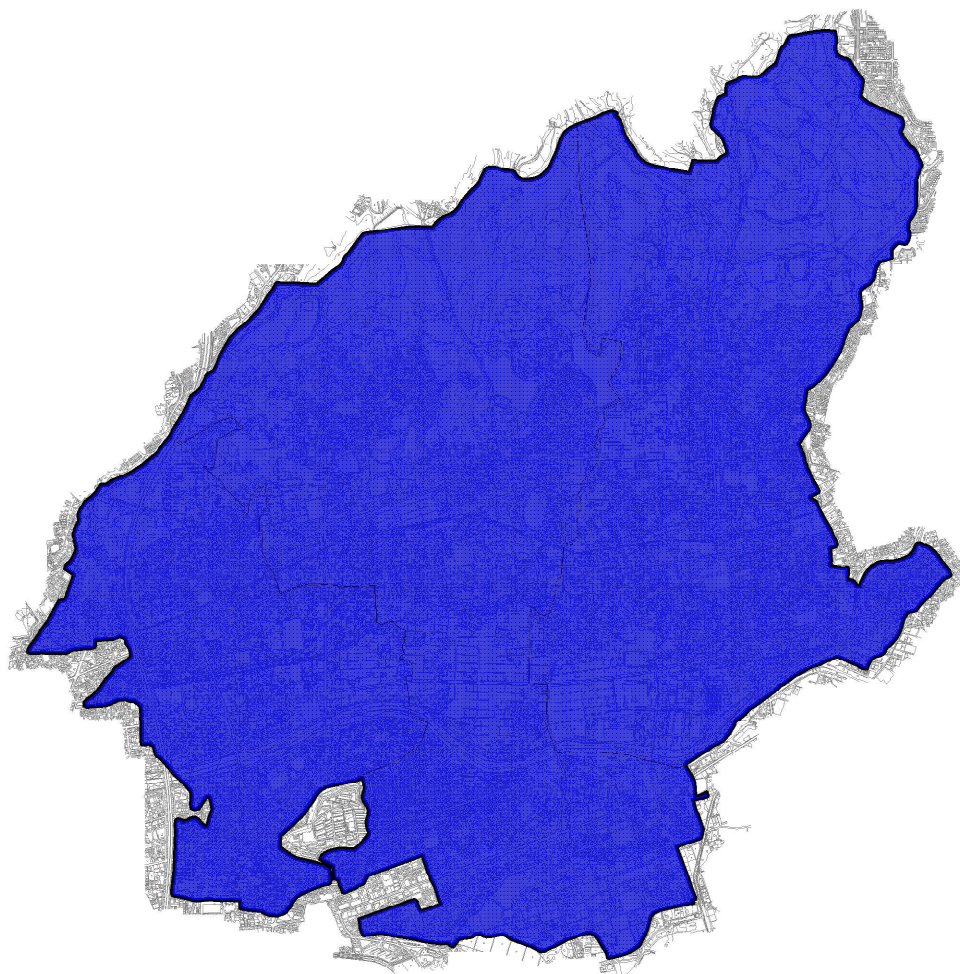
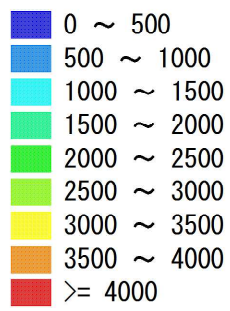


# 避難者数・1日後（人）

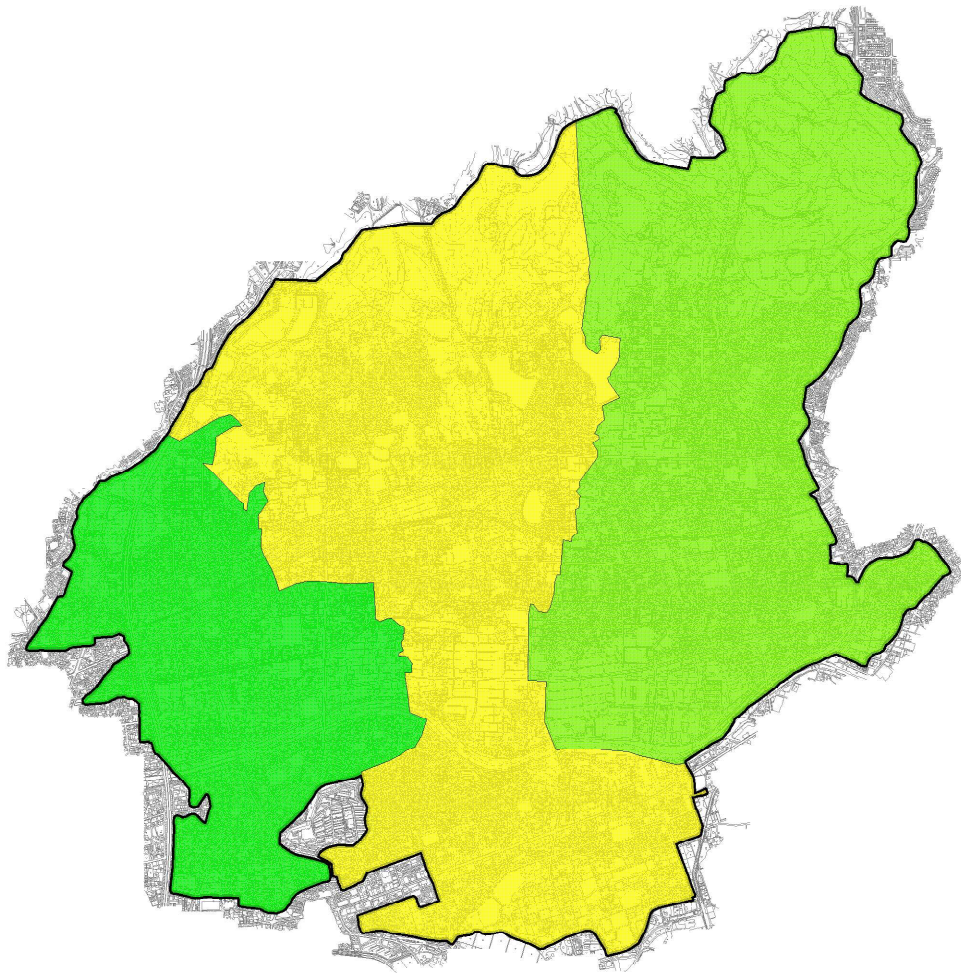
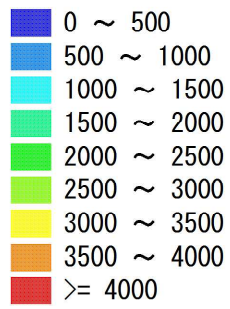
南海トラフ巨大地震（過去最大）



1:50000

# 避難者数・1週間後（人）

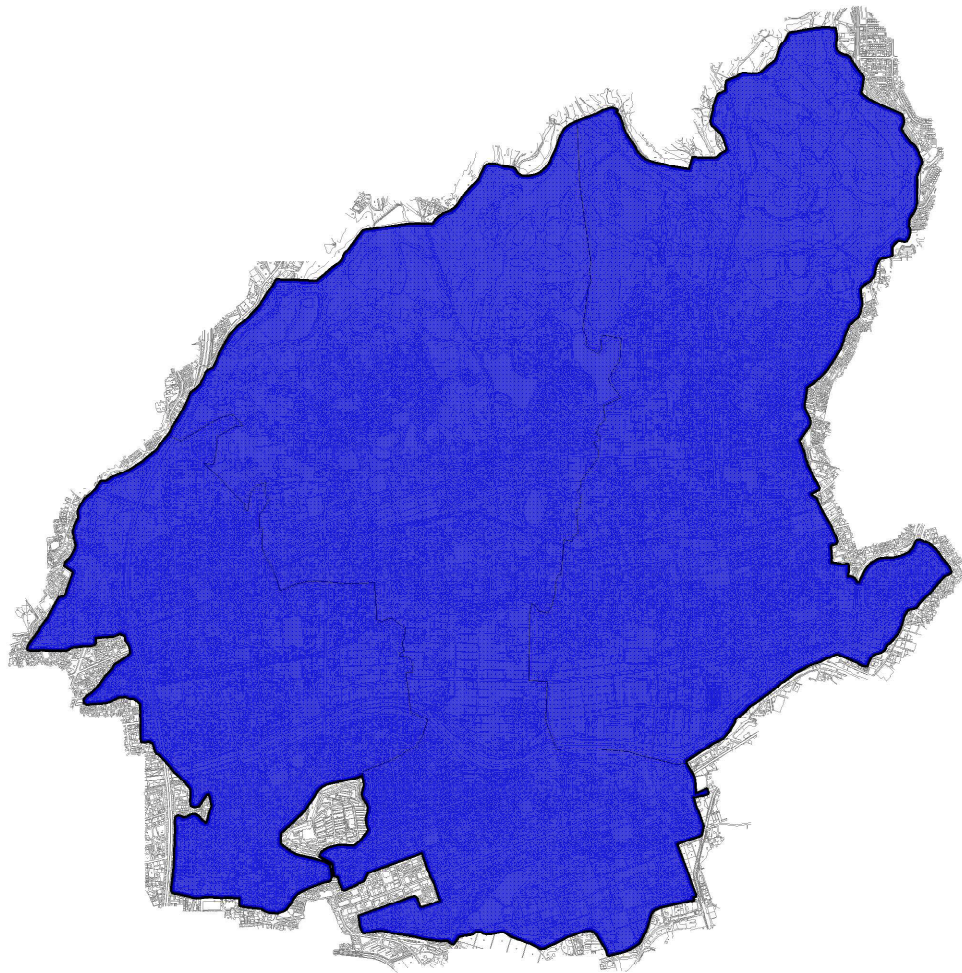
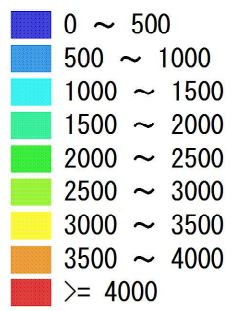
南海トラフ巨大地震（過去最大）



1:50000

# 避難者数・1か月後（人）

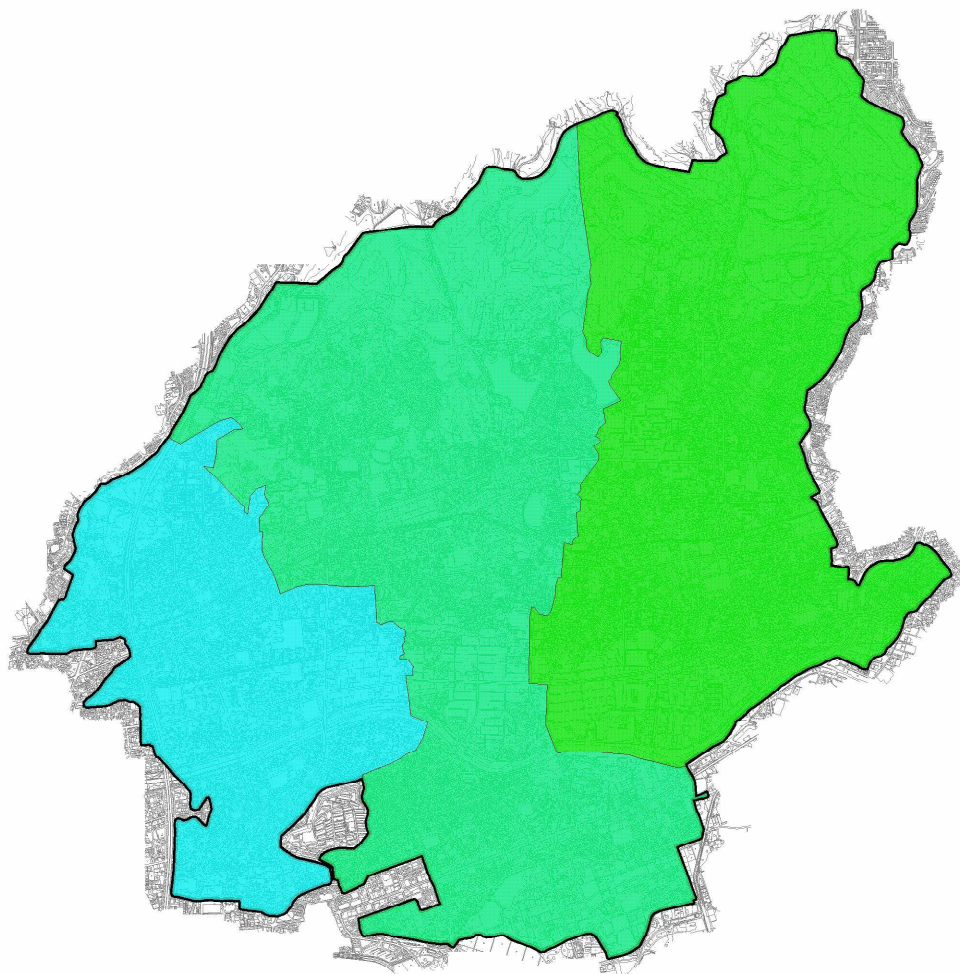
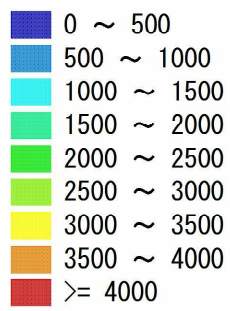
南海トラフ巨大地震（過去最大）



1:50000

# 避難者数・1日後（人）

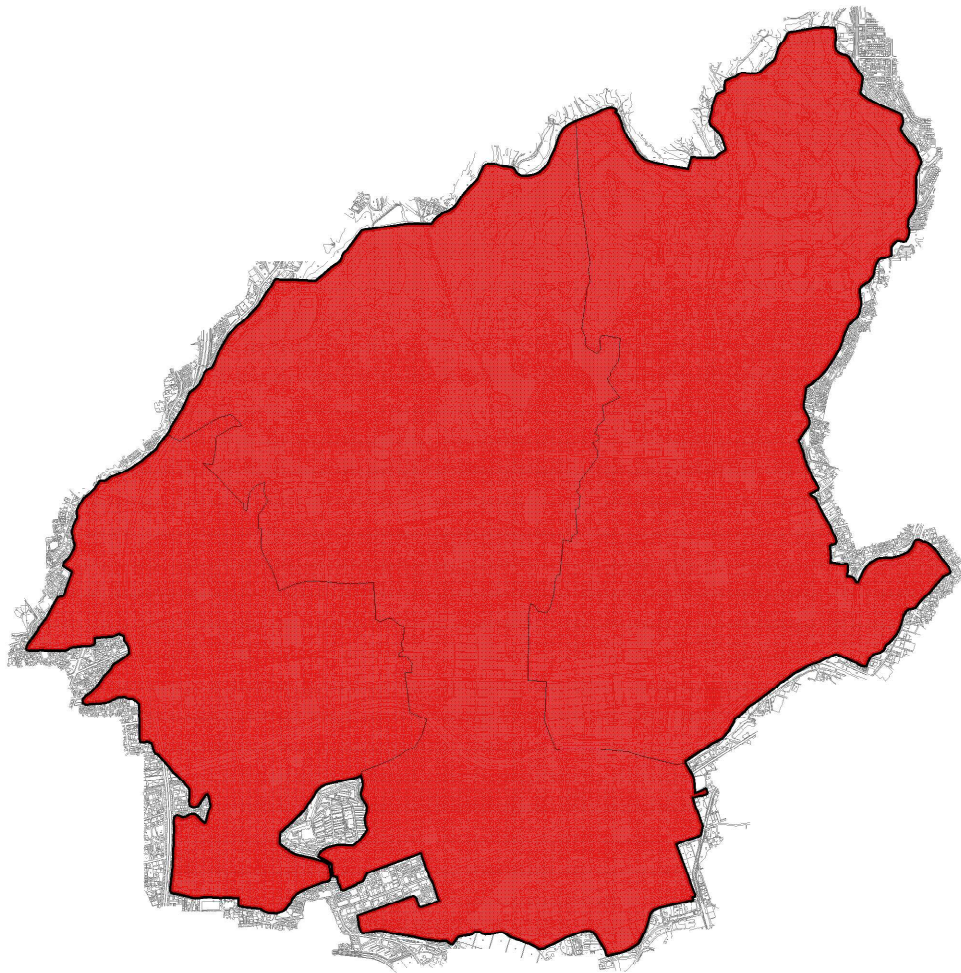
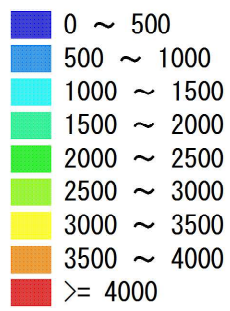
猿投-高浜断層帯地震



1:50000

# 避難者数・1週間後（人）

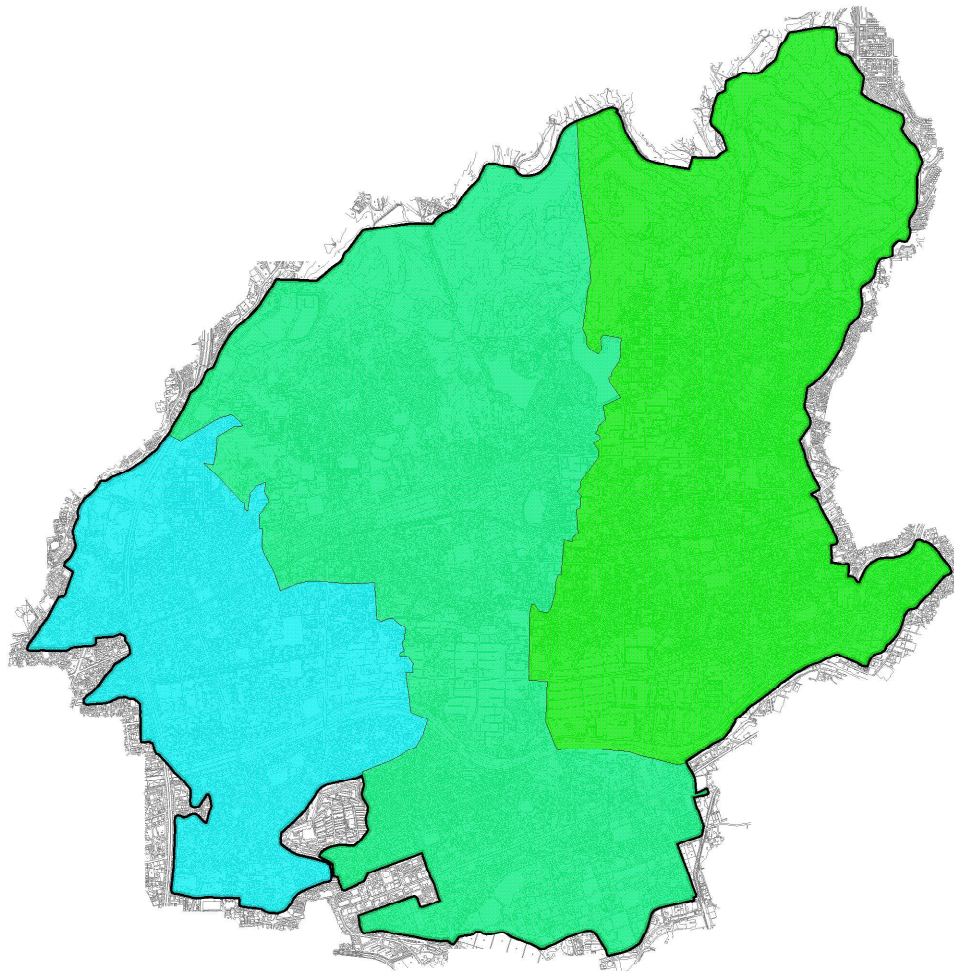
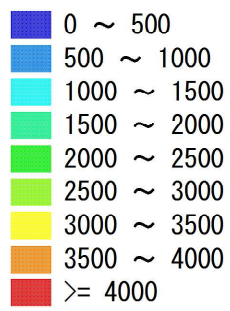
猿投-高浜断層帯地震



