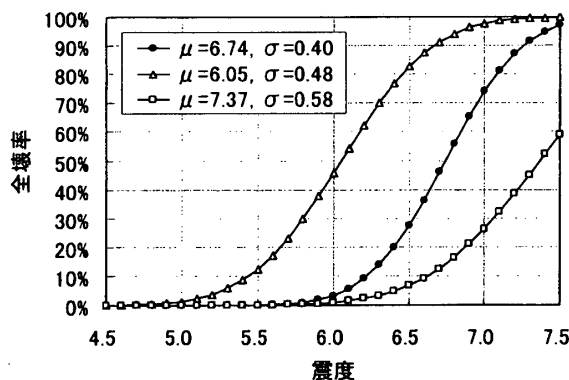


図1 震度推定のための建物全壊率の被害関数(最終的に $\mu=6.74$ の曲線を使用)(山口ら, 1999, 2000; 岡田・高井, 1999)

因(2)に関して岡田ら(2003)は、1948年福井地震における複数調査団の被災度分類方法を比較し、当時の全・半潰(あるいは全・半壊)をあわせたものが岡田・高井(1999)による全壊(Damage Grade 4以上)にほぼ対応していることと、全潰(あるいは全壊)は平屋建ての屋根(2階建ての場合は2階部分の床)が着地した状態(Damage Grade 5, 6)に相当することを明らかにしている。このため、当時の被害統計に基づく全壊率(あるいは全潰率)を兵庫県南部地震の被災データに基づく被害関数に適用して震度を推定すると過小評価となる。

本研究では、4.で対象とする1948年以前の4つの地震について、こうした影響を考慮した震度推定を試みた。まず要因(1)への対策として、山口・山崎(2000)が1995年兵庫県南部地震の被災データに基づいて構築した1951年以前築造の木造建物全壊率の被害関数(平均6.05, 標準偏差0.477の正規分布, 図1参照)を適用した結果、推定震度が著しく過小評価となった。築年の古い建物が老朽化のため被害を受けやすかったことと、要因(2)の被災度分類の相違が影響していると考えられる。次に要因(2)への対策として、岡田・高井(1999)による木造軸組構造のDamage

Grade 5以上の被害関数(平均7.37, 標準偏差0.582の正規分布, 図1参照)を適用した結果、推定震度が著しく過大評価となった。この被害関数は震度階級解説表の定性的表現を関数化したもので、現在の木造建築を前提としているため、要因(1)の耐震基準の相違の影響が現れたものと考えられる。

このように複数の影響要因に個別に対処するのは適切とはいえない。諸要因を同時に考慮した被害関数を適用するのが理想的であるが、利用可能なものが提案されていないのが現状である。結果的に本研究では、1944年東南海地震における津波の影響と、1948年福井地震における火災の影響に関しては考慮したが、その他の要因に関する修正を行うには至らず、全壊率に基づく従来の震度階級評価法を、計測震度相当の評価法に拡張するにとどめている。今後、震度分布の細密化と高精度化を図るうえでは、さらに詳細な検討が必要であることは論を待たない。

4. 震度分布と人口分布の推定

本研究では、以下に示す既往5地震と想定3地震を震度曝露人口の推計対象とした。表1に既往5地震の主な被害統計を示す。

表1 対象とした既往地震の主な被害統計と想定地震の諸元

地震	タイプ	発生日時	マグニチュード	死者(人)	負傷者(人)	住家全壊**	住家半壊**	その他の主な被害	文献
1891年濃尾地震	内陸型	10月28日 6:38 am	M=8.0	7885	21329	93421	70027		飯田(1985)
1944年東南海地震	海溝型	12月7日 1:35 pm	Mj=7.9	*1223	2864	17611	36565	流失家屋 3129戸, 浸水家屋 8816戸	飯田(1985)
1945年三河地震	内陸型	1月13日 3:38 am	Mj=6.8	*2306	3866	7221	16555		飯田(1985)
1948年福井地震	内陸型	6月28日 4:13 pm	Mj=7.1	3769	22203	36184	11816	焼失家屋 3851戸	宇佐美(1986)
				*5268		35437			GHQ(1946)
1995年兵庫県南部地震	内陸型	1月17日 5:46 am	Mj=7.3	6432	10683	104906	144274	住家全焼 6148棟, 住家半焼 69棟	消防庁(2000)
想定東海地震	海溝型	-	Mw=7.96	-	-	-	-	-	久世ら(2003)
想定東南海地震	海溝型	-	Mw=8.15	-	-	-	-	-	久世ら(2003)
想定東海・東南海連動型地震	海溝型	-	Mw=8.27	-	-	-	-	-	久世ら(2003)

注* : 行方不明含む。 注** : 兵庫県南部地震では「棟」単位, その他の地震では「戸」単位。

4.1 1891年濃尾地震(対象:岐阜県・愛知県)

日本内陸で起こった最大の地震で、被害は愛知・岐阜を中心に福井・滋賀・三重などあわせて2府12県に及んだ。本研究では、飯田(1985)が既往の震害資料を再編して整理した結果のうち、973市町村(岐阜県710,愛知県263)の住家戸数と住家全壊数を利用した。複数文献の被害統計が記載されている市町村については、岐阜県では岐阜測候所(1894)の統計を全面的に採用し、愛知県では原則として飯田(1985)による再評価値を採用して補足的に愛知県警察部(1892)による統計を用いた。住家全壊率が30%を超える市町村は、岐阜県で436,愛知県で109に及んでいる。特に根尾谷断層・梅原断層の近傍と木曾三川の集まる流域の濃尾平野北西～中部において住家全壊率が90%を超える市町村が多く、岐阜県で162,愛知県で8にのぼる。

3.に示した方法により推定した震度分布を震度階表示で図2(a)に示す。当時の各市町村のほぼ中央に位置する代表点にプロットしたものであり、当該地点での震度を表わすのではない(4.2～4.4も同様)。また背景地図には2002年度末現在の市区町村界を用いた(4.2～4.3も同様)。震度7は断層近傍から濃尾平野中西部一帯に広がり、現在の名古屋市中村区や中川区などもこれに含まれている。震度6強は震度7の周辺の比較的狭い範囲にとどまっているが、震度6弱はかなり広範囲に及び、岐阜県東濃地方から愛知県三河地方までに達している。ただし木曾川左岸、三河地方、知多半島の町村ではデータが欠損していて詳細は不明である。中央气象台(宇佐美,1986)による震度分布やアンケート調査による震度分布(村松ら,2002)によると、震度6の領域はさらに伊勢湾西岸、琵琶湖東岸、福井平野、遠州灘沿岸にまで及んでいる。

市町村ごとの人口については、飯田(1985)の資料に人口が記載されている場合にはその数値を用いた。人口が記載されていない愛知県内の94町村については、県内の総戸数と総人口の比から1戸あたり平均人数を4.76(人/戸)として求め、これに町村ごとの総戸数を乗じて推定した。得ら

れた人口分布を図2(b)に示す。震度とマッチングできた人口は約117万人である。岐阜県下では1,000人以下の市町村が多く、愛知県下では1,000～3,000人のところが多い。主要都市の当時の人口は、岐阜市約2.9万人、大垣市約1.8万人、名古屋市約16万人であった。

4.2 1944年東南海地震(対象:愛知県・静岡県・三重県・岐阜県・奈良県)

被害は愛知・静岡・三重を中心に、岐阜・奈良・和歌山・大阪など1府12県に及んだ。本研究では、飯田(1985)が3種類の震害資料を再編して整理した387市区町村(愛知県121,静岡県114,三重県68,岐阜県55,奈良県29)の住家戸数と住家全壊数を利用した。複数の被害統計が記載されている愛知県と静岡県に関しては、飯田による再評価値を全面的に採用した。

震度分布は基本的に3.に示した方法で推定したが、三重県熊野灘沿岸については住家全壊の多くが津波によるため例外的な処理を加えた。伊勢湾沿岸から志摩半島にかけての住家全壊率はおよそ0.1～1%の範囲にあるが、地震後の踏査によると、熊野灘沿岸では震動被害はほとんど見られなかったとされている(鷺坂・黒沼,1945)。飯田(1985)は熊野灘沿岸地域の震度を5～6と推定している。本研究では、住家が震動被害を受けた後に津波により全壊・流失した可能性も考慮して、震動による住家全壊率を0.5%程度と仮定し震度6弱相当とした。

