

4 強震動計算手法

1) 統計的グリーン関数法による計算手法

今回適用した統計的グリーン関数法は、Irikura(1986)による重ね合わせ手法に基づく経験的グリーン関数法を基本としている。経験的グリーン関数法ではグリーン関数として観測記録を用いることで、観測地点の深部地盤構造や浅部地盤構造は、既に記録に含まれていると考えている。統計的グリーン関数法は適切な観測記録が得られない場合に有効な手法である。今回採用した手法では、グリーン関数としては⁻²則に従う震源特性に従うスペクトルモデル[Boore(1983)]を考え、これに経験的な位相特性を与えたものを使用した。深部地盤構造は一次元成層構造として Haskell Matrix により地盤応答を考慮した。この波形をグリーン関数と考え、Irikura(1986)に従い波形合成を行い、大地震の地震動波形を求めた。以下に具体的な作業内容を示す。

- 1) 対象とする断層面を小断層に分割し、各小断層毎に、Boore(1983)の手法により⁻²則を満たす振幅スペクトルの形状を求める。このスペクトル形状は以下の通りである。

$$S_A(\omega) = \frac{R_{\phi\theta}}{4\pi\rho\beta^3} Mo \cdot \frac{\omega^2}{1+(\omega/\omega_c)^2} \cdot \frac{1}{1+(\omega/\omega_{\max})^2} \frac{e^{-\omega R/2Q\beta}}{R}$$

$$\text{ここで } \omega_c = 2\pi f_c, \quad f_c = 4.9 \times 10^6 \beta (\Delta\sigma/Mo)^{1/3}$$

$$\omega_{\max} = 2\pi f_{\max}, \quad f_{\max} \text{ は高周波遮断周波数}$$

なお、 Mo は地震モーメント、 ρ は密度、 β は媒質のS波地震波速度である。

- 2) (1) 式中の $R_{\phi\theta}$ はラディエーション係数であるが、これは、各小断層から計算地点への方位角、射出角により計算する。この時、Kamae and Irikura(1992)と同様に、周波数依存型の放射特性を導入する。

また、ここではS波のみを考えているため、SH波、SV波毎に振幅スペクトルを求める。

- 3) 小断層毎にすべり量が異なる場合は、それに応じて各小断層の Mo , β を設定する。
- 4) Q 値は震源から計算地点までの伝播を考慮して評価する。
- 5) 以上は、振幅スペクトルについてのみ考えてきたが、ここで、Boore(1983)に従って擬似乱数によるホワイトノイズに包絡形を施した波形のスペクトルをかけ合わせ、位相を与える。なお、この際、正規乱数時系列において、標準偏差の3倍を超える振幅をもつデータは除外した。
- 6) 上記手法で作成した計算地点での地震基盤におけるスペクトルに対して、工学的基盤までの地盤構造による増幅を考慮するため、SH波については斜め入射のSH波動場を、SV波については、P-SV波動場の応答計算を Haskell Matrix (線形) で行う。
- 7) 求められた工学的基盤での Transverse, Radial, UD の波形を NS, EW, UD に射影す

る。

- 8) 各小断層からの波形を Irikura(1986)および入倉他(1997)に従って、それぞれの成分毎に足しあわせる。これにより、工学的基盤での3成分波形を求める。なお、以上の作業は周波数領域で行う。
- 9) 位相は乱数時系列により与えられることから、用いる乱数時系列により最大加速度、最大速度、震度等、振幅が異なることがある。このため、30通りの乱数時系列で計算し、それらの結果の平均値を採用した。

図4.1.1に統計的グリーン関数法による工学的基盤波作成の流れを示す。

<参考文献>

- Irikura, K., 1986, Prediction of strong acceleration motions using empirical Green's function, Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp., 151-156.
- Boore, D.M., 1983, Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, Bull. Seism. Soc. Amer., 73, 1865-1894.
- Haskell., N. A., 1964, Radiation pattern of surface waves from point sources in a multi-layered medium, Bull. Seism. Soc. Amer., 54, 377-393.
- Kamae and Irikura, 1992, Prediction of site-specific strong ground motion using semi-empirical methods, Proc. 10th WCEE, Vol.2, 801-806.
- 入倉他, 1997, 経験的グリーン関数を用いた強震動予測方法の改良, 日本地震学会講演予稿集, No.2, B25.