1:50000

# 避難者数・1か月後（人）

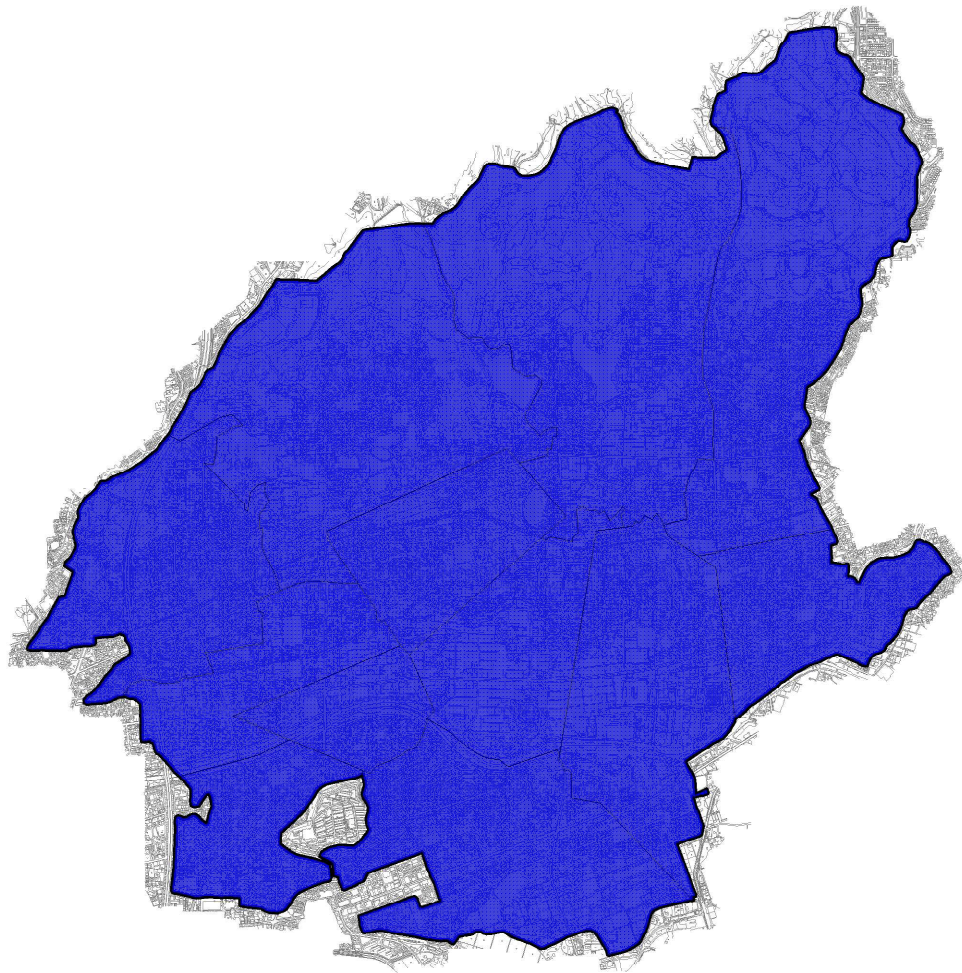
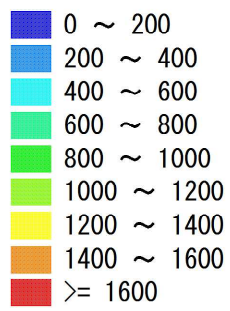
猿投-高浜断層帯地震



1:50000

# 避難者数・1日後（人）

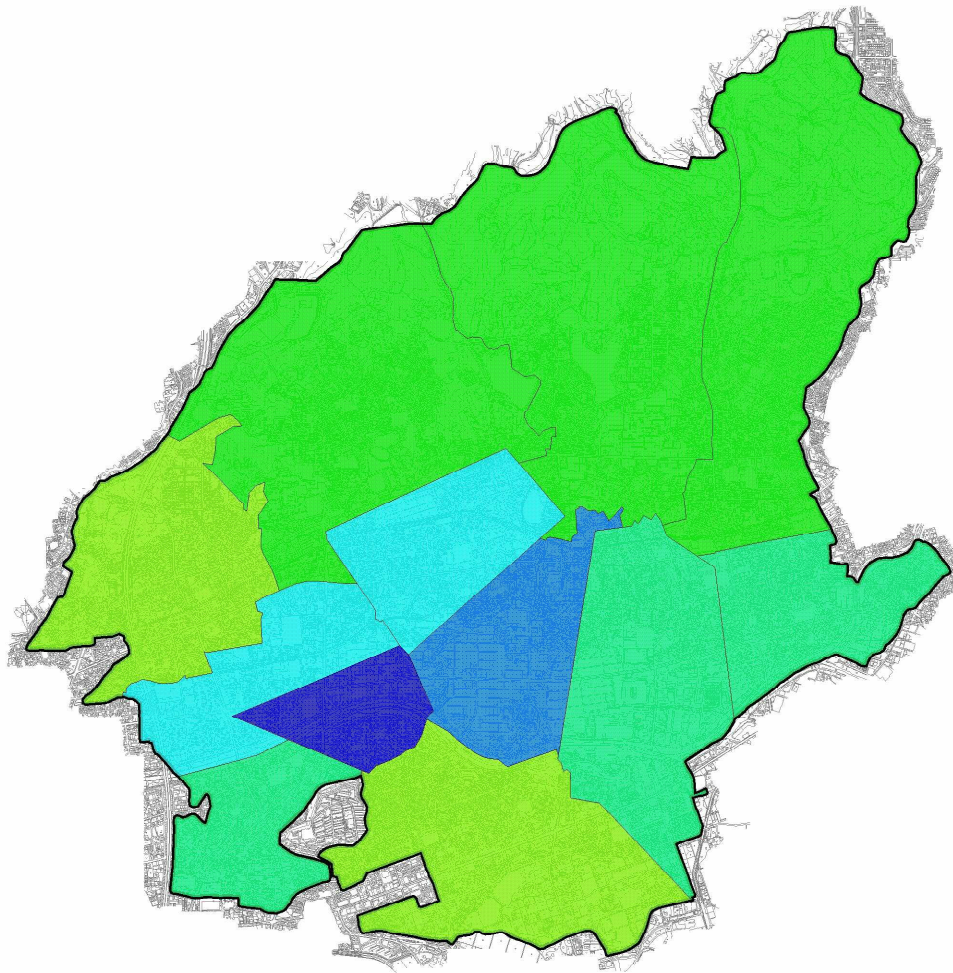
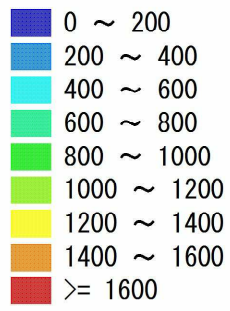
南海トラフ巨大地震（過去最大）



1:50000

# 避難者数・1週間後（人）

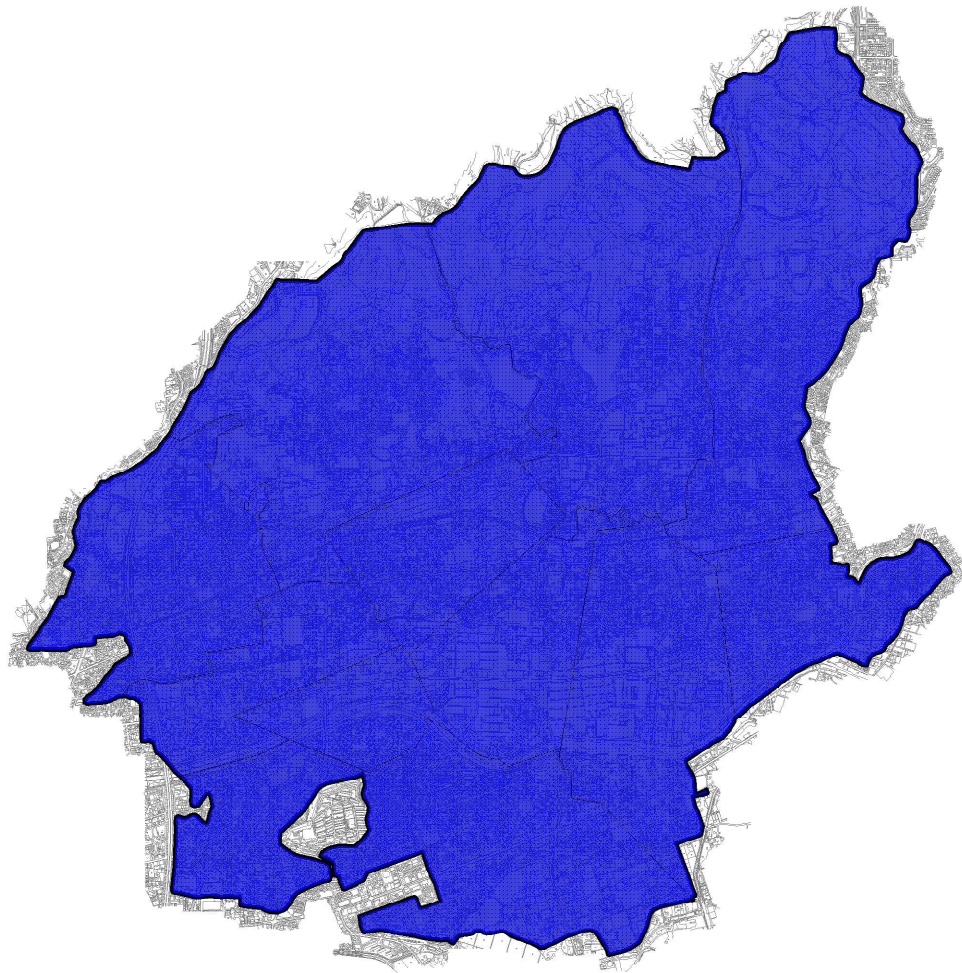
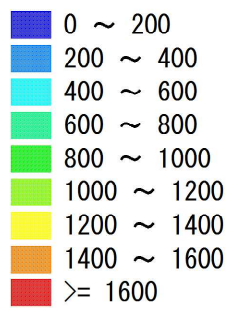
南海トラフ巨大地震（過去最大）



1:50000

# 避難者数・1か月後（人）

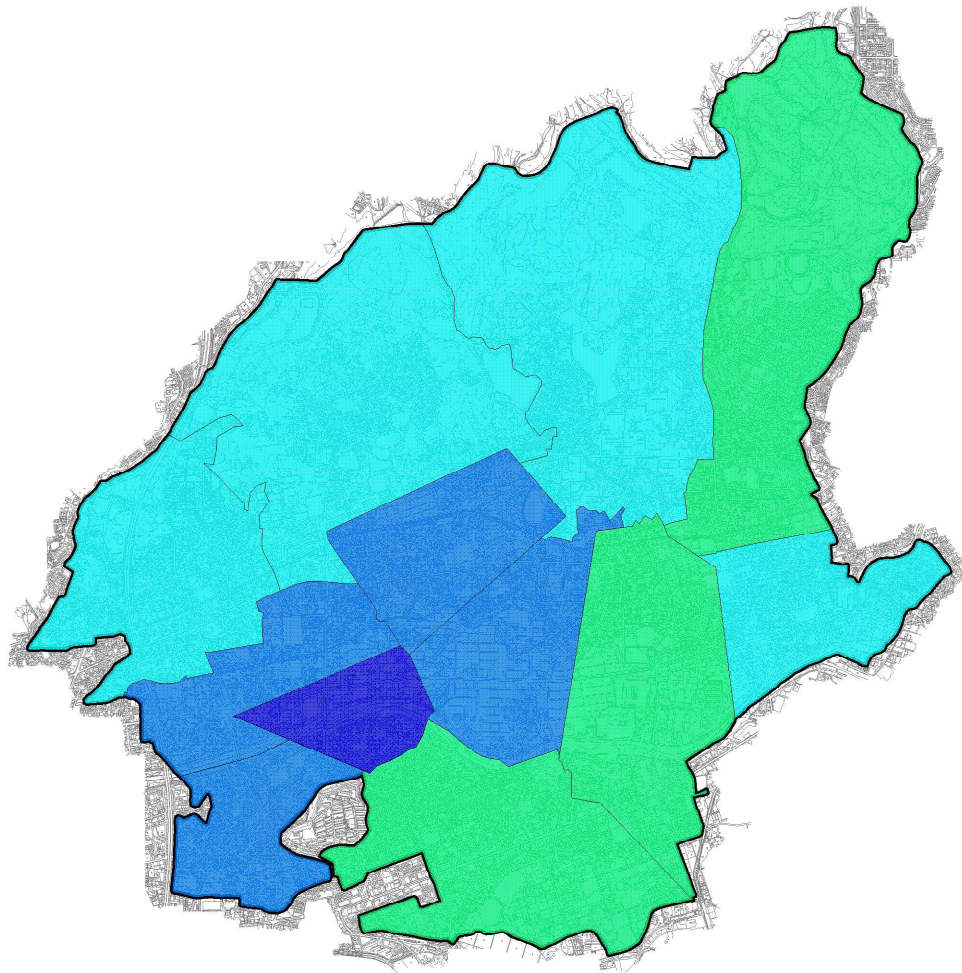
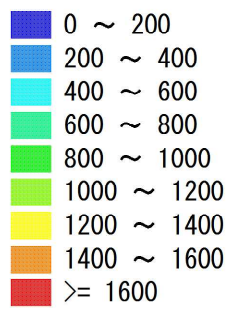
南海トラフ巨大地震（過去最大）



1:50000

# 避難者数・1日後（人）

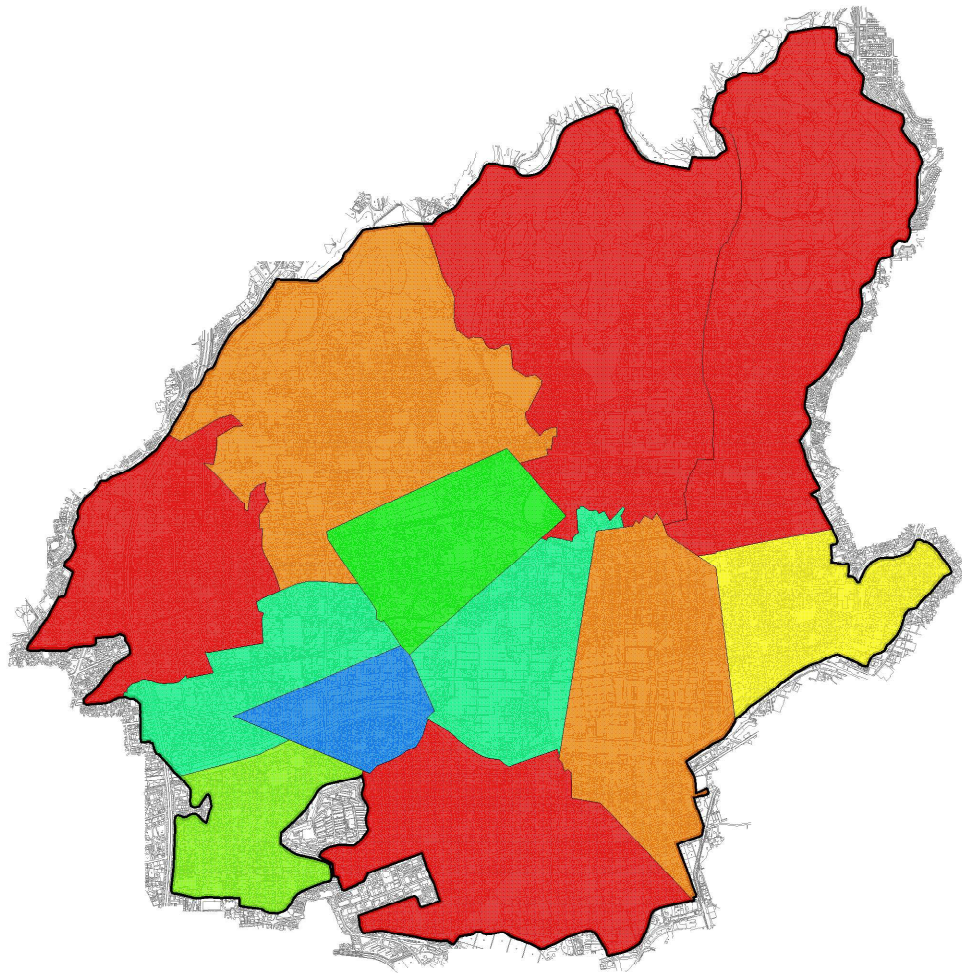
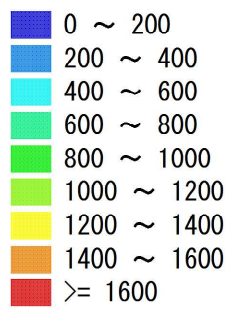
猿投-高浜断層帯地震



1:50000

# 避難者数・1週間後（人）

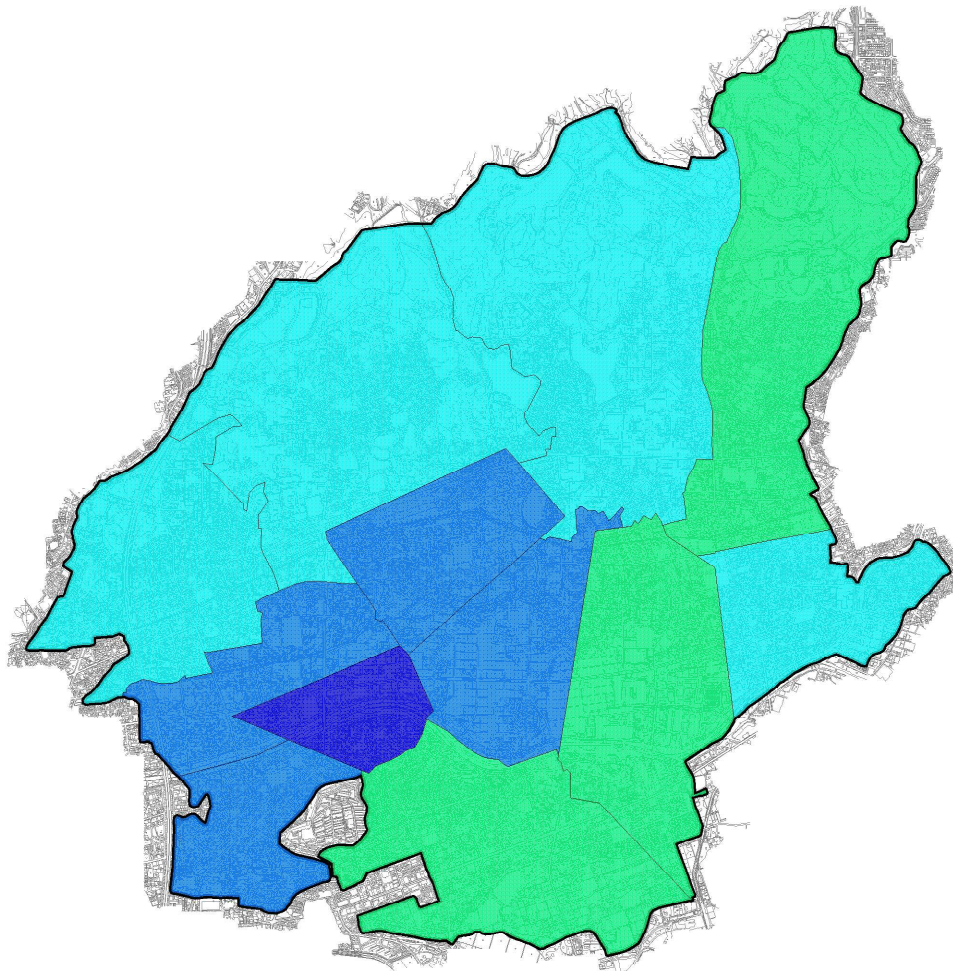
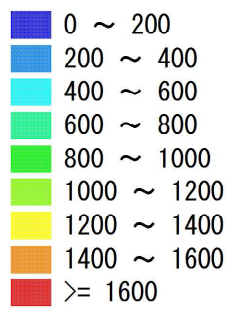
猿投-高浜断層帯地震



1:50000

# 避難者数・1か月後（人）

猿投-高浜断層帯地震



1:50000

## 参考資料-1 木造建物の被害想定手法

## 時間軸上の死者低減率最大化を主目標とした木造住宅耐震化戦略の策定

- 東海・東南海連動型地震を対象とした東海4県への適用事例 -

## SEISMIC STRENGTHENING STRATEGY FOR WOOD FRAME DWELLINGS TARGETING TO MINIMIZE THE DEATH TOLL FROM A VIEW POINT OF TEMPORAL VARIATION

- Case study for Tokai region, Japan, in the forthcoming Tokai-Tonankai earthquake -

中嶋唯貴\*<sup>1</sup>, 岡田成幸\*<sup>2</sup>

Tadayoshi NAKASHIMA and Shigeyuki OKADA

We learned from the 1995 Hanshin Awaji earthquake that most of the death toll arised from many vulnerable wooden houses collapsed by seismic ground motions and seismic strengthening wooden houses is the highest priority strategy for preventing death. This paper discusses effective strategy of seismic strengthening houses for reduction of death toll. In the first part, we construct the equations by which the death toll in districts can be estimated with considering the rate of seismic strengthening that is increased by rebuilding or seismic repairing, and the negative effect as aged deterioration of house. In the second part, we apply the equations to the area of 4 prefectures in Tokai district and estimate the time variation of death reduction in order to figure out the effect of some kinds of seismic strengthening strategies. As a result we simulated that when the seismic repairing of houses is planed in target districts the strategy giving priority to vulnerable houses is more effective to decrease the death toll than any other strategies having no priority on structural strength of house.