また太田川および菊川の中～下流域の低地は、縄文時代前期にはまだ入り江であったところに泥質土や砂泥質土が堆積して形成されたもので、N値10以下の軟弱地盤層の厚さが10～30mにも達している(土,2002)。この付近では液状化痕跡が多く確認されており(若松,1991)、液状化による被害も相当あったと考えられる(飯田,1985)。一方、住家の倒壊状況やその目撃談は震動被害が多数あったことを示唆しており、現に死亡率も高い数値を示している(井上,1945;本間ら,1945)。液状化と震動のいずれが支配的か特定することは困難であることから、本研究では全壊率

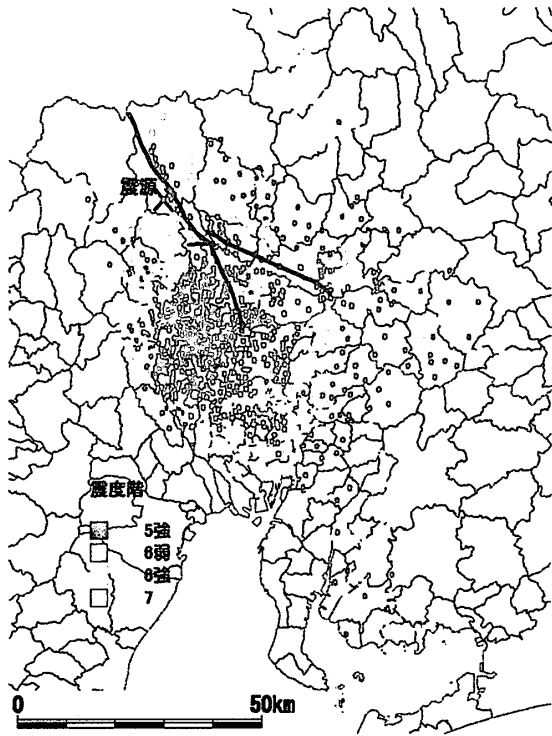


図 2 (a) 1891 年濃尾地震の推定震度分布 (飯田 (1985) のデータに基づく)

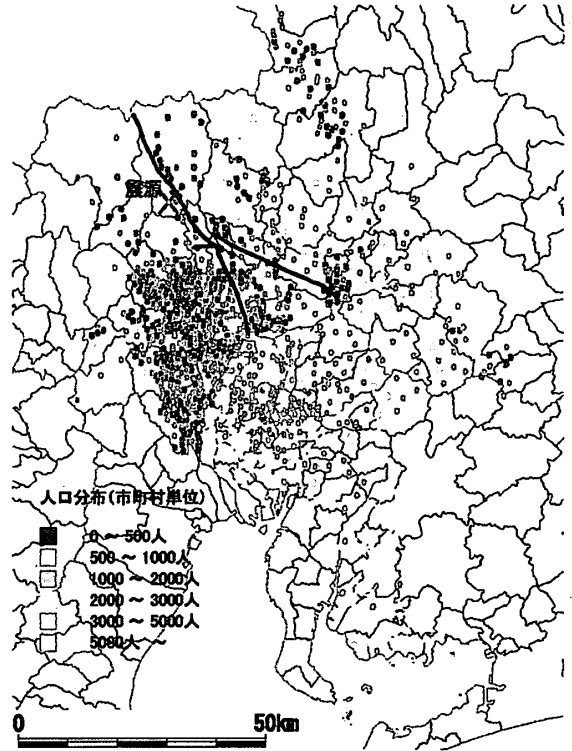


図 2 (b) 1891 年濃尾地震の推定人口分布 (飯田 (1985) のデータに基づく)

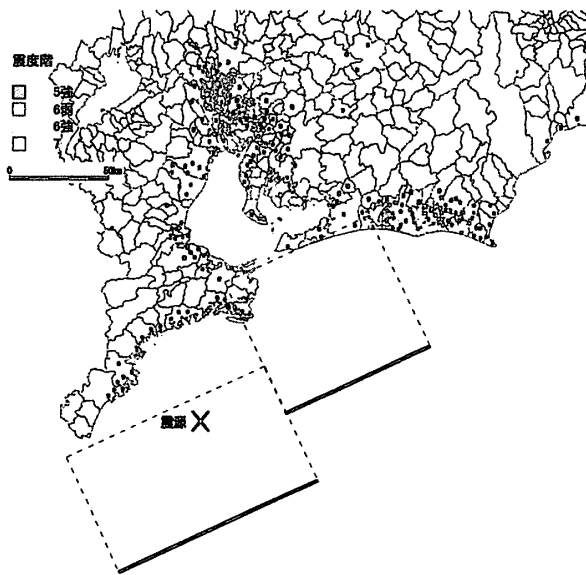


図 3 (a) 1944 年東南海地震の推定震度分布 (飯田 (1985) のデータに基づく)

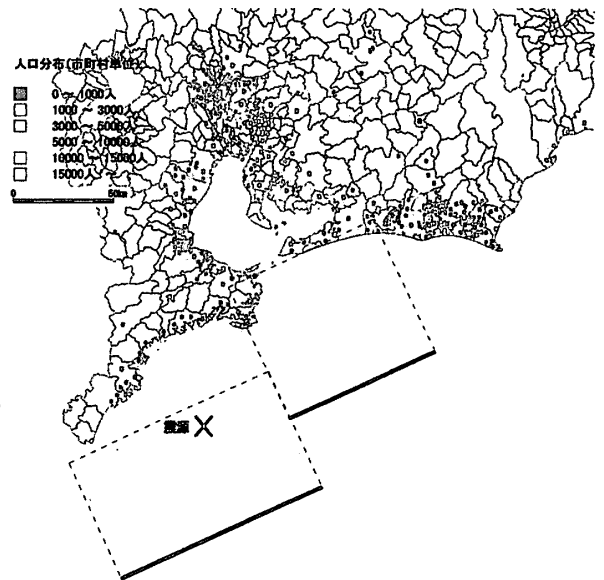


図 3 (b) 1944 年東南海地震の推定人口分布 (飯田 (1985) のデータに基づく)

の原因を分離しないこととした。

推定された震度分布を震度階表示で図3(a)に示す(奈良県については図示省略)。当時の中央気象台による震度分布(宇佐美, 1986)より震度6以上の領域をやや広く評価する結果となっている。震度7は、震源距離よりも軟弱地盤の影響が現れた特異な分布となっており、上に述べた静岡県太田川および菊川の中～下流域と、愛知県幡豆郡福地村(現西尾市)に現れている。震度6強は、濃尾平野南部から知多湾沿岸、渥美半島、遠江地方にかけての広い市区町村と静岡市付近に分布している。震度6弱は、震度6強の周辺地域と三重県の伊勢湾から遠州灘の市区町村に分布している。

次に被災市区町村の人口推定について述べる。使用資料(飯田, 1985)には市区町村ごとの総人口は記載されておらず、総戸数が記されているのみである。そこで、震災当時の各県の人口と世帯数の比を求めたところ、1世帯あたり平均人数は、愛知県4.90(1940年の5.05と1945年の4.85から内挿)、静岡県5.49(1940年の5.60と1947年の5.41から内挿)、三重県4.84、岐阜県5.29、奈良県4.69(単位: いずれも人/世帯)と算出された。各県内における偏りがなく1世帯が1戸に相当すると仮定して、1世帯あたり平均人数に総戸数を乗じて人口を推定した。得られた人口分布を図3(b)に示す(奈良県については図示省略)。震度とマッチングできた人口は約427万人である。人口増加や市町村統合などの影響で、市区町村人口は濃尾地震の時点より増加しており、岐阜・三重・静岡の各県では1,000~10,000人の市町村が多い。愛知県下では5,000人以上の市区町村が多く、名古屋市13区の人口は一区あたり6~12万人に達しており、あわせて115万人を超える。ただし戦時中ゆえに兵役や疎開による人口変動のため、推定人口の信頼度は高いとはいえない。

4.3 1945年三河地震(対象: 愛知県)

被害は鉤状に連なった深溝断層(南東側)および横須賀断層(北西側)沿いの地域から、南西方向に開けた矢作川および矢作古川流域の沖積平野に広がった。本研究では、飯田(1985)による愛