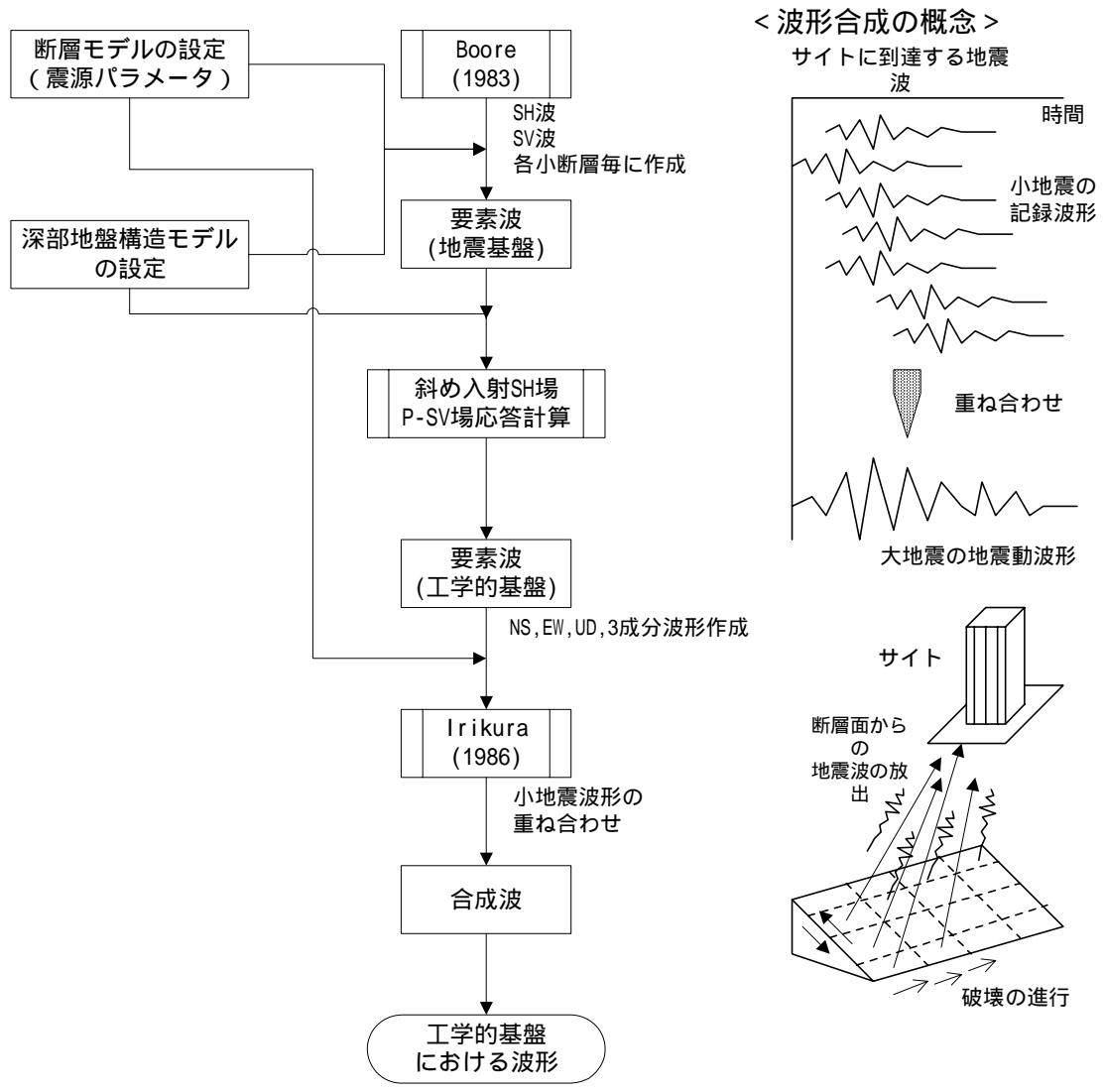


図 4.1.1 統計的グリーン関数法を用いた工学的基盤波の作成

2) 経験的手法を用いた計算

予防対策用の地震動推計には、距離減衰式による経験的手法を用いた。また、応急対策用の地震動推計には統計的グリーン関数法を用いた波形計算を行うこととしているが、その際、推計結果の平均的な震度分布が経験的手法による平均的な震度分布と等しくなるようにパラメータを調整した。

距離減衰式には、司・翠川(1999)¹を採用した。

$$\log \text{PGV} = 0.58M_w + 0.0038D - 1.29 - \log(X + 0.0028 \cdot 10^{0.5M_w}) - kX$$

PGV:最大速度(cm/s)

M_w:モーメントマグニチュード

D:震源深さ(km)

X:断層最短距離(km)