*Keywords : death toll, earthquake damage prediction, aged deterioration, seismic retrofit, rebuild, seismic strengthening strategy for wood frame building*

死者数, 地震時損傷度予測手法, 経年劣化, 耐震改修, 建て替え, 木造住宅耐震化戦略

## 1. 研究の目的

わが国の木造住宅の耐震化事業は、地震の発生間隔の長さに伴う国民のリスク認識の低さ<sup>1)</sup>・耐震改修による被害軽減効果の未周知<sup>2)</sup>・高額の耐震改修費用や不十分な奨励制度<sup>3)</sup>および駆逐できない不適切な改修業者の活動<sup>4)</sup>などの耐震改修実施環境の不整備等々により、はかばかしい進捗状況にないのが現状である。国土交通省<sup>5)</sup>によれば、2003年現在における住宅の耐震化率は75%であるという。同省がいう耐震化率は概ね以下の計算式で算定されている。

$$\text{耐震化率} = \frac{\{1981 \text{ 年以降の住宅数} + 1981 \text{ 年以前建築(耐震性あり} + \text{耐震改修済み)住宅数}\}}{\text{住宅総数}}$$

1981年以降に建てられた住宅がすべて耐震性において十分であるという仮定は建前論に立脚しすぎではあるが、住宅土地統計(2003)から数値を拾い上げると、1981年以降に建てられた住宅数約2,850万戸、1981年以前で耐震性のある住宅数約650万戸、耐震改修済みのもの約50万戸、住宅総数は約4,700万戸であり、同省の数値が誘導される。この数値の絶対値としての真偽は別とし、本邦の住宅の耐震化速度は不十分であるという同省の認識は正しいであろう。この状況を打破すべく、2006年、同省により住宅・特定建築物の耐震化の目標9割が打ち出され(改正耐震改修促進法<sup>6)</sup>)、各地方行政により10年以内のその目標値実現に向けた計画策定が急がれている。10年という段階的実現期間が設定されているが、近年の本

邦周辺に見る地震活動活発化に配慮するなら、短期間でより実効性の高い時間軸を意識した耐震化戦略が望まれる。しかし促進法には耐震化率の目標値が記されているのみで、実現に向けての優先手順などの時間軸はおろか、戦略については何も触れていない。耐震化戦略における既往研究は大きく、耐震診断や耐震改修を行う上での障害要因分析と耐震改修の制度や戦略に関する研究の二つに分けられる。前者に、池田・小沢<sup>4)</sup>による木造耐震化支援制度利用者のニーズに着目した調査や小椋山・他<sup>6)</sup>による耐震改修の誘因と阻害要因に関する調査がある。後者には、吉村・目黒<sup>3)</sup>による公的費用の軽減を可能にする木造住宅耐震改修制度の提案や、飯塚・境<sup>7)</sup>により耐震改修費用と被害額の観点からの耐震改修の費用対効果の検討がなされている。また、井戸田・他<sup>8)</sup>は耐震評点と改修費用に着目した耐震改修の意思決定支援ツールの提案を行っている。このようにその多くが耐震化への投資行為に着目し、経済性あるいは地域全体としてみた場合の効率性を軸とした戦略検討が中心であり、想定される被害状況を視野に入れた被災者中心の人的被害軽減戦略提言とはなっていない。加えて、冒頭で指摘した時間軸を意識した戦略評価は皆無である。本論は以上の現状認識より、防災の最優先としての死者の低減を主目標におき、住宅の耐震化戦略による予測死者数の時間変動を評価することにより有効な耐震化戦略を議論する。

\*<sup>1</sup> 名古屋工業大学大学院工学研究科 大学院生・修士(学術)\*<sup>2</sup> 名古屋工業大学大学院工学研究科 教授・工博Grad. Student, Grad. School of Eng., Nagoya Institute of Tech., M. Ph.  
Prof., Grad. School of Eng., Nagoya Institute of Tech., Dr. Eng.

## 2. 棟別死者予測から地域マクロ予測への変換

### 2.1 地域予測法の概略

地震による建物倒壊に伴う死者予測式は、筆者らにより、住宅1棟ベースの棟死亡率関数が建物損傷度（すなわち入力地震動強さと耐震精密診断値（以後、建物耐震評点）から算定可能）および周辺全壊率をパラメータとして提案されている（式(1)<sup>9)</sup>。

$$Dr(x, y) = \alpha e^{\beta x} + \gamma xy^2 \quad (1)$$

ここに、 $Dr(x, y)$ は棟死亡率(%）、 $x$ は建物損傷度（建物1棟の被害程度 Damage Index を意味し、定義域 [0,1]）で式(2)のワイブル分布で与えられ<sup>10)</sup>、 $y$ は周辺全壊率（定義域 [0,1]）、 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ は住宅形式別に与えられる係数である（詳細は文献<sup>9)</sup>を参照されたい）。なお、損傷度と各種被害尺度との関係は図1のとおりである<sup>11)</sup>。

$$x = 1 - e^{-(I/\eta)^m} \quad (2)$$

ここに、 $I$ は地震動強さ（震度または最大地動速度）、 $m$ と $\eta$ は建物耐震評点別に与えられる形状母数と尺度母数である。ある広がりを持った地域（本論では県を扱う）を対象とする場合は、地域内の建物1棟ごとに死者評価し総和をとればいわけであるが、詳細な地域データを必要とした計算効率も悪い。従って本論では、詳細予測式(1)の考え方を基本としながらも、能島・他<sup>12)</sup>により提案された震度曝露人口（ある想定震度に居住している総人口）を導入することにより、算定精度を保ちつつより簡便な手法を展開する。算定の流れを図2に示す。概略以下の手順となる。

対象地域はある大きさ（本論では500m）にメッシュ区画し、関連データとして総務省統計局提供の地域メッシュ統計を用いることとする。

①各メッシュの人口とハザード情報（震度）から震度曝露人口を生成する。

②地震発生時における木造住宅の居住人口を、地域別の木造人口率と地震時在宅率から求め、住宅損傷度を勘案しつつ比例配分することにより木造住宅の損傷度別の人口（木造住宅損傷度曝露人口）を求める。比例配分には、地域データとして住宅の建築年代分布が入手できるので年代別の耐震評点分布（年代別耐力分布）と木造住宅損傷度関数を用いて地域の損傷度別住宅頻度を求め、住宅形式別の居住人口より比例配分を行う。

③住宅形式別（戸建て率・長屋共同率）の棟死亡率関数（人的損傷度関数）を使って、曝露人口を死者数に変換する。以上が、地域の死者数を推定する流れであるが、耐震化政策を進めることにより地域の耐震評点分布が変化し、死者数が低減することに着目し、耐震化に要する時間とその間の木造住宅の老朽化を考慮し地域内の死者数の経年変化を追跡し、耐震化戦略の巧遅を判断する。

### 2.2 算定式の構成

上記の算出概要に従い必要な算定式を導出する。算出例として東海4県（静岡県、愛知県、三重県、岐阜県）のデータを利用する。

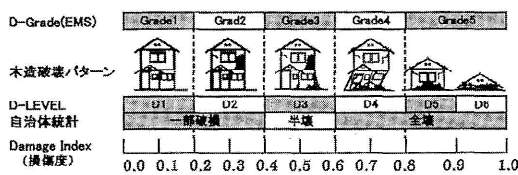


図1 損傷度と各種被害尺度との関係

### (1) 震度曝露人口の生成

東海4県に影響する地震として東海・東南海連動地震（中央防災会議公布による想定東海地震と想定東南海地震の同時発生）を想定する。この想定地震に対するハザード情報（震度分布）は久世・他<sup>13)</sup>により計算されており（図3）、本論ではこれを用いる。人口データとして総務省統計局提供<sup>14)</sup>の地域メッシュ統計（500m×500m）を用いる。東海地域の現状を表すデータとして平成12年国勢調査に基づき編集したものをを用いる。両者を地域メッシュ単位で掛け合わせることでそれぞれの震度に遭遇する人口（震度曝露人口）が求められる（図4）。

### (2) 木造住宅損傷度曝露人口の算出

震度曝露人口は、東海4県内の全住人を対象にした指標である。建物倒壊に伴う死者のほとんどが木造家屋の倒壊によるものと推察されるし、本論は木造住宅耐震化の効果的戦略を考察するのが目的であるので、震度曝露人口を基に地震発生時の各損傷度別の木造住宅に在宅している人口を地震発生時における木造住宅の在宅率と各損傷度の住宅割合から求める。はじめに、震度曝露人口から、地震発生時の木造住宅における在宅率の検討を行う。東海4県における木造住宅に居住している人口の割合（木造人口率）を住宅土地統計

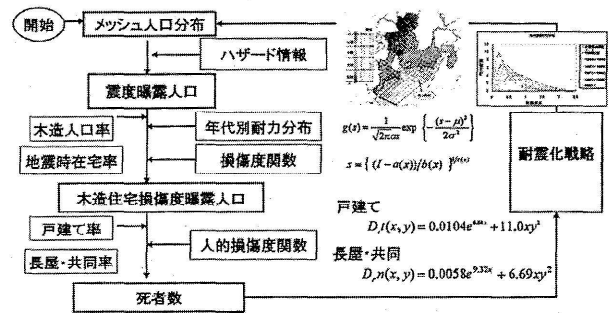


図2 地域マクロ予測の流れ

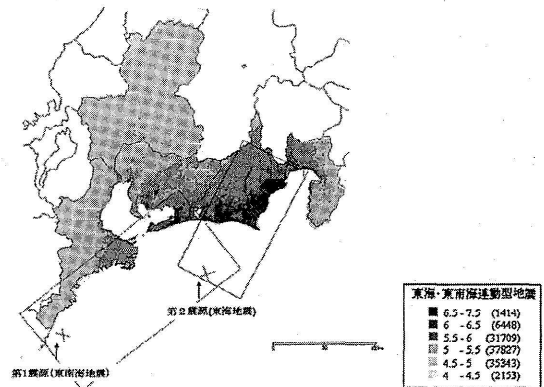


図3 東海4県の震度分布

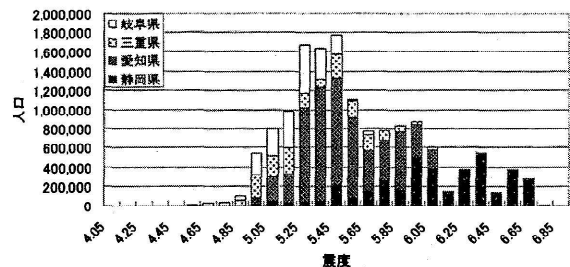


図4 震度曝露人口（東海・東南海地震）

(2003)都道府県編<sup>15)</sup>第7表のデータから算出する。同表より、全住宅人口( $Mf$ )、木造住宅人口( $Wf$ )、防火木造人口( $Bf$ )が得られるので、式(3)より木造人口率( $mf$ , 定義域  $[0,1]$ )を得る。算出結果を表1に示す。

$$mf = (Wf + Bf) / Mf \quad (3)$$

表1 東海4県における木造人口率 (2003年)

	愛知	岐阜	三重	静岡
全住宅人口 ( $Mf$ )	7,031,700	2,079,100	1,840,800	3,740,600
木造人口 ( $Wf+Bf$ )	4,003,000	1,600,600	1,410,900	2,714,500
木造人口率 ( $mf$ )	57%	77%	77%	73%

地震発生時刻における在宅率は、NHK調査<sup>16)</sup>のデータを用いることとする。得られた、木造人口率( $mf$ )と在宅率( $zf$ )および震度曝露人口 $fD$ を利用することで、地震発生時にある震度に曝される木造住宅に滞在している人口(以後、木造震度曝露人口と呼ぶ)が推算できる。震度を $I$ とすると木造震度曝露人口 $MfD$ は木造人口率と在宅率の比例配分により式(4)で表される。上記の地域特性値(木造人口率、地震時在宅率)は地域内(本論では各県内)同一と仮定し、人口および震度曝露人口は地域メッシュ単位で与えられるので、木造震度曝露人口 $MfD$ もメッシュ単位で計算出来る。

$$Mf(I) = f(I) \times mf \times zf \quad (4)$$

次に、木造震度曝露人口に建物損傷度別発生確率を用いて損傷度別の木造住宅に居住している人口(木造住宅損傷度曝露人口)を算出する。建物1棟単位での損傷度別発生確率は式(2)で与えられるが、地域を単位とした場合の損傷度関数への変換を試みる。まず建物損傷度関数式(2)を各震度における損傷度別の耐震評点の値を算出する式に変換する。これは損傷度関数提案論文<sup>10),17)</sup>における建物の必要保有強度推計への利用と同様の操作である。同論文では必要保有強度(耐震評点)をノモグラムで与えていたが、ここでは曲線当てはめ法を用い、以下のべき乗関数で近似することにより、震度 $I$ と損傷度 $x$ とから耐震評点を求める式(5)を構築する。求められた係数 $a$ 、 $b$ および $c$ は表2のようなになる。また、式(2)より震度と耐震評点の関係を作成したものと式(5)との比較を図5に示す。式(5)でワイブル分布式(2)がうまく近似されていることが確認できる。

$$s = \{(I - a(x)) / b(x)\}^{1/c(x)} \quad (5)$$

ここに、 $s$ は耐震評点、 $a \cdot b \cdot c$ は損傷度 $x$ により異なる値を持つパラメータである。

表2 耐震評点評価式(5)の損傷度別係数

損傷度(X)	X=0.1	X=0.2	X=0.3	X=0.4	X=0.5	X=0.6	X=0.7	X=0.8	X=0.9
a	1.59088	1.279466	0.928317	0.489953	-0.05298	-0.88746	-2.16353	-4.71887	-14.4826
b	4.478027	5.071245	5.607693	6.188446	6.858455	7.807897	9.183317	11.8786	21.7951
c	0.213637	0.171426	0.144571	0.122933	0.104969	0.086492	0.068716	0.049498	0.02426

上式(5)で得られる耐震評点は各損傷度を与える閾値となるため、損傷度毎に算出された耐震評点が住宅の耐震評点を上回った場合、その損傷度の被害が発生することになる。

本邦における木造住宅の強度分布のデータとして、日本木造住宅耐震補強事業者共同組合(木耐協)が収集した約3万棟の耐震診断結果(2004年改訂前の耐震精密診断)のデータ(全国)がある。本研究は東海地域への適用を試みているが、地域別に分類すると有効データ数が限られてしまうため、全国と当該地域との間に分布の大きな違いがないことを確認し、全国データを基本とする。耐震評点 $s$ の頻度分布割合(発生確率)を、上記データを建築年代別にまと

め以下の対数正規分布(平均値 $\mu$ 、標準偏差 $\sigma$ )を当てはめ、建築年代別の耐震評点分布 $g(q,s)$ として求める(表3)。図6に木耐協の調査データと当てはめ後の対数密度関数を示す。建築年代ごとに当てはめは良好であることが分かる。

$$g(q,s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(\ln(s)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

ここに、 $q$ は建築年代を意味し、1950年以前、1951~1960、1961~1970、1971~1980、1981~1990、1991年以降の6区分とする。エリアにおける耐震評点発生確率(以下、耐力分布と称す) $g(s)$ は、年代別に算出した耐力分布 $g(q,s)$ にエリアごとの年代別建物割合 $T(q)$ を乗じ、年代加算することで求める。

$$g(s) = \sum_q (g(q,s) \times T(q)) \quad (7)$$

表3 建築年代別耐震評点分布(全国)の係数 $\mu$ 、 $\sigma$

Cases	-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-	All
$\mu$	-1.0968	-0.7598	-0.5854	-0.4018	-0.1862	-0.0303	-0.36783
$\sigma$	0.8229	0.7046	0.5579	0.5335	0.5125	0.4809	0.59702

式(7)を用い東海4県での木造住宅の耐力分布の作成を試みる。東海4県の木造住宅の年代割合は、住宅土地統計(2003)都道府県編のデータから木造戸数と防火木造戸数の年代別データを用い、上記6区分で算出し図7に示す。このデータを用い式(7)に代入することで、県単位での木造住宅の耐力分布の作成が可能である。作成した県別の耐力分布を図8に示す。ある震度 $I$ に対して損傷度 $x$ を被る建物の耐震評点 $s$ は式(5)で与えられ、損傷度 $x$ 以上の被害を受ける地域内分布(各震度における損傷度別超過危険確率) $P(I,x)$ は式(5)を上記県別の耐力分布式(7)に代入し、下式(8)のとおり耐震評点の閾値 $s$ までを積分することで求めることが出来る。

$$P(I,x) = \int_0^s \sum_q (g(q,(I-a(x))/b(x))^{1/c(x)} \times T(q)) \cdot ds \quad (8)$$

ここに、 $P(I,x)$ は、震度 $I$ 、損傷度 $x$ の超過危険確率、 $T(q)$ は建築年代割合である。

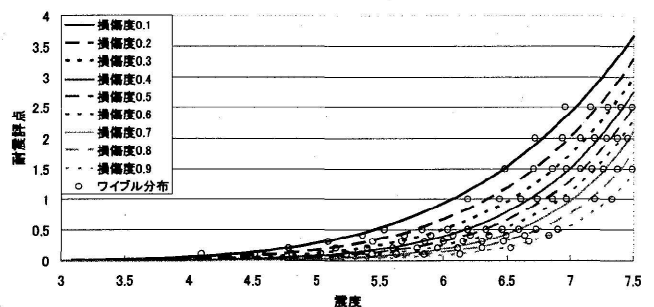


図5 損傷度関数に関する式(2)と式(5)の比較

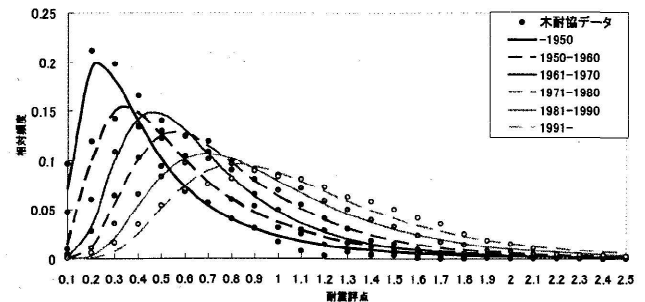


図6 対数正規分布を当てはめた年代別耐震評点分布

実際に木造損傷度曝露人口を算出するためには、式(4)による木造震度曝露人口  $MF(I)$  を被害区分(たとえば、損傷度 0.1 刻み)ごとに確率配分する必要があるため、ある損傷度  $\Delta x$  ( $x-0.1$  から  $x$ ) における危険確率  $p(I, \Delta x)$  を求める必要がある。この危険確率は、単純に超過危険確率  $P(I, x)$  と  $P(I, x-0.1)$  の差をとることで求まる。

$$p(I, \Delta x) = P(I, x) - P(I, x-0.1) \quad (9)$$

損傷度  $[x-0.1, x]$  の建物内に居住する人口、すなわち木造損傷度曝露人口  $MF(I, \Delta x)$  は木造震度曝露人口  $MF(I)$  に式(9)を地域メッシュ単位で掛け合わせることで算出される。

$$Mf(I, \Delta x) = Mf(I) \times p(I, \Delta x) \quad (10)$$

損傷度を 0.1 刻み、地震発生時刻の在宅率を深夜 2 時の 94% とした場合の木造損傷度曝露人口の算出結果を、地域メッシュを東海 4 県でサマージョンし図 9 に示す。

### (3) 死者数の算出

既述のように筆者らは、建物 1 棟を対象とした死亡率という考え方を式(1)の様に提案している。同式の係数は一戸建ての場合と長屋・共同の場合で式(11)(12)のとおり異なっている。同式は、1 棟当たりの死亡率を与えるものではあるが、周辺全壊率  $y$  の時の、損傷度  $x$  の建物内の住人一人当たりの死亡率を意味する。