知県内52市区町村の住家戸数と住家全壊数を利用して震度分布の推定を行った。各市区町村において複数の統計値が記載されている場合には、飯田自身による住家全壊率の記載があればこれを優先し、記載がなければ統計値の中で最大の値を採用した。これは「戦時中の被害は社会情勢上やや控えめに示してある場合が多くみられた」(飯田, 1985)ことを考慮したものである。

3. に示した方法により推定した震度分布を震度階表示で図4(a)に示す。中央気象台により発表された震度は三河地方および三重県の伊勢湾沿岸で震度5であるが(宇佐美, 1986)、これより高い震度を与える結果となっている。震度7は、横須賀断層沿いの地域と矢作川・矢作古川流域の一部町村に現れている。村落単位の微細震度分布(飯田, 1985)では深溝断層近傍の一部で震度7となっているが、市区町村単位のデータを用いた図4(a)ではそれが認められない。震度6強は西三河地方の南部一帯に広がり、震度6弱はさらに知多半島から名古屋市南部の一部地域に及ぶ。

被災市区町村の人口推定方法は、東南海地震の場合と同様であり、当時の愛知県の1世帯あたり平均人数4.9(人/世帯)に市区町村ごとの総戸数を乗じることによって推定したが、精度は高いといえない。得られた人口分布を図4(b)に示す。震度とマッチングできた人口は約80万人である。

4.4 1948年福井地震(対象: 福井県北部・石川県南部)

被害は福井平野を中心に福井県北部から石川県南部の地域に集中した。本研究ではGHQ報告書(1949)に記載された50市町村(福井県46、石川県4)の住家戸数と住家全壊数を利用して震度推定を行った。福井市ほか5町では、焼失戸数を全戸数から差し引いたうえで震度推定を行い、火災の影響を除去した。全壊率が50%を超える市町村数は50のうちの32に達し、80%を超えるものは19にものぼった。翌1949年には気象庁震度階級に震度7が加えられた。

3. に示した方法により推定した震度分布を震度階表示で図5(a)に示す。背景図にはGHQ報

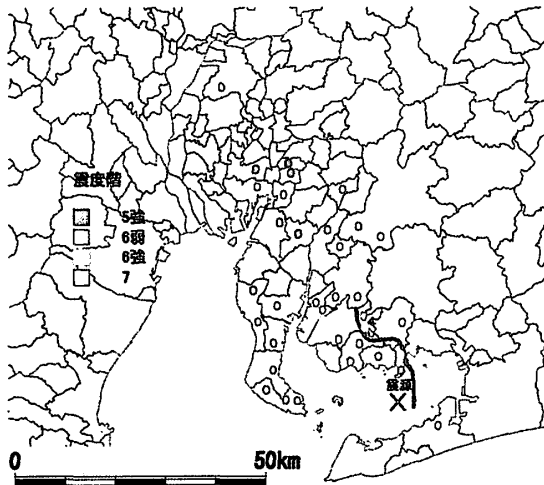


図 4 (a) 1945 年三河地震の推定震度分布 (飯田 (1985) のデータに基づく)

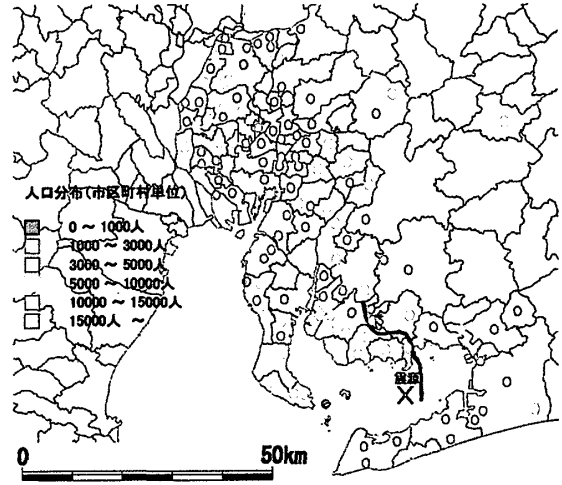


図 4 (b) 1945 年三河地震の推定人口分布 (飯田 (1985) のデータに基づく)

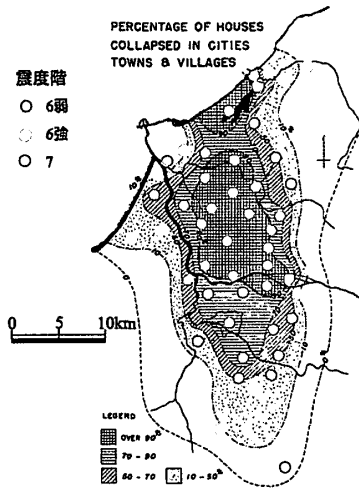


図 5 (a) 1948 年福井地震の推定震度分布 (GHQ (1948) に加筆)

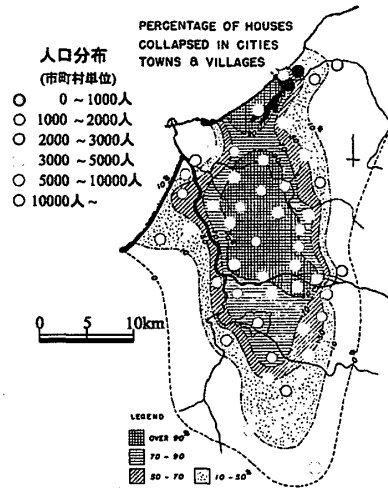


図 5 (b) 1948 年福井地震の推定人口分布 (GHQ (1948) に加筆)

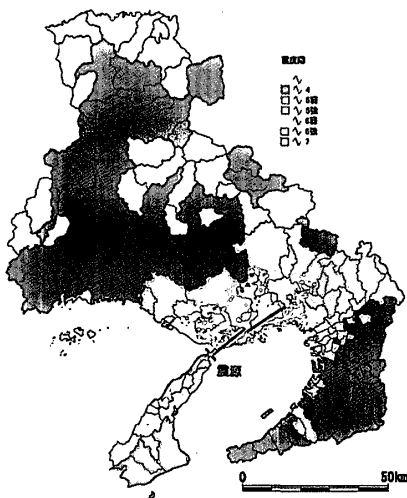


図 6 (a) 1995 年兵庫県南部地震の推定震度分布

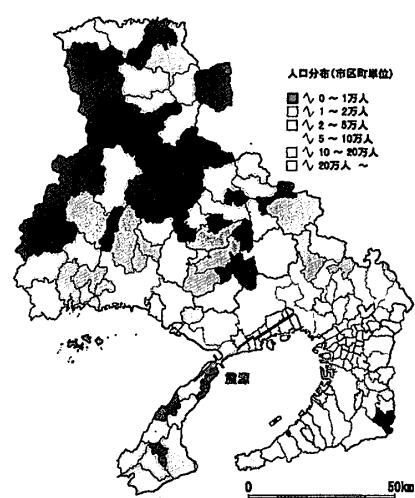


図 6 (b) 1995 年兵庫県南部地震の推定人口分布

告書(1949)の住家全壊率のコンター図を用いている。震度7の領域は、東西約15 km、南北約30 kmの楕円形状であり、内部に36もの市町村を含んでいる。震度7の範囲から5~10 km離れた場所では住家全壊はほとんど見られず、震度6強および6弱の領域は極端に狭いのが特徴的である。

人口については、GHQ報告書(1949)に記載された数値を利用した。得られた人口分布を図5(b)に示す。震度とマッチングできた人口は約29万人であり、人口1,000人以上の市町村がほとんどであるが、都市規模はまちまちであり、福井市が8.6万人と突出して大きい。

4.5 1995年兵庫県南部地震(対象:兵庫県・大阪府)

兵庫県南部地震の震度分布については、広域をカバーするため、既往研究の調査結果を統合して震度分布を求めることとした。山口・山崎(1999)は、神戸市7区(北区・西区以外)および西宮・芦屋・尼崎・宝塚・伊丹・川西の各市を対象として、建設省建築研究所(1996)が取りまとめた低層独立建物の全壊率(大破を含む)より町丁目単位で震度分布を推定しており、本研究ではこの結果を優先して利用した。村尾・山崎(1999)は兵庫県南部地震における被災度判定の基準が調査機関ごとに異なることを指摘しているが、この点で建設省建築研究所(1996)データは震災復興都市づくり特別委員会(日本都市計画学会関西支部・日本建築学会近畿支部合同)および兵庫県都市住宅部計画課が行った建築物被災度調査結果を数値化したものであり、判定基準は統一化されていると判断される(山口・山崎, 1999)。また淡路島の津名郡の4町(北淡・一宮・東浦・津名)については地区単位、その他の1市6町については市町単位でまとめられた住家全壊率を用いて震度を推定した。

建物の全壊が少なく震度推定ができない地区については、アンケート調査による震度推定結果を補完的に用いた。神戸・西宮・芦屋・尼崎・宝塚・明石の6市においては、高田ら(1996)が実施した太田ら(1979)の方法によるアンケート調査結

果(町・大字単位)を、簡易修正式(小山・太田, 1998)で補正して震度を推定した。兵庫県中北部地域と大阪府に関しては、井上ら(1999)による調査結果を簡易修正式(小山・太田, 1998)で補正した推定震度に基づいて、市区町村単位の平均値および標準偏差を算出した。さらに個人差に起因するばらつきを統計的処理(野崎ら, 2003)によって除去したうえで、各市区町村における震度の分布を評価した。

得られた推定震度分布を図6(a)に示す。震度7の領域はいわゆる「震災の帯」に集中し、その周囲地域の比較的狭い範囲に震度6強が分布している。震度6弱の領域はやや広がりを持つものの、被災地周辺に限定されている。大阪府では淀川より北部で震度5弱~5強、南部で震度4~5弱となっている。今回用いたデータは、それぞれ何らかの手段で観測震度との整合性が確認されていることから、相互の調整を施すことをしなかったが、詳細な分布を論じるには、多様なデータに基づく総合的判断(藤本・翠川, 1996)が必要となる。

人口データとしては、市区町村別推計人口(兵庫県は1995年1月、大阪府は1994年10月現在)を利用した。町丁目単位の人口は、市区町村人口を各町丁目に均等配分して簡易的に推定することとした。なお西宮市と尼崎市を対象として、町丁目単位の詳細な人口分布を用いた分析を行い、町丁目への均等配分による結果と大差がなく、簡易推定が妥当であることを確認している。得られた人口分布を市区町村単位で図6(b)に示す。震度とマッチングできた人口は兵庫県で約473万人、大阪府で約692万人、あわせて約1,165万人である。

4.6 想定東海地震(対象:岐阜・愛知・三重・静岡・長野・山梨の6県)

南海トラフ沿いの駿河湾から遠州灘の領域では1854年安政東海地震以降に巨大地震が発生しておらず、このいわゆる「空白域」を震源域とする想定東海地震の発生が危惧されている。中央防災会議(2001)は、微小地震記録やGPS観測、地殻構造探査などの最新の知見に基づいて、新たな想

定震源域を発表した。

久世ら (2003 a) はこれに基づいて地震動予測モデル EMPR (Sugito et al., 2000) の震源パラメータ (モーメントマグニチュード $M_w=7.96$ など) を設定し、工学的基盤面の地震動予測を行った。さらに、東海4県 (岐阜・愛知・三重・静岡) のメッシュ地盤データベースを構築して、地盤震動解析法 FDEL (杉戸ら, 1994) により地表面での広域震度分布を予測した。メッシュ地盤データベースは、各県がボーリング資料等に基づいて整備した地盤データをメッシュデータ化したもので、標準地域メッシュの一種である2分の1地域メッシュ (緯度15秒×経度22.5秒の約500mメッシュ) を単位としている。地震動予測手法やデータベースの詳細については、文献 (久世ら, 2003 a) を参照されたい。さらに久世ら (2003 b) は、長野・山梨を追加した6県のデータベースに更新し、上記手順で地表面での広域震度分布を予測した。対象メッシュは6県で約186,800メッシュに及ぶ。

図7 (a) に対象6県の震度分布予測結果を示す。図中、長方形は想定震源域を包含する領域で、これを複数の小断層に分割し、斜線部分で示す震源域にモデル化した。太線部分の小断層には相対的に大きなアスペリティを置いている。震源位置は、東海地域で高震度が予測されるケースを想定し、断層南側の地点に設定している。震度7の領域は駿河湾西沿岸部と御前崎周辺地域に見られ、甲府盆地の一部や静岡県の広い地域で震度6強、伊豆半島以西から愛知県東部、甲府盆地、諏訪湖周辺、伊那盆地、野辺山高原、岡崎平野で震度6弱、静岡・愛知・山梨・長野・岐阜の各県の広い地域で震度5強以上となった。

人口データについては、平成7年国勢調査に基づく地域メッシュ統計を利用した。3次地域区画 (約1kmメッシュ) と2分の1地域メッシュ (約500mメッシュ) が混在したデータであるが、震度の推定単位にあわせるため、全域を2分の1地域メッシュに再編成して利用した。図7 (d) はその分布を示したものであり、居住地人口であることからほぼ夜間人口に対応するものと考えてよい。

県別の人口は、岐阜県約210万人、愛知県約684万人、静岡県約370万人、三重県約179万人、長野県約219万人、山梨県約88万人で、6県計約1,751万人である。次の4.7および4.8でもこの人口データを用いる。

4.7 想定東南海地震 (対象：岐阜・愛知・三重・静岡・長野・山梨の6県)

南海トラフにおいて、遠州灘から熊野灘にかけての領域を震源域とした想定地震である。4.2の1944年東南海地震はこの領域で発生した地震で、以後60年が経過しており今世紀前半に発生する可能性が高いと考えられている。地震調査研究推進本部 (2001) は1854年安政東海地震や1944年東南海地震の津波記録や震度分布を参考にして設定した震源パラメータを公表しており、久世ら (2003 b) はこの資料に基づいて地震動予測モデル EMPR のパラメータ (モーメントマグニチュード $M_w=8.15$ など) を設定した。震度分布予測法と人口データは4.6と同様である。

震度分布の予測結果を図7 (b) に示す。震源は1944年東南海地震の震源位置に設定した。斜線部分の断層破壊領域の面積は約14,700 km^2 で、想定東海地震の約7,500 km^2 の2倍程度となっている。震度7に達する地域はなく、岡崎平野、渥美半島から遠州灘にかけて震度6強、志摩半島、伊勢湾沿岸、愛知県から駿河湾西部にかけて震度6弱、三重県、岐阜県南部、愛知県、静岡県、長野県南部で震度5強以上となった。

4.8 想定東海・東南海運動型地震 (対象：岐阜・愛知・三重・静岡・長野・山梨の6県)

1854年安政東海地震は、上記の想定東海地震と想定東南海地震が同時発生した事例である。久世ら (2003 b) は類似のケースとして、4.6と4.7で設定した震源パラメータを基にモーメントマグニチュード $M_w=8.27$ の想定震源域を設定し、上記と同様の手法で震度分布予測を行った。

図7 (c) に震度分布の予測結果を示す。想定東南海地震と同一の地点を第1震源とし、断層破壊開始から57秒後に想定東海地震の震源域に到達

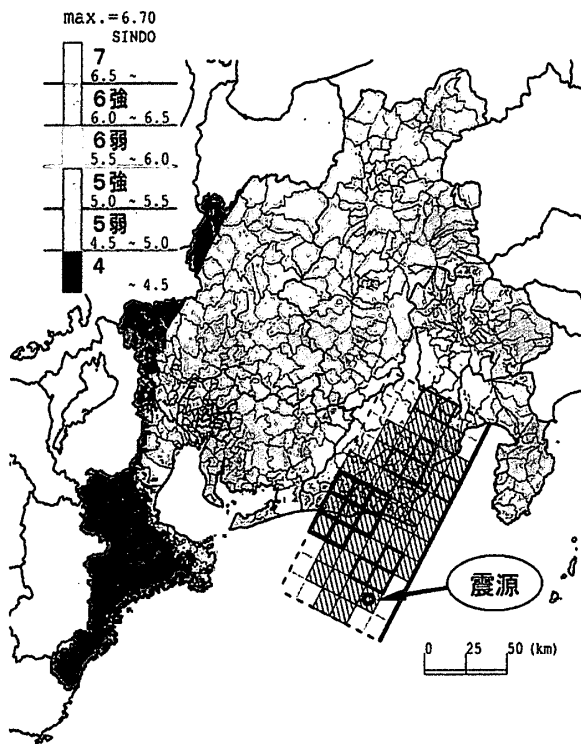


図 7 (a) 想定東海地震の推定震度分布 (久世ら, 2003b)