一戸建ての場合：

$$Dnk(x, y) = (0.0104e^{0.68x} + 11.0xy^2) / 100 \quad (11)$$

長屋・共同の場合：

$$Dnt(x, y) = (0.00058e^{0.32x} + 6.69xy^2) / 100 \quad (12)$$

ただし、半壊 (D-LEVEL) における D3、図 1 参照) 以下では死者は発生しないと考え損傷度  $x = 0.6$  未満は考慮しない。この式を地域者数算定に拡張する場合、周辺全壊率と各損傷度における人口が必要になる。周辺全壊率算定の際の全壊の定義が損傷度 0.6 以上のた

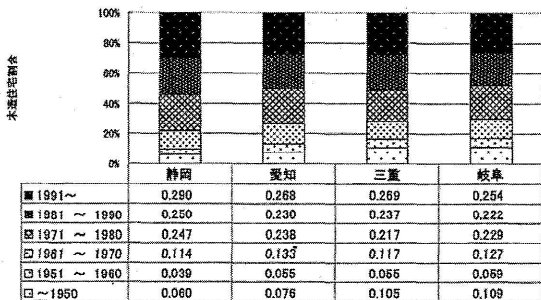


図 7 東海 4 県における木造住宅の建築年代割合

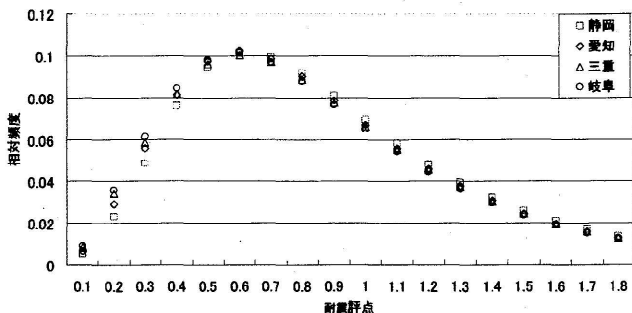


図 8 東海 4 件の木造住宅の耐力分布

め、県ごとに式(8)における損傷度  $x$  に 0.6 を代入することで各震度  $I$  における周辺全壊率  $y(I)$  を算出することが可能である。

$$y(I) = \sum_{I=0}^7 P(I, 0.6) \quad (13)$$

式(11)(12)は一戸建てと長屋共同に分かれているため、木造住宅損傷度人口を一戸建て人口率と長屋・共同人口率を用いることで、戸建滞在者数と長屋共同滞在者数に分離する。戸建人口率と長屋・共同人口率は、住宅土地統計都道府県編(2003)表 5・表 6 より木造における戸建住居数  $kf$  と一戸あたりの平均人数  $Kf$ 、木造人口数  $(Wf+B\theta)$  を得ることで算出出来る。

$$kf = (Ks \times Kf) / (Wf + B\theta) \quad (14)$$

$$tf = 1 - kf \quad (15)$$

ここに、 $kf$ は一戸建人口率、 $tf$ は長屋共同人口率である。各県ごとに得られた戸建人口率、長屋共同人口率を表 4 に示す。よって死者数  $Dn$  は、式(16)で求められ、算出された東海 4 県における死者数を県別に表 5 に示す。

$$Dn = \sum_{x=0.6}^1 \sum_{I=0}^7 Dnk(x, y) \times Mf(I, \Delta x) \times kf + Dnt(x, y) \times Mf(I, \Delta x) \times tf \quad (16)$$

### 2.3 東海 4 県の耐震化戦略の現状からみた問題点

東海 4 県において、住宅土地統計(2003)から 1981 年以前建築の住宅割合を見てみると、静岡県 46%、愛知県 50%、三重県 49%、岐阜県 52%となり、現有の木造建築の約半分は旧建築基準の基で建てられた住宅であることが分かる。また、1981 年以前の木造住宅数は静岡県 39 万戸、愛知県 65 万戸、三重県 23 万戸、岐阜県 25 万戸であり、住宅割合に比べ、既存不適格住宅実数は県ごとに大きな違いがある。これら要改修住宅に対する各県の耐震改修支援制度は、国土交通省の耐震改修等に対する補助制度の整備状況の調査(2006)<sup>18)</sup>によれば、耐震改修補助の実施市町村割合は、静岡県と三重県が 100%、愛知県が 97%、岐阜県が 88%であり、全国平均 27% に比べ実施率はかなり高い。しかし補助支援事業が十分かという点、

表 4 各県における戸建人口率と長屋・共同人口率

	静岡	愛知	三重	岐阜
一戸建人口率 ( $kf$ )	0.963	0.940	0.982	0.976
長屋・共同人口率 ( $tf$ )	0.037	0.060	0.018	0.024

表 5 東海 4 県における推定死者数

	静岡	愛知	三重	岐阜
死者数(人)	8,516	680	167	48

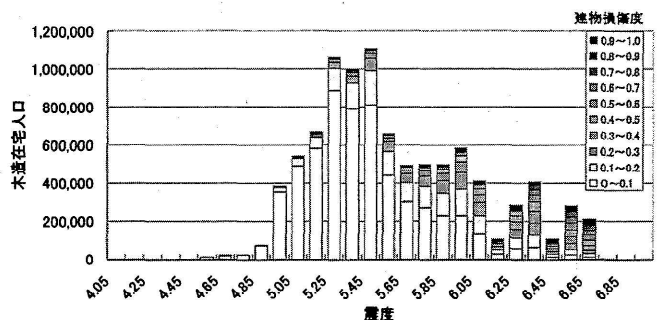


図 9 東海 4 県における木造住宅損傷度曝露人口

平成 18 年度の耐震改修支援予定数は、静岡県で 3,000 棟、愛知県 2,000 棟、岐阜県 170 棟、三重県 100 棟（4 年間で 400 棟）となっており（各県のホームページ<sup>19)</sup>より）、目標数は既存不適格住宅実数に比較し決して多いとは言えない。

この数値をそのまま現状に照らし合わせるならば、現状の補助額を 10 年間続けたとしても国土交通省目標値の 9 割耐震化達成は難しいということになる。加えて各地域が用意できる補助金額は地方自治体によって大きく異なっており、全国同一の耐震化戦略は各地域においての最適解を与えるわけではなく、各自治体単位での戦略分析が必要なのは明らかである。しかしながら、各自治体においてこれらの補助が対策軸上でどの程度の効果を発揮するのかを判断する方法は明示されていない。この事情は、東海 4 県以外の自治体でも同様であろう。本論は、前記した地域死者数評価法を基に、対策軸を人的被害低減率の最大化におき、各自治体の耐震化戦略ストックの分配法が死者低減率に如何に効力を発揮するかをシミュレーション的に計測するため、耐力向上の事業行為として住宅建て替えおよび新築並びに耐震改修を考え、そして耐力遞減現象として建物の老朽化を考え併せることで、耐震化戦略の死者軽減効果算出式を作成する。2.2 節において展開した地域死者数算定式は現状における評価であったのに対し、以降は時間変化を追跡する算定式を展開する。そのために、現状を時間原点とする時間軸  $t$  [年] を導入する。

#### 2.4 時間変動を考慮した死者算定式

##### (1) 耐力遞減現象（老朽化の影響）の考察

木造住宅は、物理的耐久年数が約 30 年といわれているように腐食や白蟻の発生などの影響を受けやすい。耐力劣化に関する既往の研究としては更谷・他<sup>20)</sup>による、兵庫県南部地震時の神戸市と鳥取県西部地震時の日野町の建築年代別被害率より算出した被害関数や、林<sup>21)</sup>によるものがある。更谷・他は劣化に伴う建物の最大応答変形角への影響を評価し、兵庫県南部地震における神戸の住宅は建築後 33 年で 50%、鳥取県西部地震における日野町における建築後 78 年で 30%の劣化を報告している。また、林は耐震評点 0.7 まで落ちる期間を耐用年数とするという考え方で劣化を扱っており、30 年で 3 割減少という提案をしている。しかしこれらの研究には、年代による構法の違いの影響も含まれており、本論で必要とする純粋な老朽劣化に伴う耐震評点への影響を評価することはできない。そこで、本論では、耐震評点の老朽化得点（旧耐震診断による  $F$  値）に着目し、築年数と老朽度の関係を見るために、木耐協が調査した約 3 万棟のデータを用い  $F$  値の検討を行った（図 10）。10 年刻みで老朽化得点の平均を見ると、以下の関係式が得られ（相関係数  $R^2=0.989$ ）、 $F$  値に表れる 50 年の老朽化の影響は耐力を 1 割減少させることに等しい。

$$F(t') = -0.0021 \times t' + 1 \quad (17)$$

$$t' = q_0 - q + t$$

ここに、 $q_0$  は現在の年（時間原点）、 $q$  は建築年（但し  $q \leq q_0$ ）、 $t$  は現在からの経過年であり  $t (= q_0 - q + \theta)$  は築後経過年数を意味する。

##### (2) 耐力向上要因（建て替え・新築・耐震改修の影響）の考察

耐震改修を意識しない自然建て替えによる住宅の耐力強度は、現在の耐震基準の基で建てられた 1991 年以降の住宅耐力分布に等しいとする。年代別住宅の耐力分布を示す式(7)において、地域内の年

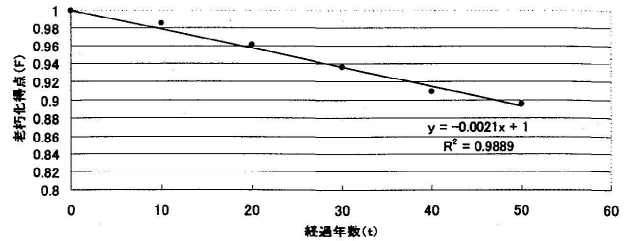


図 10 経過年数と  $F$  値の関係

別建物割合  $T(q)$  は定数扱いとしていたが、時間変動を考慮するため以降では  $T(q, t)$  とする。なお、現時点での  $q$  年代建築の当該地域における住宅割合は、 $t=0$  とおき、 $T(q, 0)$  となる。建て替え住宅数および改修住宅数は建築年代ごとにまた経過年ごとに違ってくるはずであるが、使用できる統計資料に限りがあるため以下のように考えることとする。地域内で確保できる建設労働力は、需要と供給の関係によって変化する。一般に余剰な建設労働力は減少し、不足すれば増加するという需給バランスが成立し、地域経済の急激な変化がなければ大きく変化することはないというのが経済学の教えるところである。よって、労働力は一定であるとみなし当該地域の年当たり建築数（新築と建て替えを合わせた棟数）も連動して一定とし、経過年数により建て替え割合を変化させる。関連統計資料として使えるのは 1998 年および 2003 年の住宅土地統計である。経過時間の時間原点  $q_0 = 2003$  年に取り、 $q$  年代に建てられた当該地域の木造住宅棟数を  $Ms(q)$  とすると、年当たりの増減数  $\Delta Ms(q)$  は、住宅土地統計より以下で計算される。

$$\Delta Ms(q, t = 2003 - q) = \{Ms(q, t = 2003) - Ms(q, t = 1998)\} / 5 \quad (18)$$

よって、経過年数別の年当たりの住宅増減割合  $T(q, t)$  は以下で与えられる。

$$T(q, t) = Ms(q) / \sum_q Ms(q) \quad (19)$$

ここに

$$Ms(q) = Ms(q, t = 2003) + \Delta Ms(q, t = 2003 - q) \times t$$

式(19)および住宅土地統計資料を用いて、東海 4 県について年当たりの木造住宅増減数および経過年数別増減割合を表 6 に示す。築年数 30 年辺りに建て替えのピークがあることが分かる。

##### (3) 耐震化戦略における死者軽減効果の算出式

建物の劣化を考慮した式(17)と建物の耐震性の向上を考慮した式(19)により、時間経過に伴う当該地域の住宅の耐震評点別耐力分布  $g(s)$  (式(17)相当) は、以下の形で表される。耐震化戦略により耐震改修した住宅については、行政支援の基準が耐震評点 1.0 とするよう指導されているため、 $q$  年代の住宅の耐震改修率を  $hs(q)$  と耐震評点 1.0 に加算する。同時に、耐震改修の対象となる住宅の耐震評点の割合を減じる。耐震改修をした場合、実際には評点 1.0 を越えるケースも考えられるが、改修の耐震評点分布のデータがないため

表 6 年当たりの木造住宅増減数および経過年数別増減割合

	年当たりの増減数				年当たりの増減割合			
	静岡	愛知	三重	岐阜	静岡	愛知	三重	岐阜
～ 1950	-1,121	-1,198	-1,255	-548	-2.21%	-1.23%	-2.62%	-1.03%
1951 ～ 1960	-2,452	-4,816	-1,540	-2,460	-7.45%	-8.79%	-6.06%	-8.55%
1961 ～ 1970	-6,065	-7,856	-1,863	-3,370	-6.79%	-4.60%	-3.48%	-5.48%
1971 ～ 1980	-8,377	-14,033	-3,749	-4,042	-4.02%	-4.58%	-3.77%	-3.84%
1981 ～ 1990	110	959	-202	939	0.05%	0.32%	-0.19%	0.86%
1991 ～	29,224	28,504	9,709	9,881	11.92%	8.26%	7.97%	8.07%
地域全体の増減数	240	1,560	1,100	400	0.05%	0.12%	0.24%	0.05%

ここでは耐震評点 1.0 に固定する。このような仮定であっても耐震評点 1.0 以上では建物倒壊による死者はほぼ皆無と考えられるので、算出結果に大きく影響はしない。各年代での  $t$  年経過後の改修割合  $hs(q,t)$  は耐震化戦略で任意に与えるものとしここでは既知として扱う。 $t$  年経過した時の耐力老朽劣化は式(17)で、また新築・建て替え等による住宅増減割合は式(19)で与えられるとすると、 $t$  年経過後の当該地域の耐力分布  $g(s,t)$  は、耐震評点が 1.0 (耐震改修による増分を考慮) とそれ以外に場合分けされ、以下で与えられる。

耐震評点=1.0 以外の場合：

$$g(s,t) = \sum_q (g(q,s \times F(t)) \times (T(q,t) - hs(q,t))) \quad (20)$$

耐震評点=1.0 の場合：

$$g(1.0,t) = \sum_q (g(q,1.0) \times (T(q,t) - hs(q,t)) + hs(q,t)) \quad (21)$$

ここに、 $s$  は耐震評点を意味する。

以上より導出した式(20)(21)を式(8)に代入することで  $t$  年経過後の超過危険確率が求まり、この超過危険確率を用い式(9) (10)により木造損傷度曝露人口を求め、式(16)に代入することで、耐震化戦略実施後の死者数を算出することが可能となる。

### 3. 耐震化戦略の検討

#### 3.1 提案されている耐震化戦略

前章で算定法を展開した住宅耐震化に伴う死者の低減率を評価軸として、上記の耐震改修促進法に則った耐震化戦略の効果、特に対策を講じない自然建て替えに委ねた場合および筆者ら<sup>22)</sup>が提案している死者の発生する住宅破壊パターンに着目した想定損傷度別耐震化戦略実施の場合と比較検討を行う。算出法は、2.4 節の時間変動を考慮した死者算定式を用いることとする。

##### (1) 何の対策も講じない場合 (戦略 0)

表 6 のデータをそのまま用い、以後 10 年間、当該地域における建て替え割合を不変とみなし死者数を算出する。建て替えは一般に建物老朽化に伴う住民の建て替え要求を動機とするものであり、耐震化を意識した改修がなかった場合を想定している。耐震化住宅の年増加は自然建て替え数 (表 6 相当。東海 4 県全域で 77,318 棟/年) のみであり、耐震化事業という観点からは現状がそのまま維持された場合に相当する。その他の耐震化戦略の比較基準という意味で戦略 0 と称することとする。

##### (2) 改修促進法に則って対策を講じた場合 (戦略 1,2,3)

耐震改修促進法<sup>23)</sup>では、耐震化率 90% を達成するための方策として、建て替え数を現在の 1.1 倍~1.25 倍にしかつ耐震改修数 2~3 倍を実現することで、耐震化率 90% を達成できると試算している (この試算で使っているデータは住宅土地統計であり、ここで言う建て替え数は表 6 の増減数と同じ考え方である)。これは耐震改修促進法に則った戦略であり、表 6 のデータを 1.25 倍することで耐震改修促進法における建て替え数とし、また平成 18 年度の各県の耐震改修支援予定数 (2.3 節に詳細記載) を 2 倍したものを耐震改修促進法における改修棟数とし、以後 10 年間、当該地域において不変とみなし、耐震改修促進法実施時の死者数を算出する。すなわち、東海 4 県全域で見ると、自然建て替え数 (戦略 0) を 25% 増加させ 96,648 棟/年、耐震改修数は現状を 2 倍し 10,540 棟/年の割合で耐震

化住宅を増加させる戦略である。耐震改修促進法は耐震改修すべき住宅に言及してはいるが、住宅の耐震性は個別に異なることから、耐震改修を実施する住宅ごとに死者軽減効果に差が生じるはずである。その効果の違いを検討するために耐震改修の実施優先順位を以下のとおりに設定し、それぞれを耐震改修促進法に則った戦略とする。なお、以下の戦略において建て替え数については自然建て替え (戦略 0) の 25% 増しで同一とする。

##### 戦略 1：ランダムに改修

現状における自治体の耐震改修事業とはある要件を満たす耐震改修に対して一定の助成を行うというものであり、1981 年以前に建てられた木造住宅を対象としある一定値以下の耐震評点の住宅を 1.0 以上にすることを要件としている。この助成制度は自己申告制であるので、制度活用による耐震改修住宅は当該地域内において 1981 年以前の住居に対して各年代  $q$  の住宅存在割合に比例して実施しているとみなし、かつそれぞれの年代の住宅は図 6 に示す耐力分布をもっているため、耐震改修はこれを確率密度に持つ乱数で発生する (但し、評点 1.0 以上では発生しないものとする) とみなすことが出来る。25% 増し自然建て替え数に加え、耐震改修数 (10,540 棟/年) の優先順位をランダムとするものであり戦略 1 とする。これは国土交通省の耐震化戦略そのものである。

##### 戦略 2：建築年代の新しい住宅から改修 (耐震性の高い住宅優先策)

建て替えについては戦略 1 に同じとするものの、耐震改修の対象住宅については建築年代  $q$  に着目し、1981 年以前の住宅の中でも比較的新しい 1971~1980 年に建築された住居を優先し、順次古いものに移行する戦略である。

##### 戦略 3：建築年代の古い住宅から改修 (耐震性の低い住宅優先策)

建築年の古い 1950 年以前に建築された住宅を優先に耐震改修を行なう戦略である。

なお、耐震改修の効果を見るために、25% 増し自然建て替えのみを実施した場合も検討しておく。

##### (3) 想定損傷度別耐震化戦略 (戦略 4,5)

想定損傷度別耐震化戦略とは、死者の発生する住宅破壊パターンに着目し、想定震度の大きい地域から順番に死者が発生する損傷度の大きい建物を死者の発生しない損傷度 ( $x < 0.6$ )<sup>9)</sup> に留まる耐震改修をする戦略である。各地域メッシュにおいて人口に比例して木造住宅が分布していると仮定すると、 $t$  年後に震度  $I$  に襲われることを想定した各地域メッシュに存在する損傷度  $x$  以上の木造住宅数 (損傷度曝露木造住宅数)  $Ms(I,x,t)$  は式(10)を参考に以下で求められる。

$$Ms(I,x,t) = (Mf(I) \times p(I,x,t) / (Wf + Bf)) \times Ms_{all} \quad (22)$$

ここに  $Ms_{all}$  は住宅土地統計 (2003) より得られる地域メッシュ内の木造住宅全数を意味し  $\sum_q Ms(q)$  で求められ、 $Mf(I)$  は木造震度曝露人口、 $p(I,x,t)$  は  $t$  年後の損傷度  $x$  における超過危険確率、 $(Wf+Bf)$  は木造住宅人口と防火木造住宅人口の和で木造全人口を意味する。表 6 で地域ごとに与えられる目標年改修割合を  $h$  とすると  $t$  年間で地域内で改修される総数は式(23)左辺で与えられる。一方、損傷度  $x$  以上の住宅を想定震度の高い地域から改修を進めると考えると、改修の対象となるのは  $t$  年後の損傷度  $x$  以上の損傷度曝露木造住宅数  $Ms(I,x,t)$  を用いて式(23)右辺で与えられる。ここに  $z$  は耐震改修

の対象地域の最低震度を与える。目標改修数と改修実施数は等しくなければならないので式(23)が $z$ を求める拘束条件式となる。

$$h \times t \times Ms_{all} = \sum_{I=z}^7 Ms(I, x, t) \quad (23)$$

当耐震化戦略は震度 $z$ 以上の地域メッシュにおいて損傷度 $x < 0.6$ の水準まで耐震改修を優先させるものであり、式(16)において木造損傷度曝露人口 $MFI(\Delta x)$ を震度 $z$ 以上かつ損傷度 $x$ 以上の人口に0を代入することで時間経過に伴う死者数の算出が可能となる。ここでは、建て替え数に関しては戦略1~3に同じとし、耐震改修数(10,540棟/年)について以下の2つの場合について検討する。

戦略4：損傷度 $x$ が0.8以上(層崩壊)の住宅を優先的に改修

死者発生確率が極めて高い層崩壊(損傷度 $x \geq 0.8$ )が想定される住宅の耐震改修を優先させる戦略であり、対象となる木造住宅数を式(22)により算出し、式(23)が成立する震度 $I=z$ を求め、該当地域メッシュにおける $x \geq 0.8$ の人口の $x < 0.6$ への移行操作により時間変化に伴う死者数の変化を検討する。

戦略5：損傷度 $x$ が0.6以上(全壊)の住宅を優先的に改修

同様に死者発生の可能性を有する全壊相当(損傷度 $x \geq 0.6$ )を優先させる耐震化戦略である。

### 3.2 シミュレーション結果

上記の耐震化戦略について時間経過に伴う死者数の増減の検討を耐震改修促進法の目標達成期間である10年間を区切りとし、県ごとにシミュレーションを行った。図11~14に結果を示す。年当たり耐震化率は戦略1~5とも同じであるにも拘わらず、死者低減に対する効果の違は際立っている。特別な耐震化対策を施さない現状を維持する戦略0でも、建て替えにより死者は東海4県平均で約30%の低減が見込まれる。しかし、新築・建て替え数は経済動向に大きく左右される側面があり、また近年に見られるインテリア重視の改修は建て替えを抑制する負の作用を持ち、戦略0による死者低

減は期待を下回る恐れがある。全県において見られる大きな特徴は、損傷度に着目した戦略4および5が着目しない場合に比較しいずれも死者低減効果が大きいことである。特に大きなハザードが想定される静岡県の場合、初期段階においては層崩壊が予想される住宅を優先する戦略4を採用し、戦略4の効果が薄れてくる5年後を目処により被害の小さなものも対象とする戦略5に切り替える複合型戦略が効果的であることが示され、今後の耐震化を考える新視点を与えている。一方で、損傷度に配慮しない戦略1および2は耐震改修を想定しない場合(戦略0：図中の一)と比較し殆ど死者低減に寄与しておらず、耐震改修の効果が現れてこないのが分かる。古い住宅を優先する戦略3は損傷度を直接考慮はしないものの、その耐力分布から比較的被害の大きな物を優先する戦略に近く、ある程度の死者低減効果が期待できることが分かる。

図15は静岡県について、木造のみの耐震化率(非木造を除く)と予想死者数との関係を見たものである。ここでの耐震化率とは耐震評点1.0以上の県内住宅割合を言う。平成15年時の住宅土地統計を使用した場合、静岡県の木造住居の耐震化率は54%である。図中の点線は同一経過年数を示す。建て替え数および耐震補強数は年当たり一定を仮定しているため、いずれの戦略も経年と共に着実に県内耐震化率は上昇し、特に戦略1~3による経過年差は発生していない。戦略4と5については、耐震評点が1.0未満であっても損傷度が0.6未満に抑えられる場合もあり得るので、戦略1~3に比べ同一経過年数に対する耐震化率はやや低くなっている。同図より耐震化率の上昇に伴い予想死者数も逡減する傾向は認められるものの同一耐震化率であっても死者低減に与える効果には大きな差が生じているのが分かる。戦略4・5は同一経過年で比べた場合、他の戦略よりも耐震化率は低いものの死者低減効果は圧倒的に高い。それに対し、本解析では耐震改修費用についての検討はしていないものの耐震改修の対象となる住宅でも比較的新しいものからの改修(戦略2)

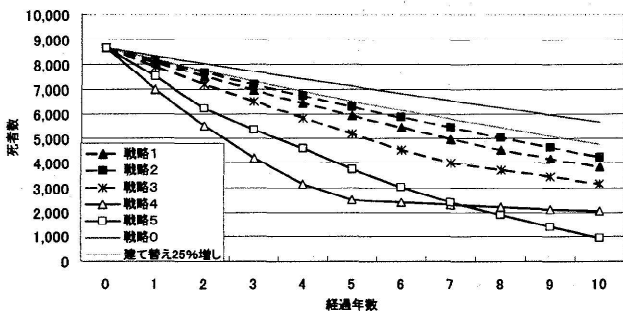


図11 静岡県の死者数の変化

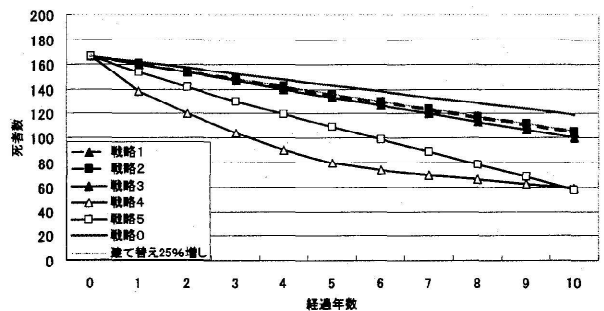


図13 三重県の死者数の経年変化

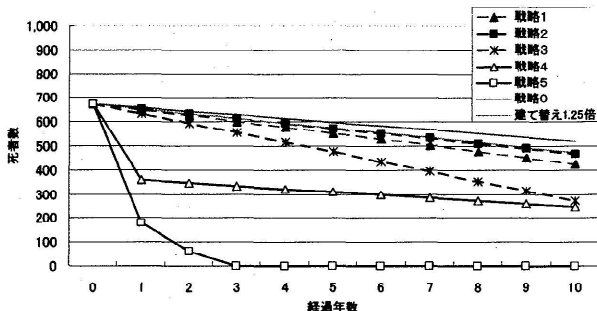


図12 愛知県の死者数の変化

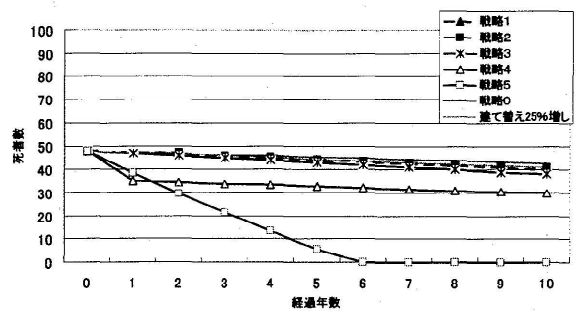


図14 岐阜県の死者数の経年変化

は改修費用を低く抑えることが可能であり、結果として改修数の大幅増加を見込むことが出来る。しかし、その結果に死者低減が十分に追いついていないことを同図は物語っている。耐震改修事業の成否は一般に耐震化率で評価される場合が多く、死者評価を伴わない耐震化率のみの判断で事業成否を議論することの危うさを指摘できる。

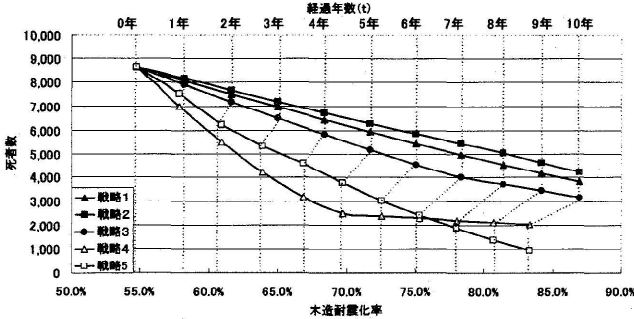


図 15 耐震化率（非木造を除く）と予想死者数との関係

#### 4. おわりに

本研究は、防災の最優先としての死者の低減を主目標におき、住宅の耐震化戦略による予測死者数の時間変動の評価により有効な耐震化戦略を議論することを目的に、個別死者予測の地域死者算出式への拡大と地域の木造耐力に着目した時間経過に伴う死者算出法を展開した。その適用事例として東海・東南海連動地震における東海4県をとりあげた。将来の推定であるのでシミュレーションで得られた結果の正否を直接検討することは難しいが、用いた個々の関数式やデータ等は現時点で考えられ得る最適のものを採用したので、シミュレーション結果は高い精度を有していると考えられる。また、被害想定や将来人口予測等と同じようにシミュレーションをすることにより得られた結果は防災対策への指針を与えており有用と考える。ケーススタディではあるものの、この解析により判明した下記事項は他の地域における耐震化戦略を検討する際にも参考となろう。

- (1)東海4県における住宅建て替えのトレンドは際立っており、海溝型巨大地震における予想死者数は減少傾向にあるものの、それのみでの死者低減には限界があり自治体ごとの耐震化事業に期待する側面は大きい。
- (2)耐震改修促進法を基本に耐震化を進めていく場合、現在の耐震化事業の有力指標である地域内耐震化率のみで事業成否を判断すると死者低減にさほど寄与しない対策となってしまう場合もあり得る。建築年代に着目し古い住宅から優先的に耐震改修することでより死者軽減に効果的な対策となる。
- (3)より効果的な死者低減戦略は高損傷度の発生が予想される住宅から耐震改修を実行することである。東海4県全域を考えた場合、全壊を防ぐ損傷度  $x \geq 0.6$  が想定される住宅を優先的に耐震改修していくことができれば、東海・東南海連動地震に対しては耐震改修促進法に則った改修速度で10年間に現状での想定死者数6,358人を1,008人にまで低減させることができる。
- (4)本提案の予測死者数の時間変動評価を実行することにより、地域に立脚したより効果的な耐震化戦略をきめ細かく検討することが可能となる。愛知県では3年、岐阜県では6年で木造住宅の被害に伴う死者発生を皆無にすることは可能であるし、静岡県と三重県につ

いては、耐震改修促進法の耐震化速度では10年以内の死者0には届かないものの、出来るだけ早い時点で死者低減を目標とするなら、層崩壊可能性住宅(損傷度  $x \geq 0.8$ )を防ぐ耐震改修を優先させ、相応の時間経過の後耐震改修対象住宅の条件を  $x \geq 0.6$  に広げる、いわば戦略の適時切り替えが有効である。

(5)上記(3)~(4)は地域内の住宅耐震診断事業とも密接に関連しており、効果的な耐震化事業計画立案のためには、地域内住宅の耐震診断値を把握しておく必要があり、それに基づいた建物被害評価および人的被害評価が重要である。

本研究遂行に当たり岐阜大学・能島暢呂氏には、東海・東南海地震における東海4県のハザード情報を提供して頂いた。記して謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 静岡県住宅耐震改修等促進方策検討委員会(2001): 静岡県住宅耐震改修等促進方策検討委員会報告書, 2001.1
- 2) 福和伸夫・原哲夫・小出栄治・倉田和己・鶴田庸介: 建物耐震化推進のための振動実験教材の開発, 地域安全学会論文集, 7, 23-34, 2005
- 3) 吉村美保・日黒公郎: 公的費用の軽減効果に着目した木造住宅耐震補助制度の評価, 地域安全学会論文集, 地域安全学会論文集, 4, 247-254, 2002
- 4) 池田浩敬・小沢徹: 木造住宅耐震化制度に関する利用者ニーズの分析, 地域安全学会論文集, 6, 17-22, 2004
- 5) 国土交通省住宅局建築指導課 平成18年2月6日施行 改正 建築物の耐震改修促進に関する法律・同施行令等の解説 2006年2月
- 6) 小椋山雅之・吉村美保・日黒公郎: 耐震補強の誘因と弊害 - 地震防災推進政策におけるリスクコミュニケーションの重要性 - 日本建築学会環境系論文集, 606, 89-96, 2006.8
- 7) 飯塚雄暁・境有紀: 実際の建物被害と対応する地震動強さ指標を用いた既存不適格木造建物の耐震補強における費用対効果の検討, 第12回地震工学シンポジウム, 1294-1297, 2006
- 8) 井戸田秀樹, 嶺岡慎悟, 梅村恒, 森保宏: 在来軸組木造住宅における一般耐震診断評価と損傷度の関係 - 耐震改修促進のための意思決定支援ツールに関する研究(その1), 日本建築学会構造系論文集, 612, 125-132, 2007.2
- 9) 田畑直樹・岡田成幸: 地震時の木造建築物倒壊に伴う死者数推定に向けた棟死亡率関数の提案, 日本建築学会構造系論文集, 605, 71-78, 2006.7
- 10) 岡田成幸・高井伸雄: 木造建築物の損傷度関数の提案と地震防災への適用 - 地震動入力を確定的に扱う場合 -, 日本建築学会構造系論文集, 582, 31-38, 2004.8
- 11) 岡田成幸・高井伸雄: 地震被害調査のための建物分類と破壊パターン分類, 日本建築学会構造系論文集, 524, 65-72, 1999.10
- 12) 能島暢呂・久世益充・杉戸真太: 2000~2005年の主な地震による震度曝露人口と住家・人的被害との相関に関する研究, 日本自然学会論文集, 25-2, 165-182, 2006
- 13) 久世益充・能島暢呂・杉戸真太: 南海トラフ巨大地震を想定した広域震度予測, 22-1, 87-99, 2003
- 14), 15) 総務省統計 HP) <http://www.stat.go.jp>(参照 2006年7月8日現在)
- 16) NHK放送文化研究所: データブック国民生活時間調査 2005
- 17) 田畑直樹・岡田成幸: 建物損傷度関数と棟死亡率関数の地震防災への利用法 - 人命損失に着目した木造低層建物の被害関数の作成と震害予測例 - 日本建築学会構造系論文集, 611, 39-46, 2007.1
- 18) 国土交通省住宅局建築指導課: 地方公共団体における耐震改修促進計画の策定予定及び耐震改修に対する補助制度の整備状況について, 2006
- 19) たとえば, 静岡県ホームページ <http://www.pref.shizuoka.jp>(参照 2006年7月8日現在)
- 20) 更谷安記子, 森井雄史, 林康裕: 木造住宅の経年劣化を考慮した最大地震動速度に対する損傷度曲線, 第12回地震工学シンポジウム, 150-153, 2006
- 21) 林勝郎: 経年劣化の予測法, 構造システムから住空間までを含む建築物総合安全性の常時監視ウェブネットの構築, 平成15年~17年度文部科学省補助金基盤研究(A)(2)(課題番号 15201035)研究成果報告書, 66-72, 2006.3
- 22) 中嶋唯貴: 死者軽減を主目標とした在来軸組木造建築の耐震補強レベルの導入 - 基本関係式と愛知県における試算 - 地域安全学会論文集, 7, 9-14, 2005

(2007年7月10日原稿受理, 2007年10月4日採用決定)

## 参考資料-2 6 地震動の被害想定結果

被害想定結果一覧

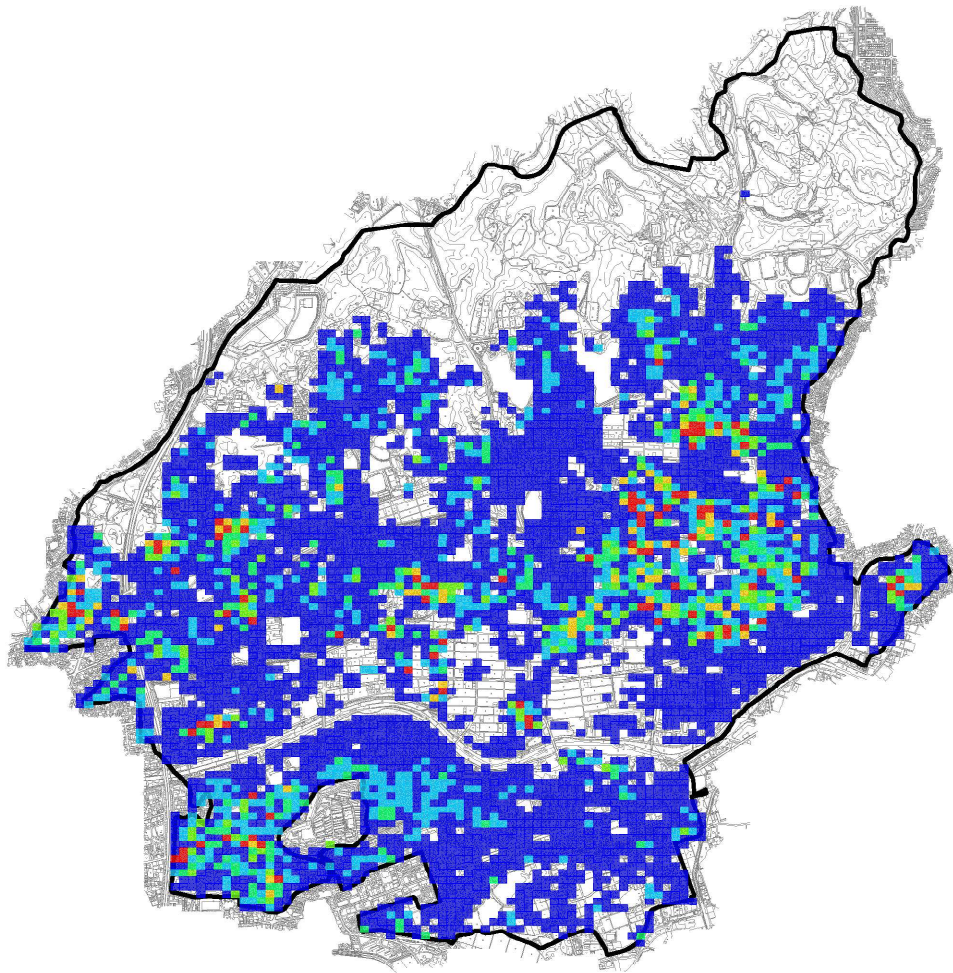
	南海トラフ 過去最大	南海トラフ 理論最大 陸側	南海トラフ 理論最大 東側	東海・東南海 2連動	東海・東南海 ・南海 3連動	猿投-高浜	
地震の規模	8.7	9.0	9.0	8.3	8.7	7.7	
本市の震度	6弱	6弱	6弱	5強	5強	7	
人的被害 (人)	死者	17	66	15	4	2	100
	負傷者	426	1,303	384	136	80	1,915
建物被害 (棟)	全壊	418	1,564	372	113	59	2,505
	半壊	1,052	2,643	978	363	199	3,293
炎上出火件数(件)	4	14	5	3	2	40	
最大避難者数(人)	8,262	13,404	8,060	1,890	282	15,884	
うち避難所への避難者数(人)	4,131	6,702	4,030	945	141	7,942	
管路延長(km)	387.003	387.003	387.003	387.003	387.003	387.003	
被害箇所数(件)	196.814	545.406	191.213	28.860	2.756	784.356	
被害率(件/km)	0.509	1.409	0.494	0.075	0.007	2.027	
断水率(%)	直後	0.877	0.973	0.872	0.244	0.007	0.985
	1日後	0.596	0.830	0.588	0.135	0.010	0.882
	7日後	0.365	0.521	0.360	0.079	0.006	0.561
	1ヶ月後	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