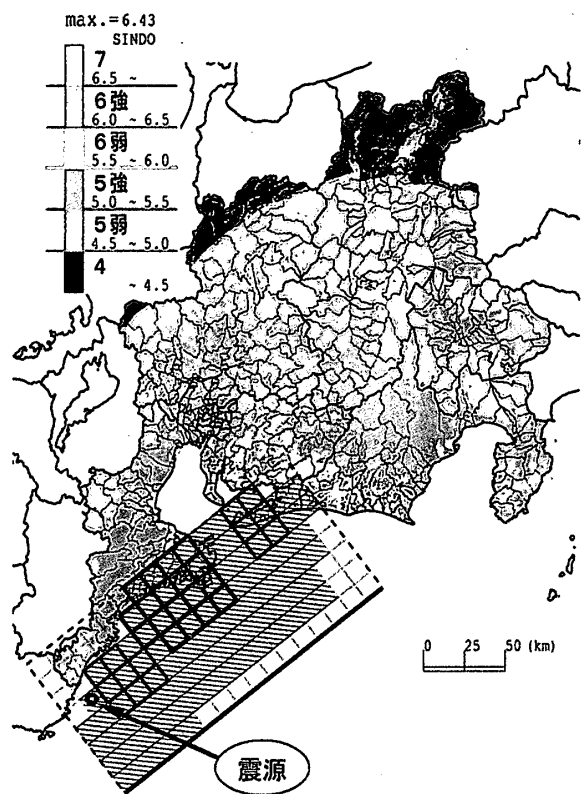


図 7 (b) 想定東南海地震の推定震度分布 (久世ら, 2003b)

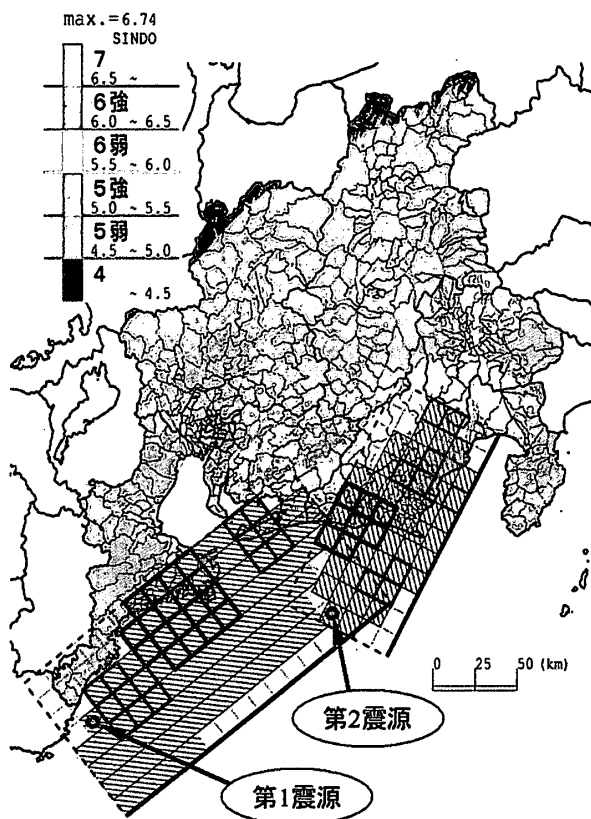


図 7 (c) 想定東海・東南海連動型地震の推定震度分布 (久世ら, 2003b)

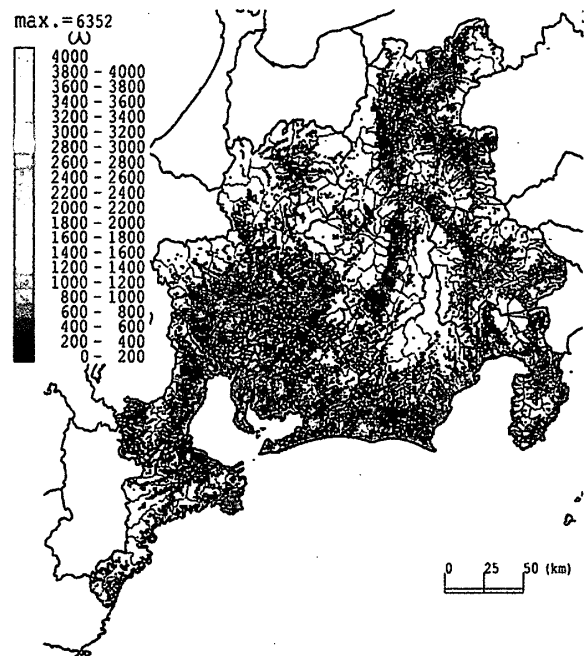
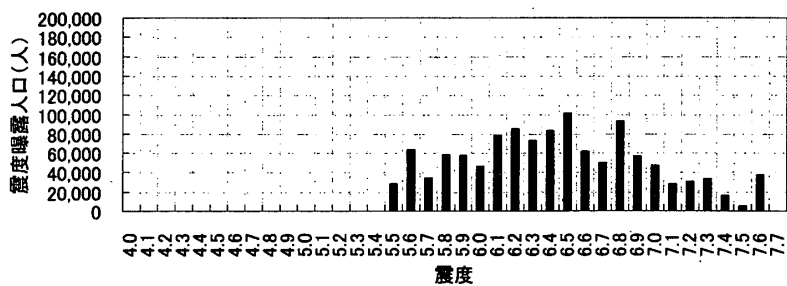
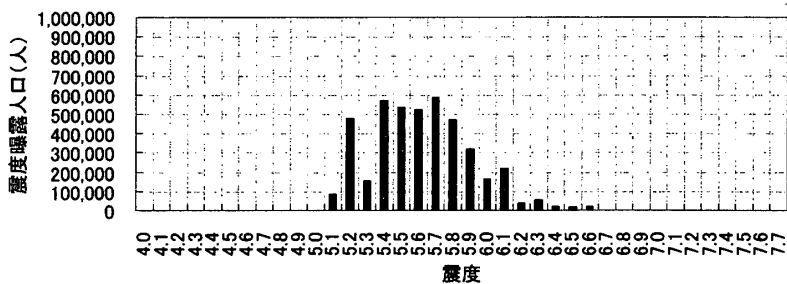


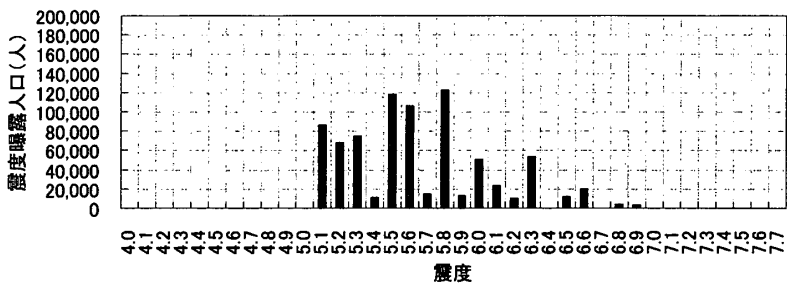
図 7 (d) 2分の1地域メッシュ(約500m四方)単位の6県の人口分布(平成7年国勢調査)



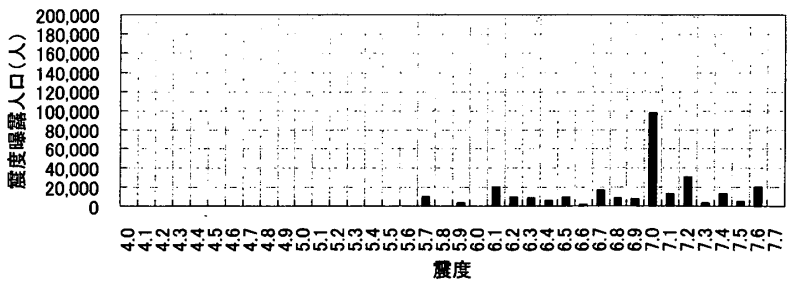
(a) 1891年濃尾地震



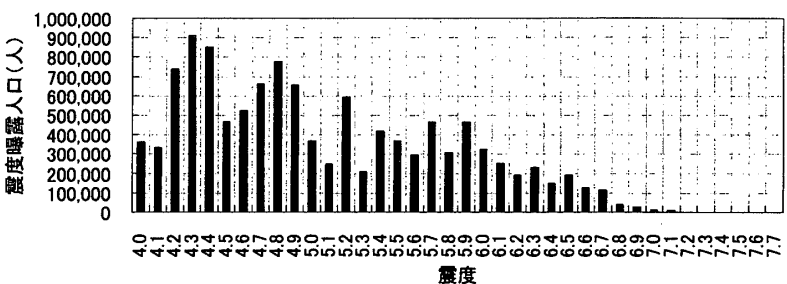
(b) 1944年東南海地震



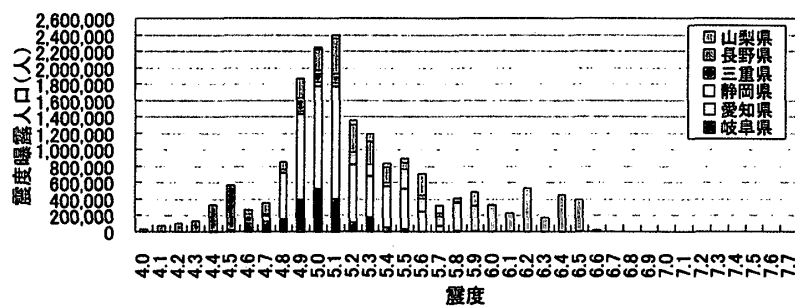
(c) 1945年三河地震



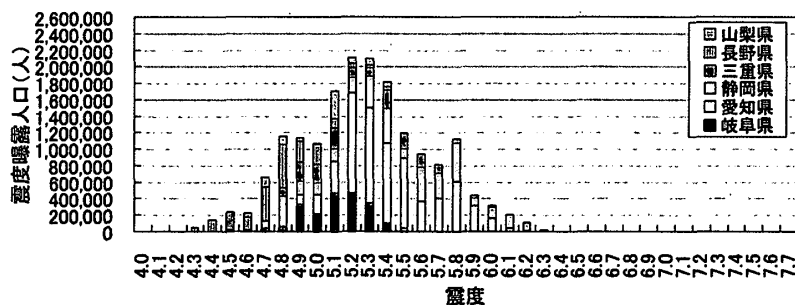
(d) 1948年福井地震



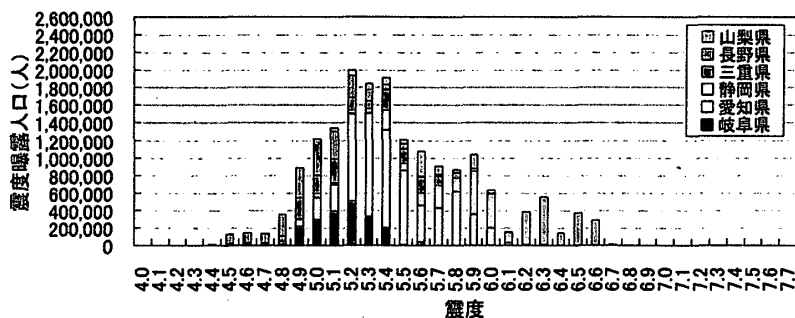
(e) 1995年兵庫県南部地震



(f) 想定東海地震



(g) 想定東南海地震



(h) 想定東海・東南海連動型地震

図8 既往5地震および想定3地震による震度曝露人口((a)~(d)に関しては、住家被害の少ない震度5強以下の領域と震度6弱の一部の領域は必ずしも網羅されていない。(e)に関しては、表示の震度領域はほぼ網羅されている。また(f)~(h)に関しては、対象とした6県はすべて網羅されているが、震度5強以下の領域は6県以外にも及ぶ。)

して第2震源より断層破壊が進行するケースを設定している。遠州灘から駿河湾の平野部で震度7、渥美半島から駿河湾西部、志摩半島・岡崎平野・甲府盆地の一部で震度6強、志摩半島から愛知・静岡・山梨の広い地域で震度6弱以上となった。各地震が単独で発生した場合よりも非常に広い地域で高震度となっている。

ところで、図7(a)の想定東海地震では長野県全域で震度5弱以上であるのに対して、図7(c)

では長野県北端部が震度4となった。これは想定東海地震の領域に位置する第2震源が4.6で設定した場合より西側にやや移動し、断層破壊の進行方向が北方向から北東方向に変化したことによる。図7(a)と比較すると、破壊進行方向に位置する山梨県では震度が高くなる一方、破壊進行方向から外れた長野県では低くなっている。

5. 既往地震と想定地震による震度曝露人口の比較

図8は震度曝露人口の推計結果を頻度分布で示したものであり、例えば震度6.0の欄には、震度が6.0以上6.1未満と評価されたメッシュの人口をプロットしている。濃尾地震、東南海地震、三河地震、福井地震においては住家全壊率のみを震度の推定手段としたため、震度5強以下の領域と震度6弱の一部の領域は網羅されていない。一方、兵庫県南部地震ではアンケート調査結果も用いたため、震度4～5強の推定結果も得られている。全壊率の集計単位は地震によってまちまちであり、集計単位が小さいほど分布形状が広がる傾向にある。想定3地震については、震度5強以下の領域は6県以外にも及ぶと考えられるため、網羅されているのは震度6弱以上と考えられる。また地震動シミュレーションでは、各種の震源パラメータ、特に断層破壊のパターン設定方法により震度分布は大きく異なり、本研究での表示結果はその一例である。結果を解釈する際には、このような前提条件や推計方法の相違に注意が必要である。

図8(a)の濃尾地震に関しては、震度5.5～7.6の範囲に広く分布している。全壊率が100%に近い集落が多かったことを反映して、震度7.0を超える領域にも分布が及んでいるが、これらはあくまで図1の被害関数による逆算値であり、物理的意味を持たせることは適切でない。図8(b)の東南海地震では、震度5.1～6.1に集中しているが、一部で震度6.5を超えている。図8(c)の三河地震では被災範囲が比較的狭く集計単位が市区町村と大きかったため、やや不連続さが目立つ分布形状となっている。図8(d)の福井地震に関しては濃尾地震と同様に高震度領域に分布が伸びている。図8(e)の兵庫県南部地震では、主要な地域において町丁目単位で評価したので、連続的な分布形状となっている。濃尾地震や福井地震にみられるような震度7.0を超える領域の分布はわずかであるが、震度6.5以上に曝露された人口は多い。

想定3地震については、対象6県の内訳も示している。図8(f)の想定東海地震に関しては、震度の幅は震度3.8～6.6と非常に広い(注：震度

4.0未満は三重県で約8,000人となったが、ここでは図示していない)。図8(g)の想定東南海地震での震度幅は4.3～6.4の範囲で、東海地震と比較すると狭い。図8(h)の連動型地震に関しては、6県合計の震度の幅は4.4～6.7の範囲で、想定東海地震と想定東南海地震を比べて大きな方を選択したような分布形状を示している。

図9は、震度5.5以上の震度曝露人口を震度階ごとに集計したものである。震度7は、濃尾地震で約56万人、東南海地震と三河地震でそれぞれ約4万人、福井地震で約23万人、兵庫県南部地震で約51万人という結果となった。濃尾地震は最大級の内陸直下型地震であり、当時の人口規模を考慮すると、壊滅的な影響であったことがわかる。兵庫県南部地震は濃尾地震よりマグニチュードは小さいものの、震度7の曝露人口はほぼ同程度、震度6弱や6強の曝露人口は大きく上回っている。都市化により災害ポテンシャルが増加し、大規模災害につながる可能性が高いことを示唆している。東南海地震と兵庫県南部地震においては、震度6弱以上がほぼ300万人と同程度となっている。福井地震では特異な震度分布(4.4参照)を反映して、震度7の占める割合が非常に高い。一方、想定3地震についてみると、震度6弱以上が想定東海地震で約494万人、想定東南海地震で約515万人、連動型地震で約759万人となっており、既往5地震と比較して規模がかなり大きい。震度6強の震度曝露人口は、上記と同順に約172万人、約65万人、約185万人である。震度7は想定東海地震で約41万人、連動型地震で約66万人となっており、いずれも静岡県内であり、濃尾地震や兵庫県南部地震に匹敵する規模である。