# 【50mメッシュ】

## 全壊建物棟数（棟）

南海トラフ巨大地震（過去最大）

- 0 ~ 0.1
- 0.1 ~ 0.2
- 0.2 ~ 0.3
- 0.3 ~ 0.4
- 0.4 ~ 0.5
- $\geq 0.5$

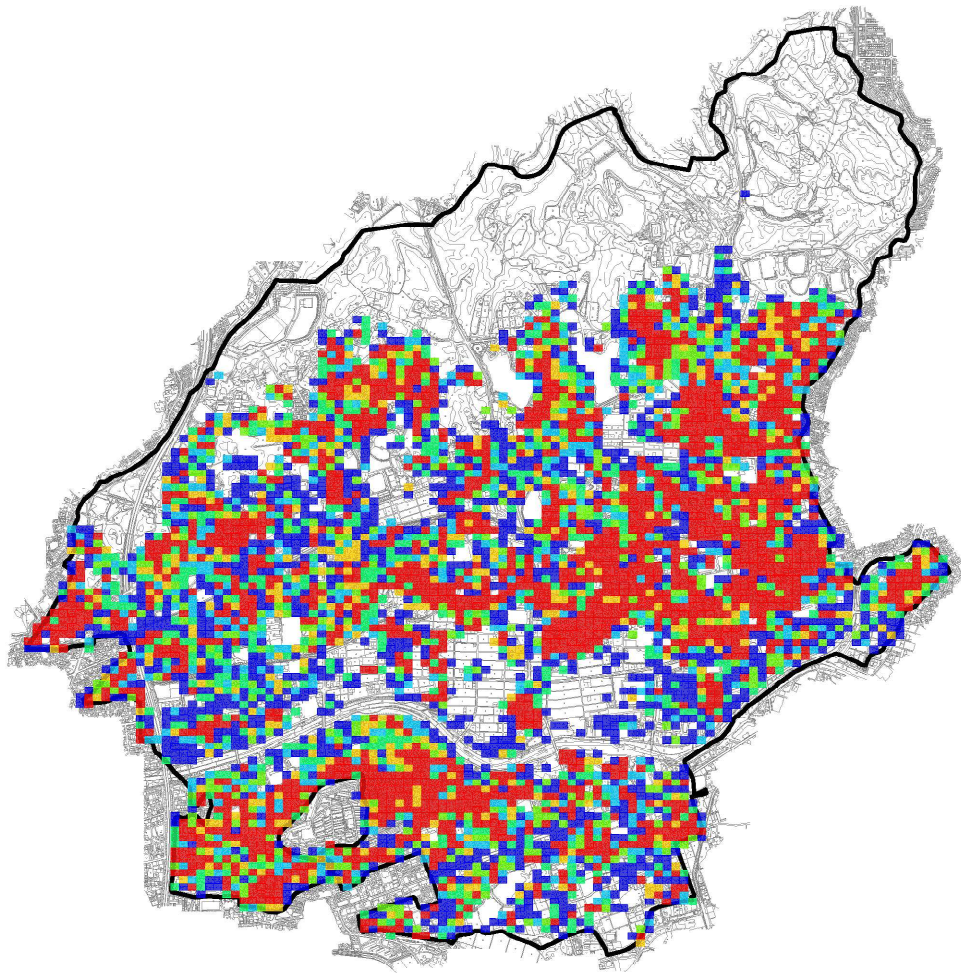
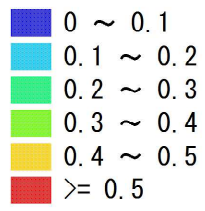


1:50000

# 【50mメッシュ】

## 全壊建物棟数（棟）

猿投-高浜断層帯地震



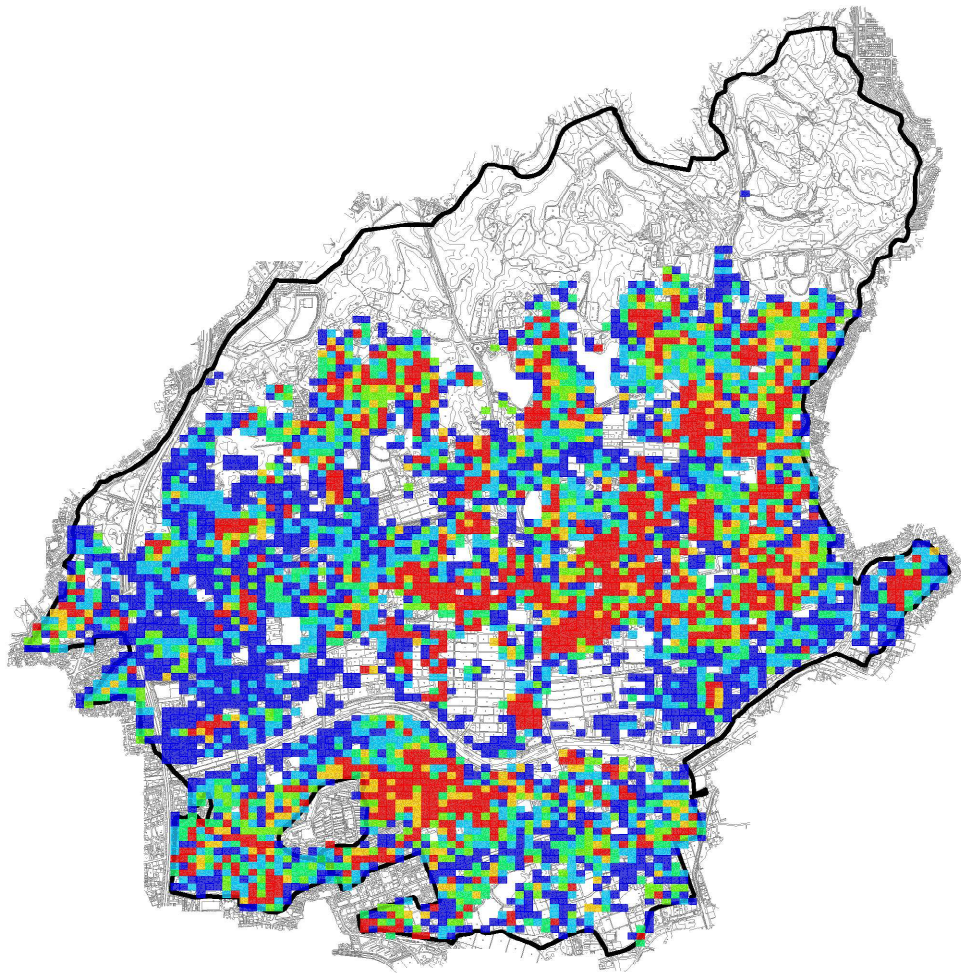
1:50000

# 【50mメッシュ】

## 全壊建物棟数（棟）

南海トラフ巨大地震（理論最大・陸側）

- 0 ~ 0.1
- 0.1 ~ 0.2
- 0.2 ~ 0.3
- 0.3 ~ 0.4
- 0.4 ~ 0.5
- $\geq 0.5$

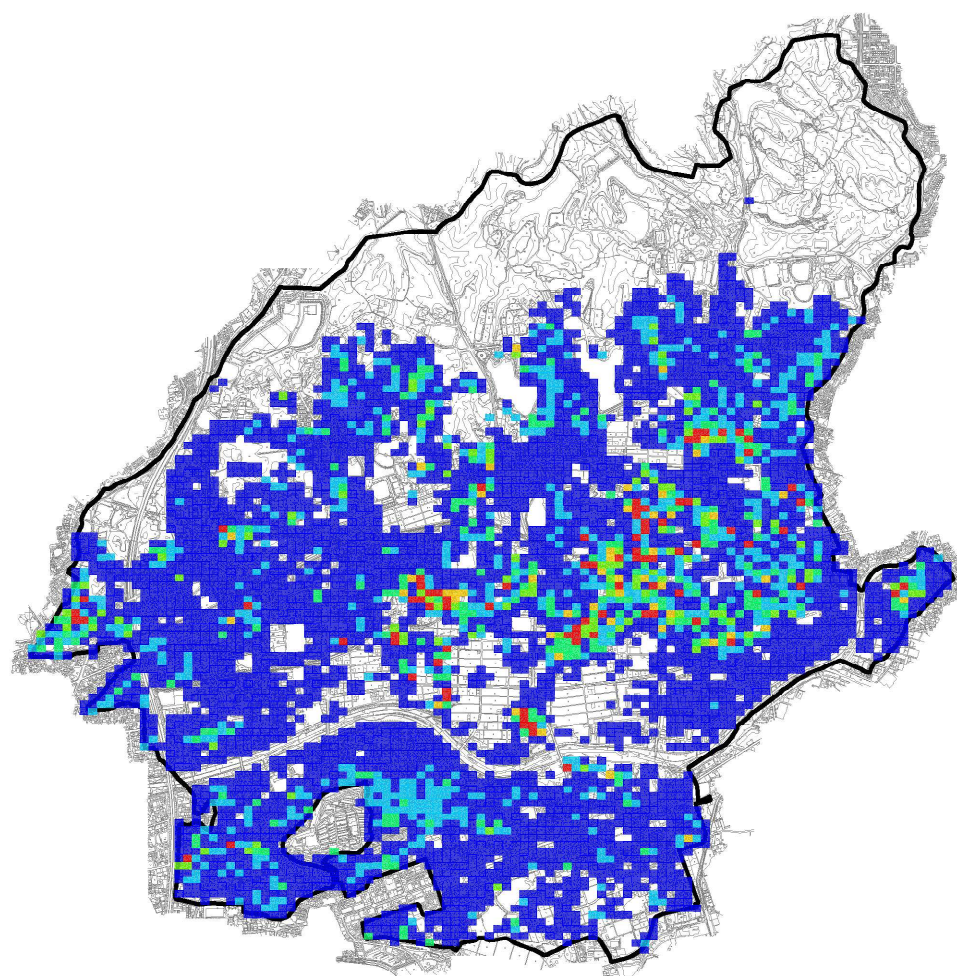
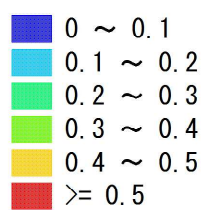


1:50000

# 【50mメッシュ】

## 全壊建物棟数（棟）

南海トラフ巨大地震（理論最大・東側）

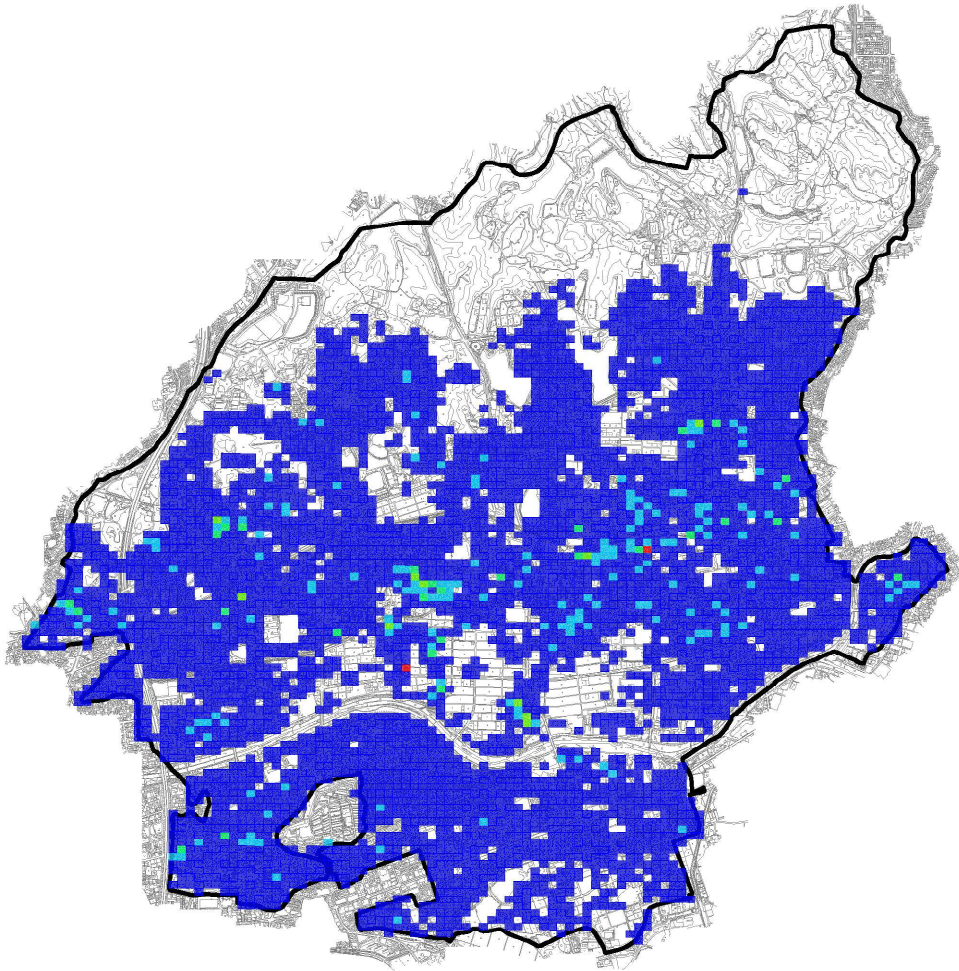
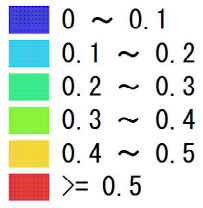


1:50000

【50mメッシュ】

全壊建物棟数（棟）

東海・東南海地震（2連動）

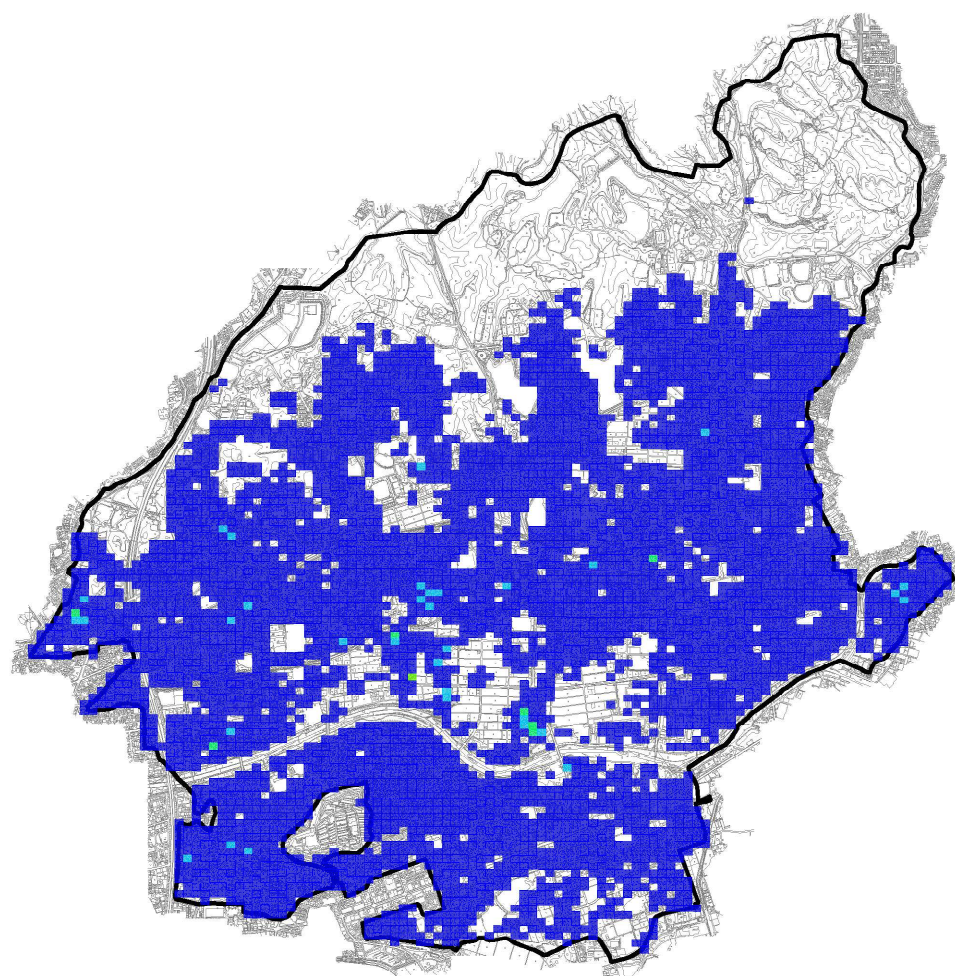
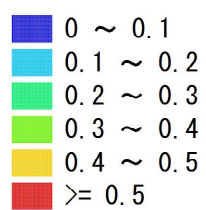