また、過去に大被害をもたらした地震が仮に現代都市を襲ったとした場合の震度曝露人口を評価し、時代間比較を行った。図9の右側は、濃尾地震、東南海地震、三河地震、福井地震が1995年に同一地域に発生したことを想定した比較である。震災当時と現在とでは行政界が相当に異なるため、人口分布を厳密に対応づけることは困難である。そこで入手可能な統計資料(総務省統計局、2003)の範囲で震災当時と1995年における人口

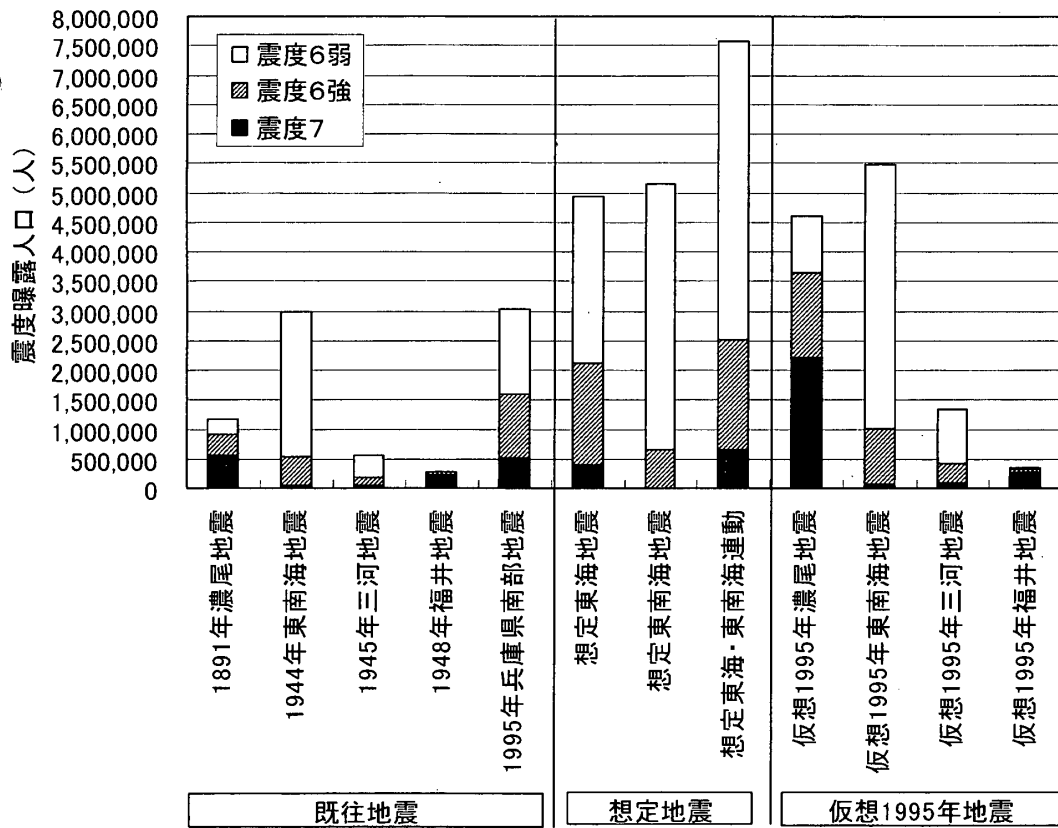


図9 既往地震と想定地震による震度6弱以上の震度曝露人口の比較

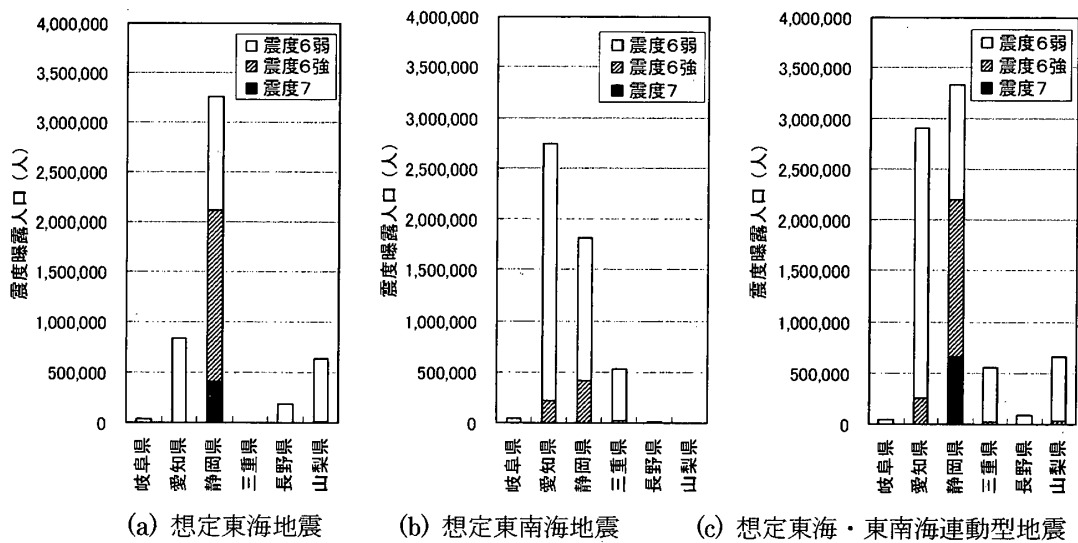


図10 想定地震による震度6弱以上の震度曝露人口の地域間比較

比を推定し、これを図9の震度曝露人口に乗じることによって概算したものである。なお1891年、1944年、1945年、1948年の人口と1995年の人口比は、それぞれ3.95(岐阜・愛知の2県)、1.84(岐阜・愛知・三重・静岡・奈良の4県)、2.40(愛知県)、1.20(福井・石川の2県)と推定された。

濃尾地震は1995年ベースで、震度7が221万人、震度6強以上で366万人となっており、1995年兵庫県南部地震および想定東海・東南海連動型地震をはるかに上回る。マグニチュード8クラスの内陸地震が現代都市の直下で発生すると、いかに重大な影響を及ぼすか理解できる。また東南海地震は1995年ベースで、震度6弱以上が約550万人に達し、想定東南海地震をやや上回るもののほぼ類似の傾向となっており、地震動予測の妥当性を裏付ける結果となった。三河地震は1995年ベースでは、震度7が約10万人、震度6弱以上で約43万人に達する。一方、福井地震に関しては、人口比が1.2倍と比較的小さいため、大きな変化は見られない。

図10は、想定3地震について震度6弱以上の震度曝露人口を県単位で分割集計し、地域間比較したものである。図10(a)の想定東海地震では静岡県が突出しており、震度6弱以上は約331万人で全人口の約90%に相当する。図10(b)の想定東南海地震では、愛知県で全人口の約40%にあたる約274万人が震度6弱以上である。図10(c)の連動型地震に関しては、静岡・山梨では想定東海地震が支配的で、愛知・三重では想定東南海地震が支配的である。震度6弱以上は、静岡県で約369万人、愛知県で約290万人、三重県で約56万人などである。なお市区町村単位の集計も行ったが、ここでは紙面制約のため省略する。震度分布図の補足資料として参照すれば、震度曝露人口の地域的特性をより詳細に示すことができる。

6. おわりに

本研究により得られた成果を以下に要約する。

- 1) 震度分布および人口分布を用いて、揺れの揺れがりと地域の集積度合いとの重ね合わせ効果を

考慮した震害ポテンシャル指標「震度曝露人口」を提案した。地震による揺れの規模とそのインパクトを簡易表現する包括的尺度として位置付けられる。

- 2) 既往5地震(1891年濃尾地震, 1944年東南海地震, 1945年三河地震, 1948年福井地震, 1995年兵庫県南部地震)と、南海トラフ沿いの想定3地震(想定東海地震, 想定東南海地震, およびそれらの連動型地震)を対象として、震度分布および人口分布の推定・予測を行い、GIS上でデジタルデータ化した。
- 3) 上記のデータを用いて震度曝露人口を推計し、地震間比較, 時代間比較, さらに地域間比較を行った。マグニチュードの大小, 内陸活断層の地震と海溝型地震, 都市化の進行度合いなどの観点から、震度分布と震度曝露人口の特徴を明らかにし、既往地震や想定地震を新たな視点から特徴付けを行った。