1:50000

# 【50mメッシュ】

## 全壊建物棟数（棟）

東海・東南海・南海地震（3連動）



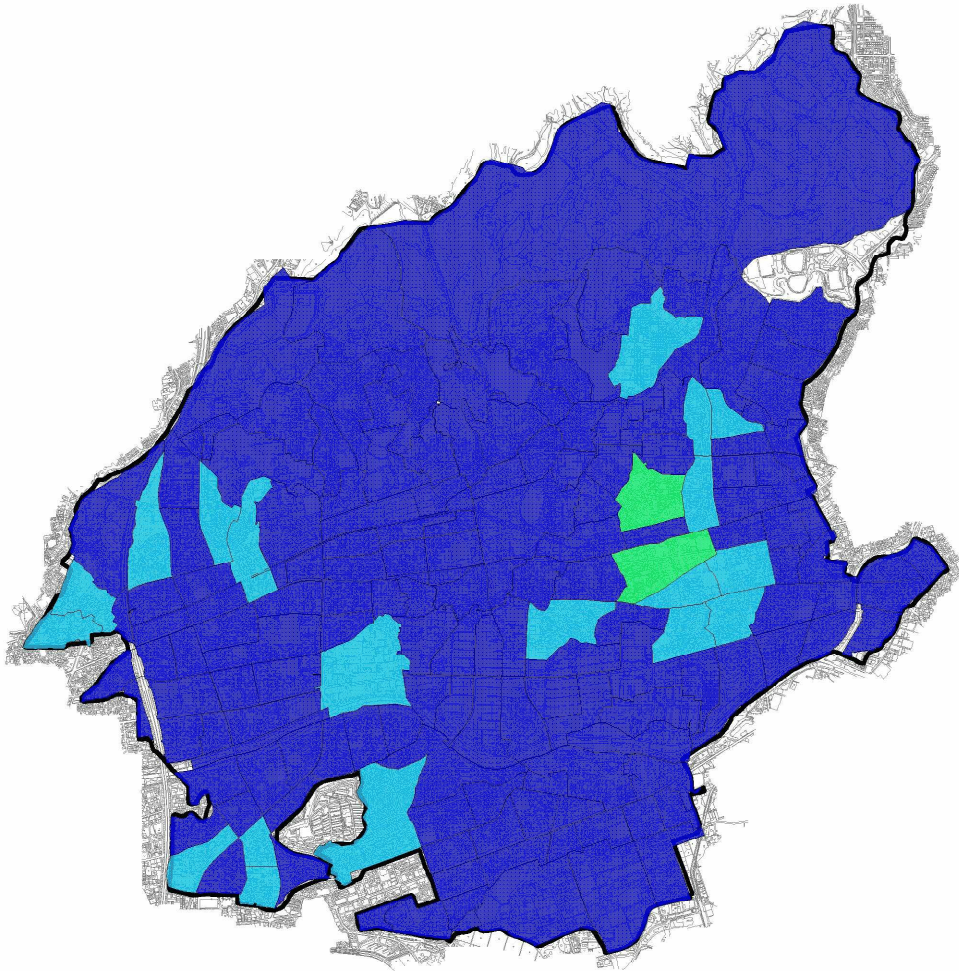
1:50000

【町丁目】

全壊建物棟数（棟）

南海トラフ巨大地震（過去最大）

- 0 ~ 5
- 5 ~ 10
- 10 ~ 15
- 15 ~ 20
- 20 ~ 25
- $\geq 25$



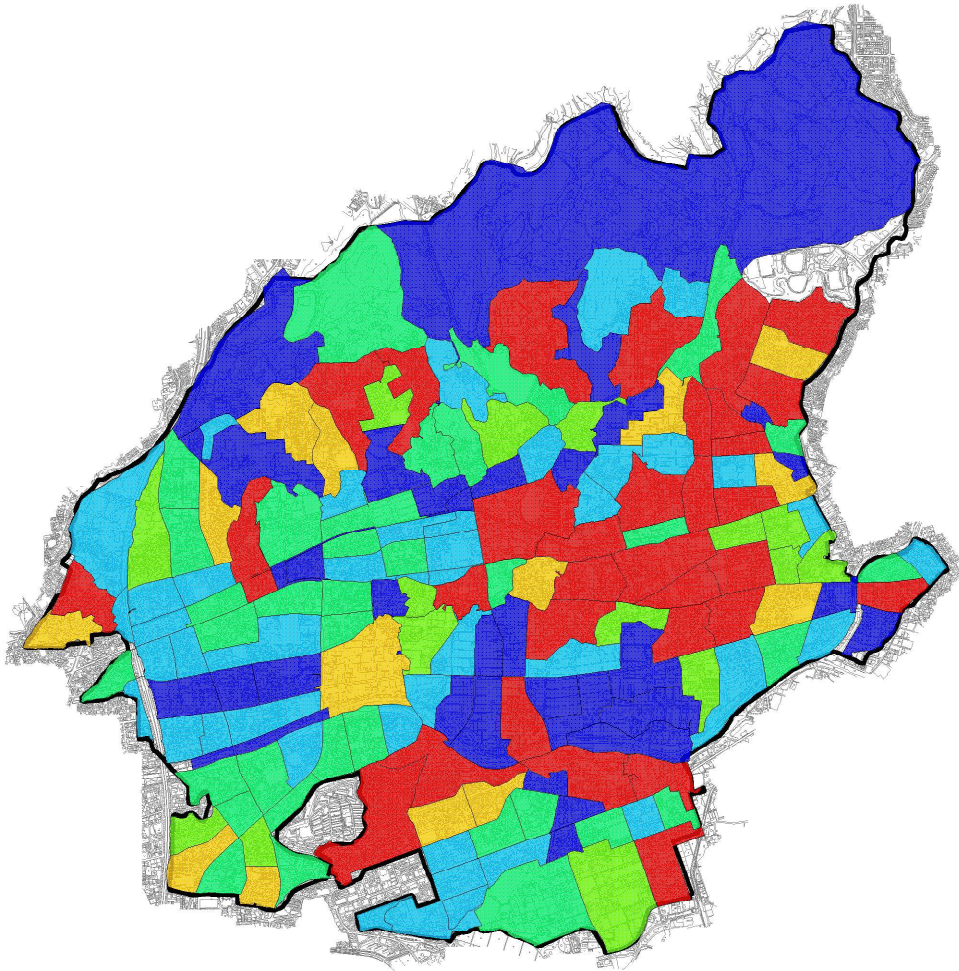
1:50000

【町丁目】

全壊建物棟数（棟）

猿投-高浜断層帯地震

- 0 ~ 5
- 5 ~ 10
- 10 ~ 15
- 15 ~ 20
- 20 ~ 25
- $\geq 25$



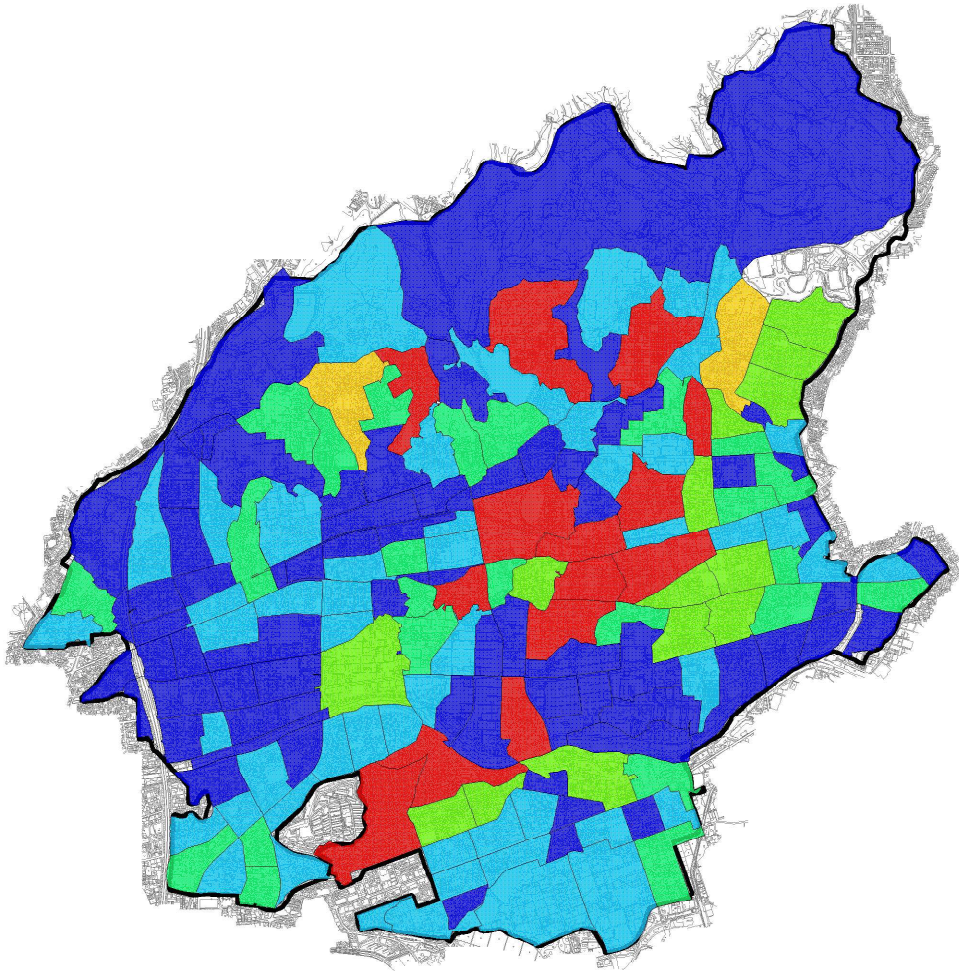
1:50000

【町丁目】

全壊建物棟数（棟）

南海トラフ巨大地震（理論最大・陸側）

- 0 ~ 5
- 5 ~ 10
- 10 ~ 15
- 15 ~ 20
- 20 ~ 25
- >= 25



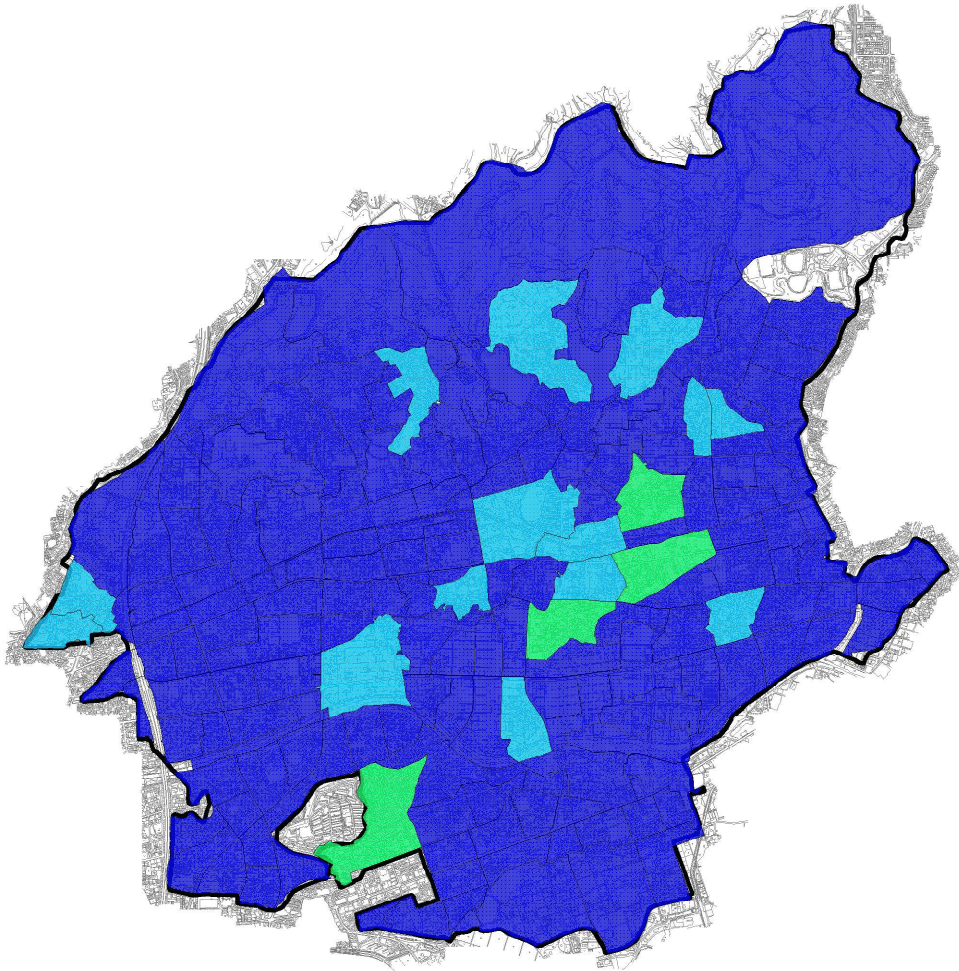
1:50000

【町丁目】

全壊建物棟数（棟）

南海トラフ巨大地震（理論最大・東側）

- 0 ~ 5
- 5 ~ 10
- 10 ~ 15
- 15 ~ 20
- 20 ~ 25
- >= 25

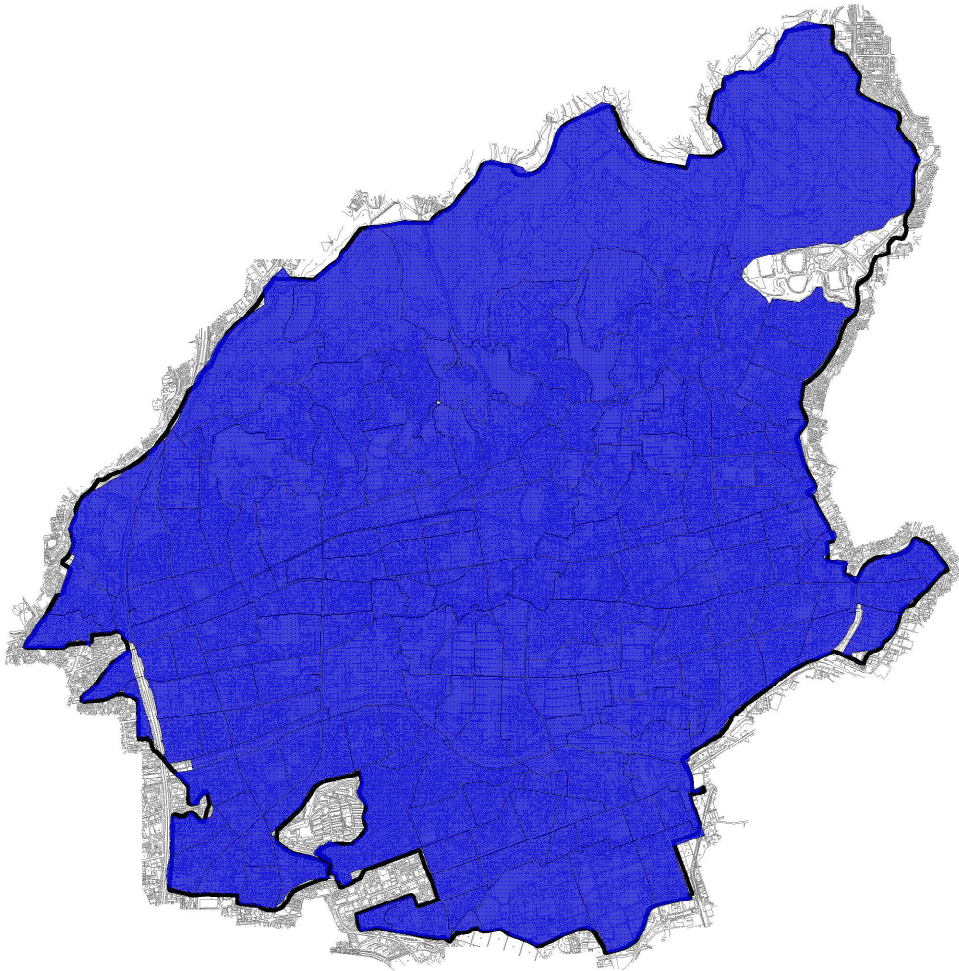
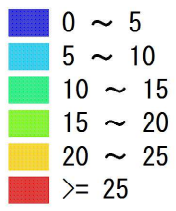


1:50000

【町丁目】

全壊建物棟数（棟）

東海・東南海地震（2連動）



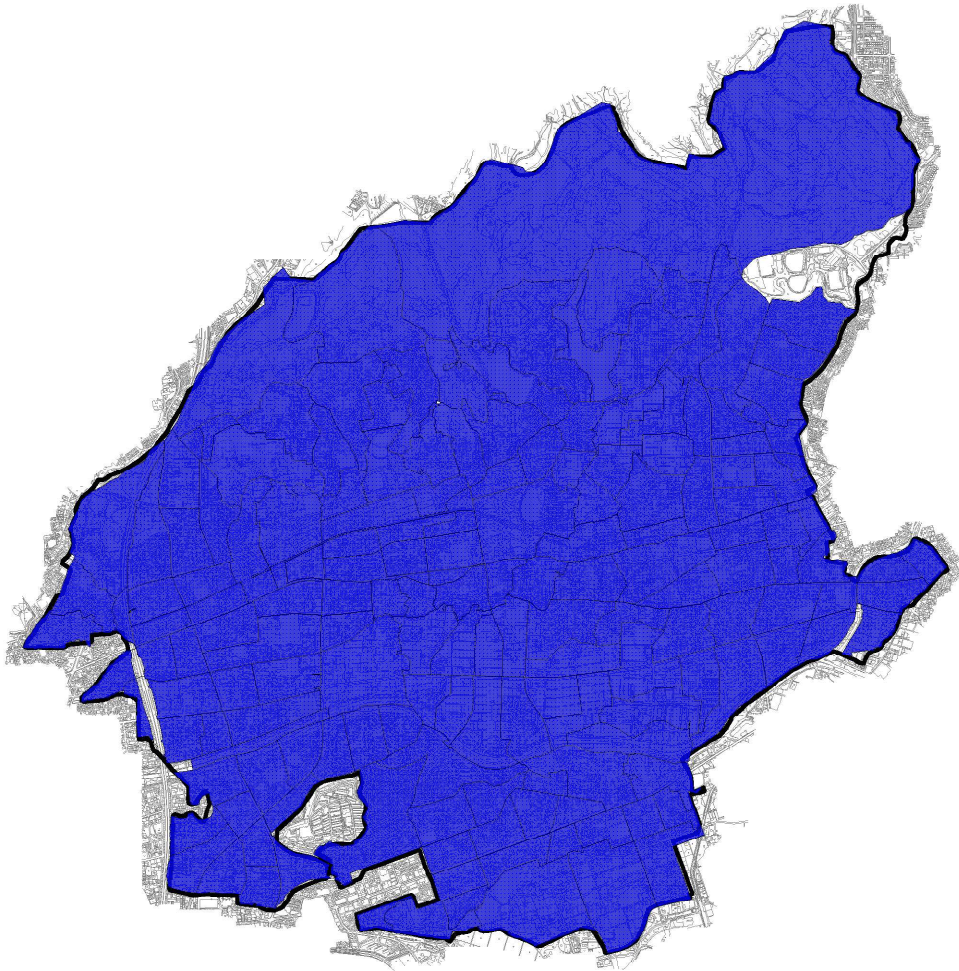
1:50000

【町丁目】

全壊建物棟数（棟）

東海・東南海・南海地震（3連動）

- 0 ~ 5
- 5 ~ 10
- 10 ~ 15
- 15 ~ 20
- 20 ~ 25
- >= 25

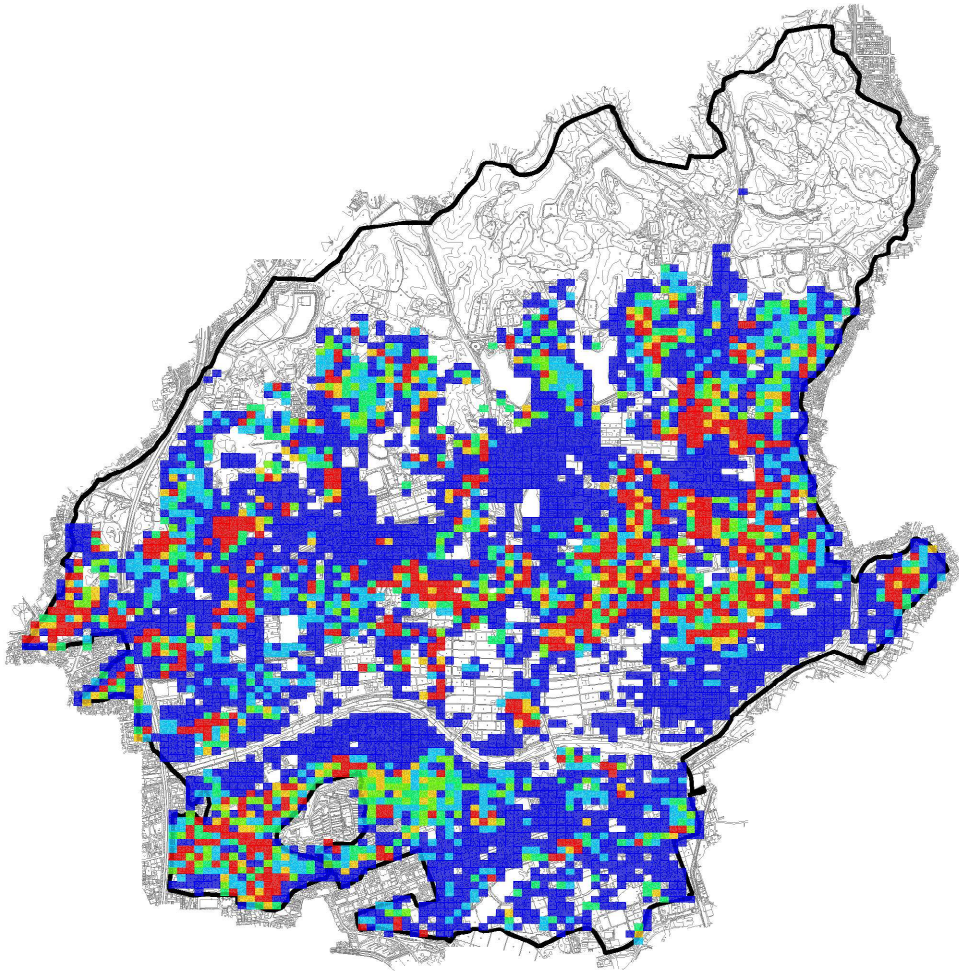
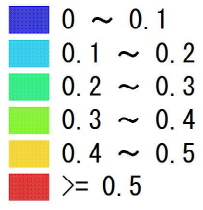


1:50000

# 【50mメッシュ】

## 半壊建物棟数（棟）

南海トラフ巨大地震（過去最大）

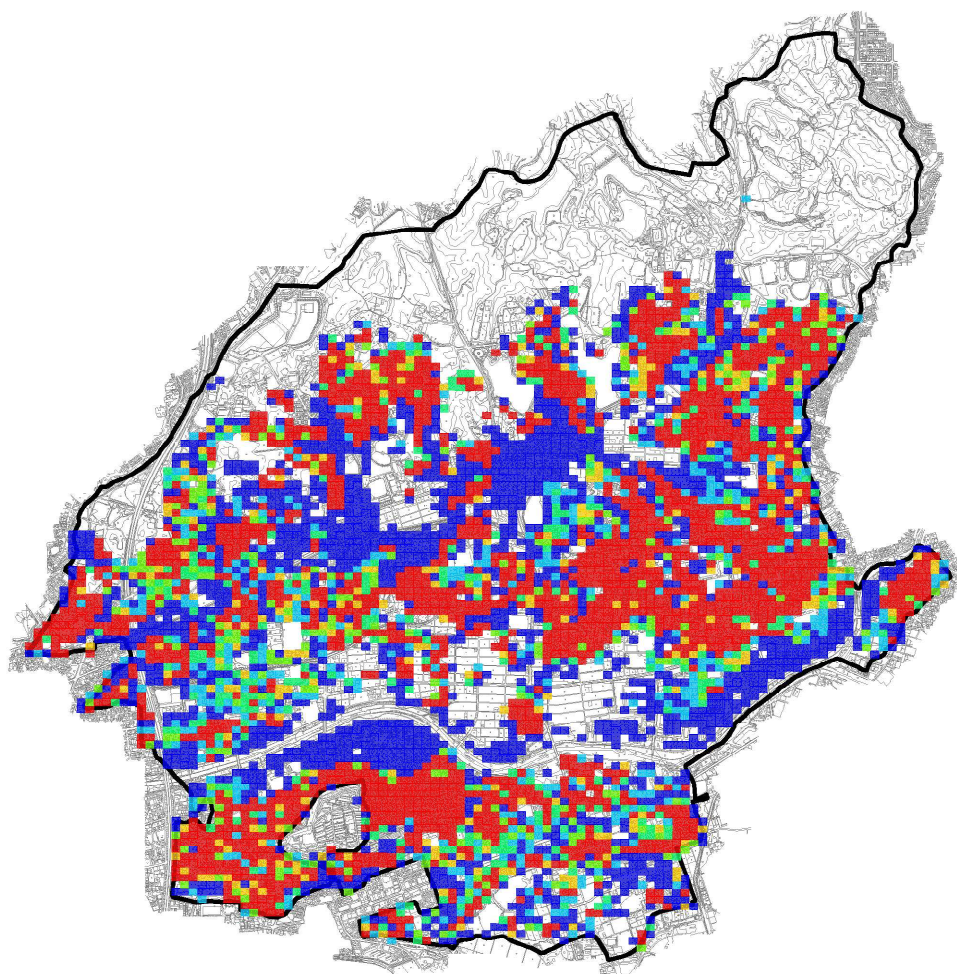
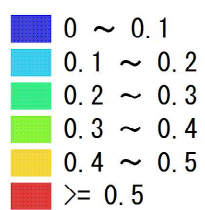


1:50000

# 【50mメッシュ】

## 半壊建物棟数（棟）

猿投-高浜断層帯地震



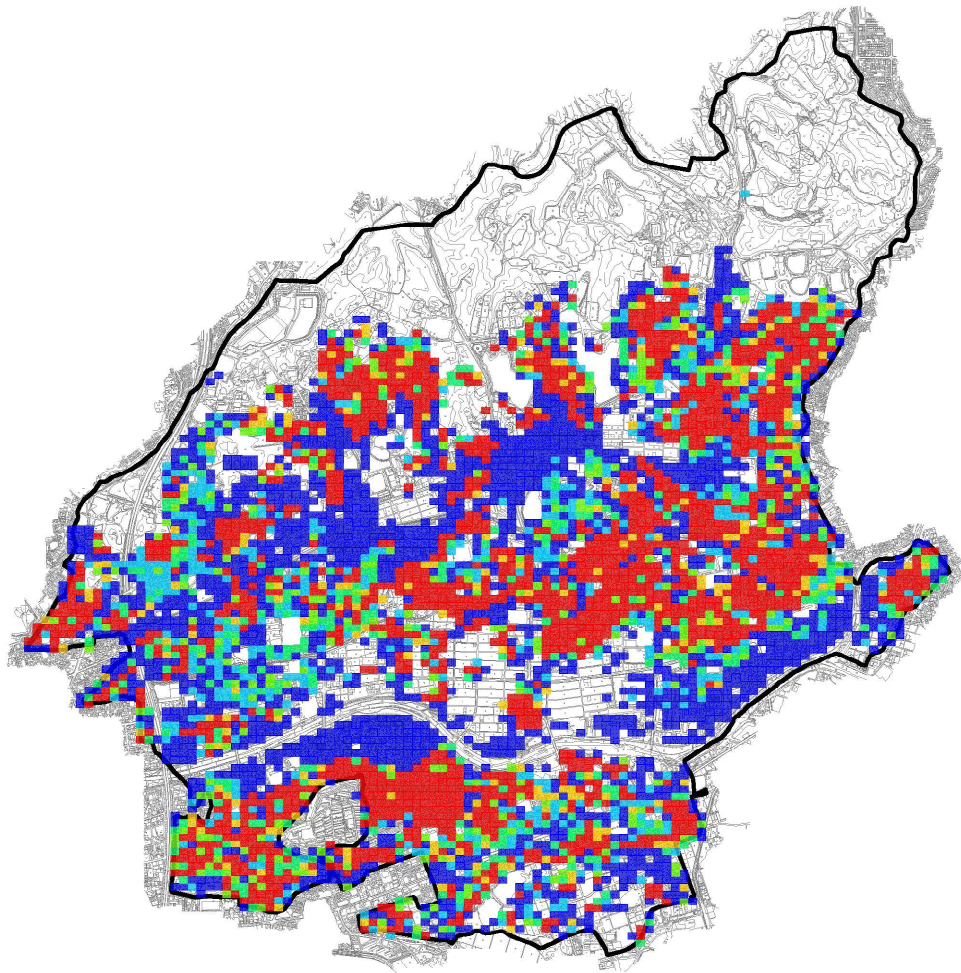
1:50000

# 【50mメッシュ】

## 半壊建物棟数（棟）

南海トラフ巨大地震（理論最大・陸側）

- 0 ~ 0.1
- 0.1 ~ 0.2
- 0.2 ~ 0.3
- 0.3 ~ 0.4
- 0.4 ~ 0.5
- $\geq 0.5$



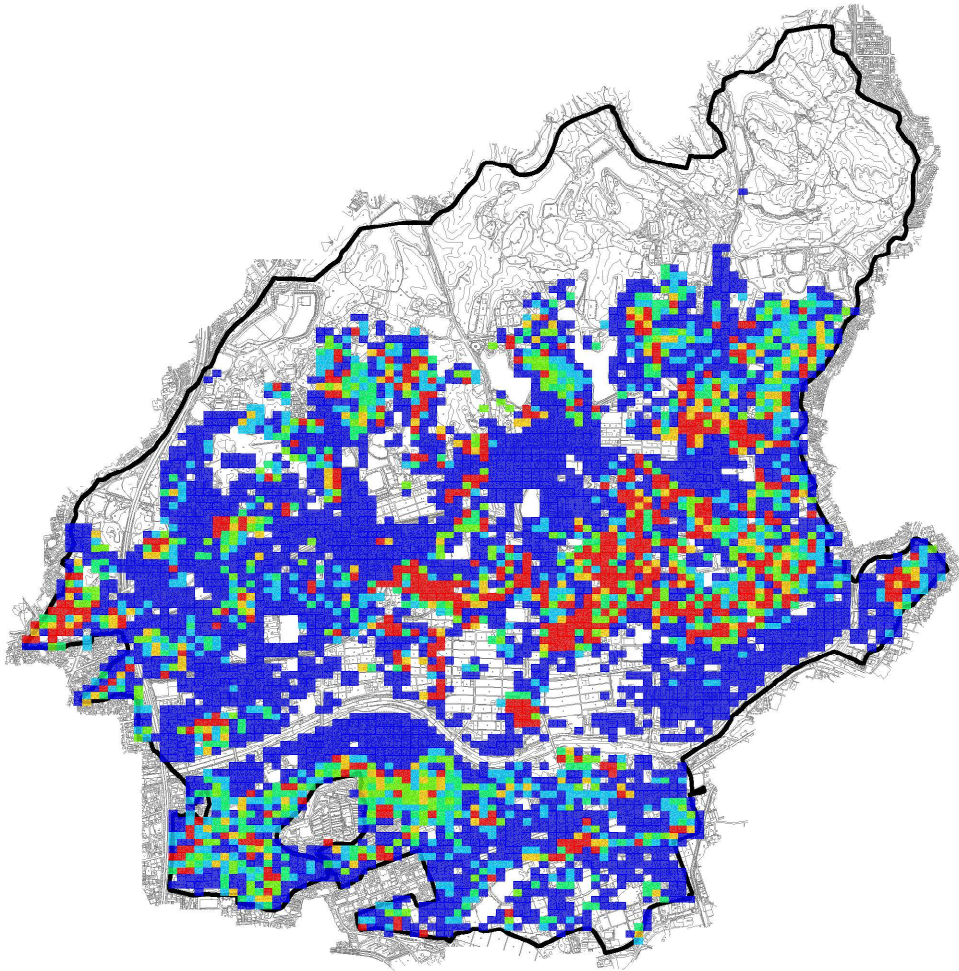
1:50000

# 【50mメッシュ】

## 半壊建物棟数（棟）

南海トラフ巨大地震（理論最大・東側）

- 0 ~ 0.1
- 0.1 ~ 0.2
- 0.2 ~ 0.3
- 0.3 ~ 0.4
- 0.4 ~ 0.5
- $\geq 0.5$



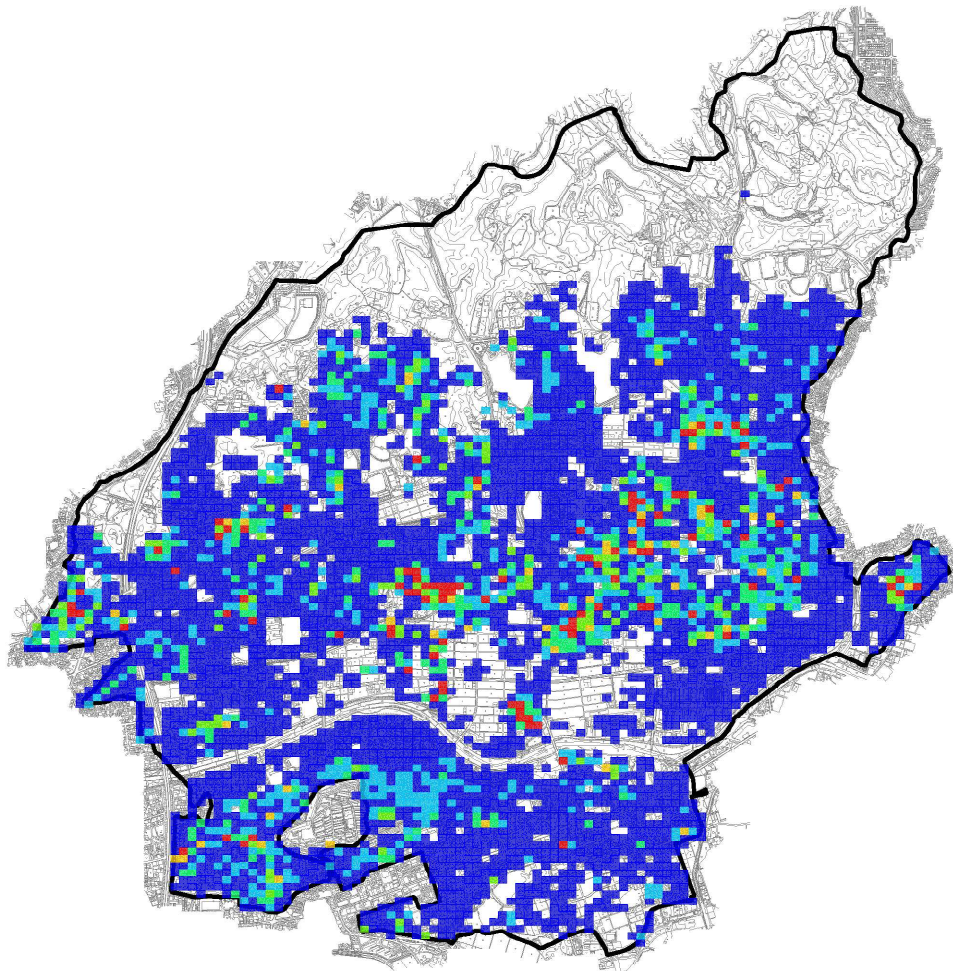
1:50000

# 【50mメッシュ】

## 半壊建物棟数（棟）

東海・東南海地震（2連動）

- 0 ~ 0.1
- 0.1 ~ 0.2
- 0.2 ~ 0.3
- 0.3 ~ 0.4
- 0.4 ~ 0.5
- $\geq 0.5$

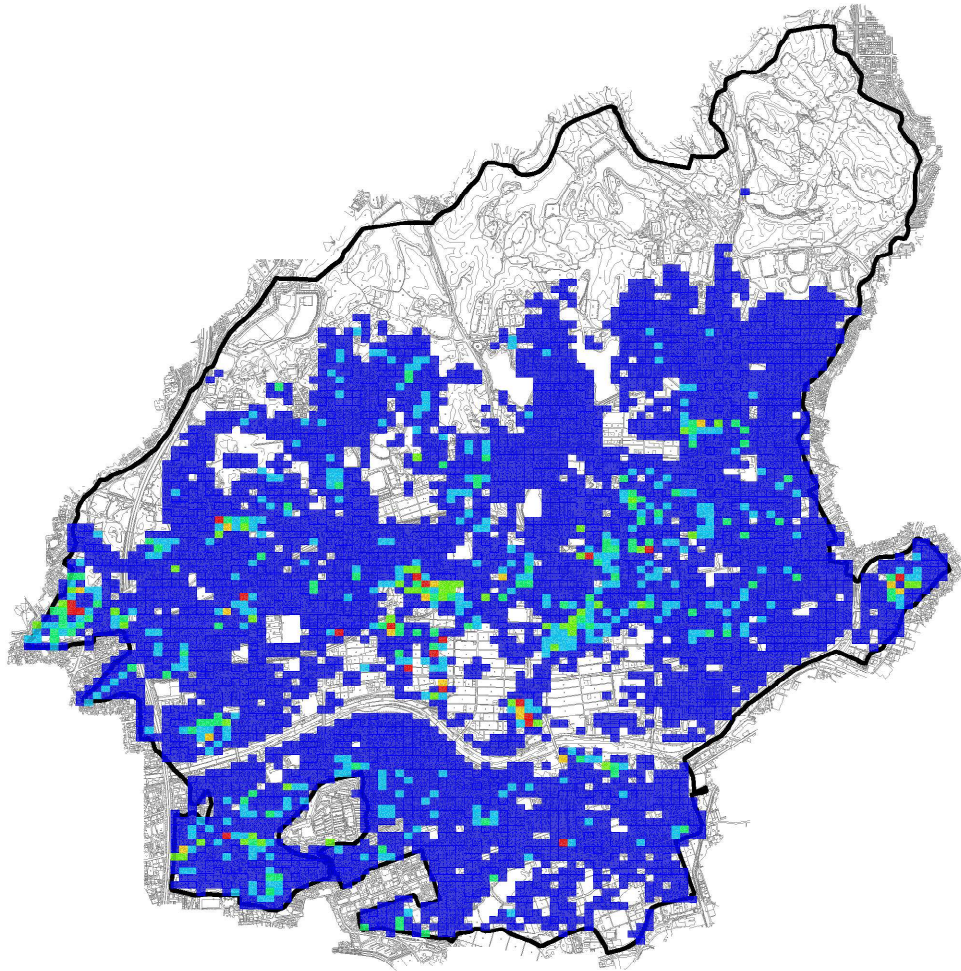
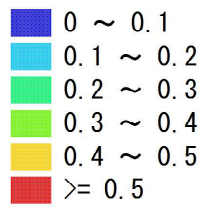


1:50000

## 【50mメッシュ】

### 半壊建物棟数（棟）

東海・東南海・南海地震（3連動）



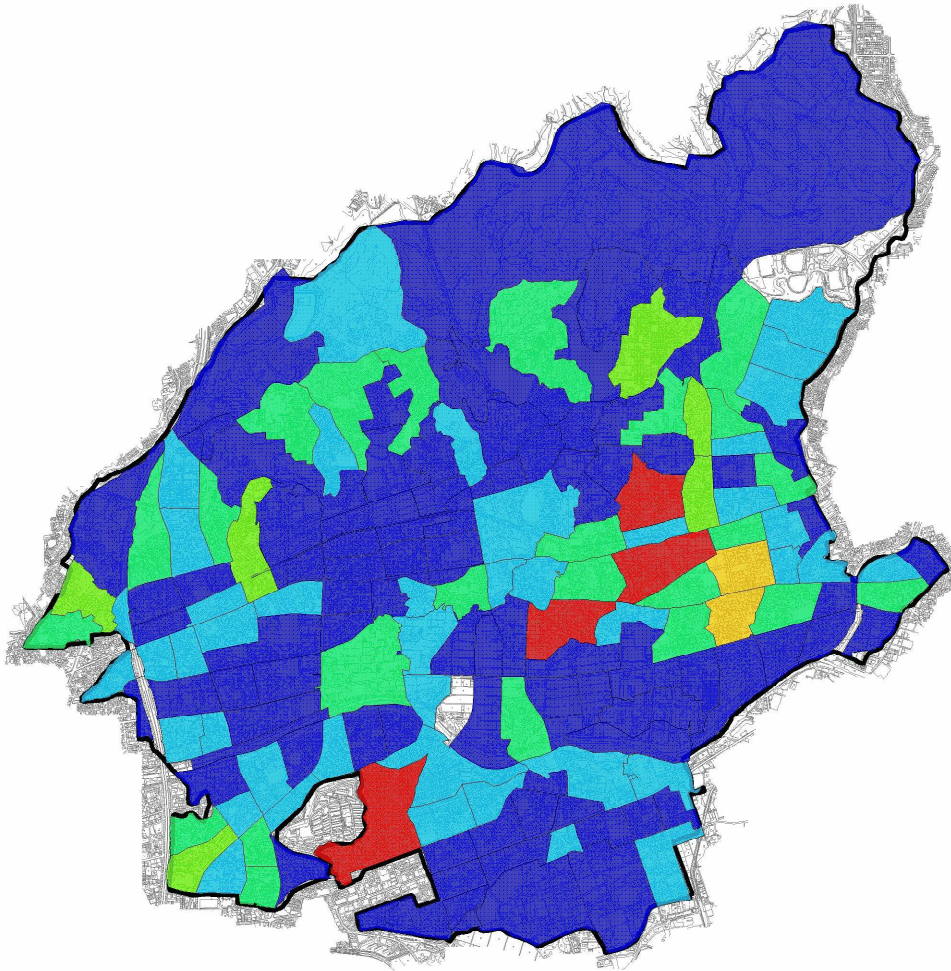
1:50000

【町丁目】

半壊建物棟数（棟）

南海トラフ巨大地震（過去最大）

- 0 ~ 5
- 5 ~ 10
- 10 ~ 15
- 15 ~ 20
- 20 ~ 25
- >= 25

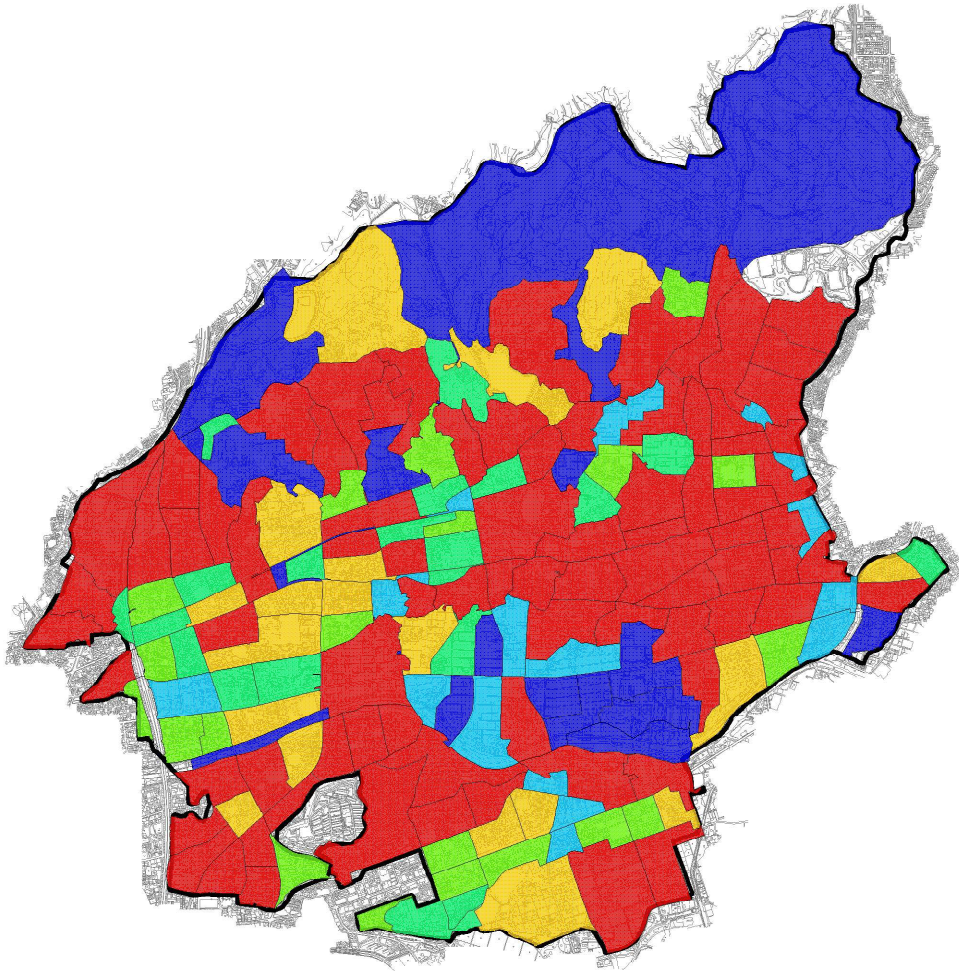
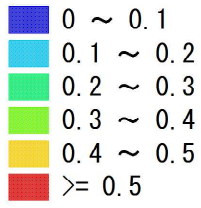


1:50000

【町丁目】

死者数（人）

猿投-高浜断層帯地震



1:50000