最後に、震度曝露人口の利用法に関する今後の課題と展望を述べる。

- 1) 既往地震の震度曝露人口の推計事例を豊富に取り揃えてベンチマークとすれば、想定地震による被災規模の概略把握などのイメージ形成に有用となろう。また、各自治体での震度曝露人口を比較することにより、初動体制や広域支援体制を確立する際の参考資料として役立つことが可能と考えられる。2000~2003年に発生した5地震についての震度曝露人口の推計結果も得ており、本研究の結果とあわせて比較検討を進めて有効性の検証を行う方針である。
- 2) 震度と関連付けられた被害関数を適用すれば、震度曝露人口をマクロ的な被害予測に活用することも可能である。本研究では居住地に基づく推定人口を利用したが、詳細な分析を行うには、昼間人口や時間変動を考慮した人口データの利用や、建物属性や地震発生時刻などの条件設定を必要とする場合もあると考えられる。
- 3) また発展的には、人口の代わりに社会資本ストックや経済指標の曝露規模を評価したり、震度の代わりに液状化指数 P_L などの指標を用いることも可能であり、試算を進めているところ

である。

謝 辞

名古屋工業大学大学院 谷口仁士教授, 防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター 山口直也研究員, 大阪市立大学大学院 中川康一教授には貴重な震害資料や震度データをご提供いただいた。愛知淑徳大学現代社会学部 太田裕教授には, 本研究に関連して有益なご論議をいただいた。岐阜・愛知・三重・静岡・長野・山梨の各県の関係者からはメッシュ地盤データの提供を受けた。また, 匿名の査読者の方々には, 本稿に関して有益なご指摘をいただいた。記して謝意を表する。

参考文献

- GHQ, Office of the Engineer: The Fukui Earthquake Hokuriku Region, Japan, 28 June, 1948, Volume II, Engineering, Design Branch, Engineering and Operations Division, General Headquarters, Far East Command, February, 1949.
- Kammen, D. M. and D. M. Hassenzahl: Should we risk it?, Princeton University Press, 1999. (和訳版 中田俊彦訳: リスク解析学入門—環境・健康・技術問題におけるリスク評価と実践—, シュプリンガー・フェアラーク東京, 2001.)
- Sugito, M., Y. Furumoto and T. Sugiyama: Strong motion prediction on rock surface by superposed evolutionary spectra, 12 WCEE, No. 2111, 2000.
- 愛知県警察部: 明治24年10月28日震災記録, 1892.
- 中央防災会議: 東海地震に関する専門調査会, <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/tokai/index.html>, 2001.
- 藤本一雄・翠川三郎: 被害分布から推定した1995年兵庫県南部地震の震度分布, 日本建築学会構造系論文集, 第523号, pp. 71-78, 1999.
- 岐阜県岐阜測候所: 明治24年10月28日大震報告, 1894.
- 本間正作・斎藤光太郎・山崎彦四郎・金原兵四郎: 昭和19年12月7日東南海地震実地踏査報告, 「昭和十九年十二月七日東南海大地震調査概報」, 中央気象台, pp. 28-52, 1945.
- 飯田波事: 東海地方地震・津波災害誌 (飯田波事教授論文選集), 800 p., 1985.
- 井上直人・柴山元彦・辻江賢治・領木邦浩・千田智志・岡本健太郎・根本泰雄・中川康一: 1995年兵庫県南部地震の広域アンケート調査—高震度領域におけるアンケート震度と計測震度の関係—, 地震II, 第51巻, pp. 395-407, 1999.
- 井上宇胤: 静岡県下震災地踏査報告, 「昭和十九年十二月七日東南海大地震調査概報」, 中央気象台, pp. 11-25, 1945.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会: 南海トラフの地震を想定した強震動評価手法について (中間報告), <http://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/01b/>, 2001.
- 河田恵昭: 都市災害の特質とその巨大化のシナリオ—災害文化論事始め—, 自然災害科学, Vol.10, No.1, pp. 33-45, 1991.
- 建設省建築研究所: 平成7年兵庫県南部地震地震被害調査最終報告書, 303 p., CD-ROM 添付, 1996.
- 気象庁監修: 震度を知る—基礎知識とその活用—, ぎょうせい, 238 p., 1996.
- 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.
- 久世益充・杉戸真太・能島暢呂: 南海トラフの巨大地震を想定した広域震度予測, 自然災害科学, Vol. 22, No. 1, pp. 87-99, 2003a.
- 久世益充・杉戸真太・能島暢呂: 海溝型巨大地震を対象とした被害の広域性に関する基礎的検討, 第2回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, pp. 211-212, 2003b.
- 翠川三郎・藤本一雄: 計測震度と住家被害率—罹災調査結果を用いた検討—, 日本地震工学論文集, 第2巻, 第2号, pp. 15-22, 2002.
- 翠川三郎・五艘隆志: 過去の事例に基づく激震動の発生頻度に関する基礎的考察, 日本建築学会構造系論文報告集, 第502号, pp. 55-60, 1997.
- 諸井孝文・武村雅之: 死亡危険度に関する1891年濃尾地震, 1948年福井地震, 1995年兵庫県南部地震の比較, 地震II, 第52巻1号, pp. 189-198, 1999a.
- 諸井孝文・武村雅之: 1995年兵庫県南部地震による気象庁震度と住家全壊率の関係, 地震II, 第52巻1号, pp. 11-24, 1999b.
- 村松郁栄: 震度分布と震源との関係, 地震II, 第53巻3号, pp. 269-272, 2001.
- 村松郁栄・松田時彦・岡田篤正: 濃尾地震と根尾谷断層帯, 古今書院, 2002.
- 村尾修・山崎文雄: 兵庫県南部地震における建物被害の自治体による調査法の比較検討, 日本建築学会計画系論文集, 第515号, pp. 187-194, 1999.

- 野崎清隆・能島暢呂・杉戸真太: 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, 土木学会中部支部平成 14 年度研究発表会, I-19, pp. 37-38, 2003.
- 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.
- 岡田成幸・高井伸雄: 地震被害調査のための建物分類と被害パターン, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 524 号, pp. 65-72, 1999.
- 岡田成幸・高井伸雄・笹谷昭仁: 破壊パターンチャートの利用による地震史料の定義連続性の検討, 第 22 回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, pp. 39-40, 2003.
- 消防庁災害対策本部: 阪神・淡路大震災について (第 105 報), 2000.
- 総務省統計局: 第五十二回 日本統計年鑑, 2003.
- 杉戸真太・合田尚義・増田民夫: 周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察, 土木学会論文集, No. 493/III-27, pp. 49-58, 1994.
- 鈴木広隆・菅井径世・鈴木康弘・隈元崇: 活断層の危険度評価に関する一考察—推定被害人口を用いた危険度のランク付け—, 地域安全学会論文集, No. 2, pp. 101-108, 2000.
- 高田至郎・嘉嶋崇志 (神戸大学アンケート調査分析グループ): 兵庫県南部地震に関するアンケート調査—集計結果報告書—, 1996.
- 武村雅之・諸井孝文: 地質調査所データに基づく 1923 年関東地震の詳細震度分布 その 1. 千葉県, 日本地震工学論文集, 第 1 巻, 第 1 号, pp. 1-26, 2001.
- 武村雅之・諸井孝文・八代和彦: 明治以後の内陸浅発地震の被害から見た強震動の特徴—震度 VII の発生条件—, 地震 II, 第 50 巻 4 号, pp. 485-505, 1998.
- 土隆一: 東海地震と静岡県に予想される災害—地質・地盤にかかわる被害とその防災, 「東海地震—いつ来る なぜ来る どう備える」第 4 章, 清文社, pp. 90-126, 2002.
- 宇佐美龍夫: 新編日本被害地震総覧, 東京大学出版会, 1986.
- 山口直也・山崎文雄: 1995 年兵庫県南部地震の建物被害率による地震動分布の推定, 土木学会論文集, No. 612/I-46, pp. 325-336, 1999.
- 山口直也・山崎文雄: 西宮市の被災度調査結果に基づく建物被害関数の構築, 地域安全学会論文集, No. 2, pp. 129-138, 2000.
- 若松加寿江編: 日本の地盤液化化地点分布図, 4. 東海・濃尾, 東海大学出版会, 1991.
- 鷺坂清信・黒沼新一: 昭和十九年十二月七日東南海地震の三重・和歌山両県下実地踏査報告, 「昭和十九年十二月七日東南海大地震調査概報」, 中央气象台, pp. 58-67, 1945.

(投稿受理: 平成15年 8 月 7 日
訂正稿受理: 平成16年 3 月 11 日)