ここで、上の式の最終項の係数 k について、司・翠川(1999)では 0.002 を採用している。ここでは、中央防災会議(2001)²同様に k=0.0027 とした。

¹司宏俊・翠川三郎，1999，断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文集，523，63-70．

²中央防災会議，2001，第11回東海地震に関する専門調査会，資料3-1
(<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/tokai/11/index.html>)

距離減衰の適用性の検討として、鳥取県西部地震、宮城県北部地震、福岡県西方沖地震、中越地震の観測記録による最大速度の距離減衰と、司・翠川(1999)による距離減衰曲線とを比較し、観測結果が距離減衰式で説明されることを確認した。

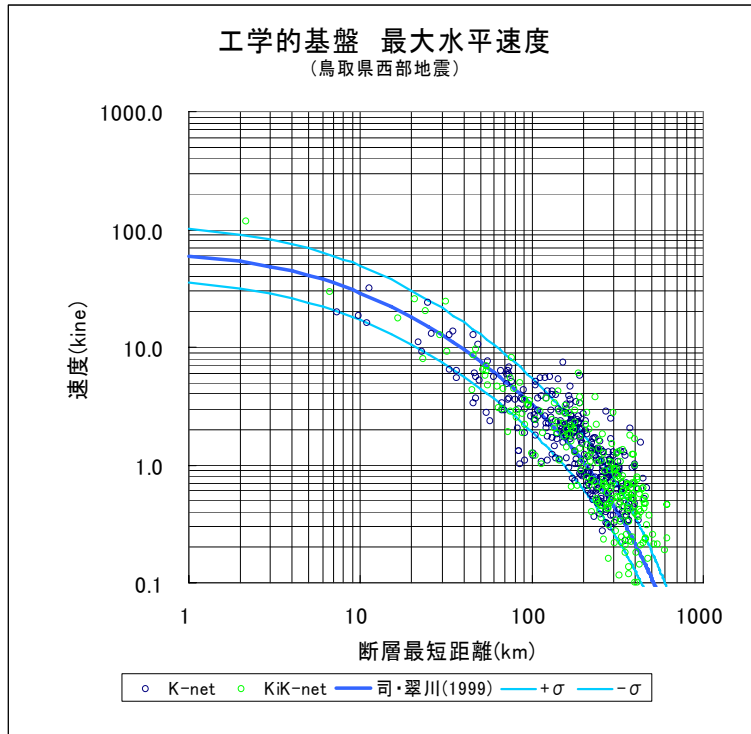


図 4.2.1 鳥取県西部地震における最大速度 (PGV) の距離減衰

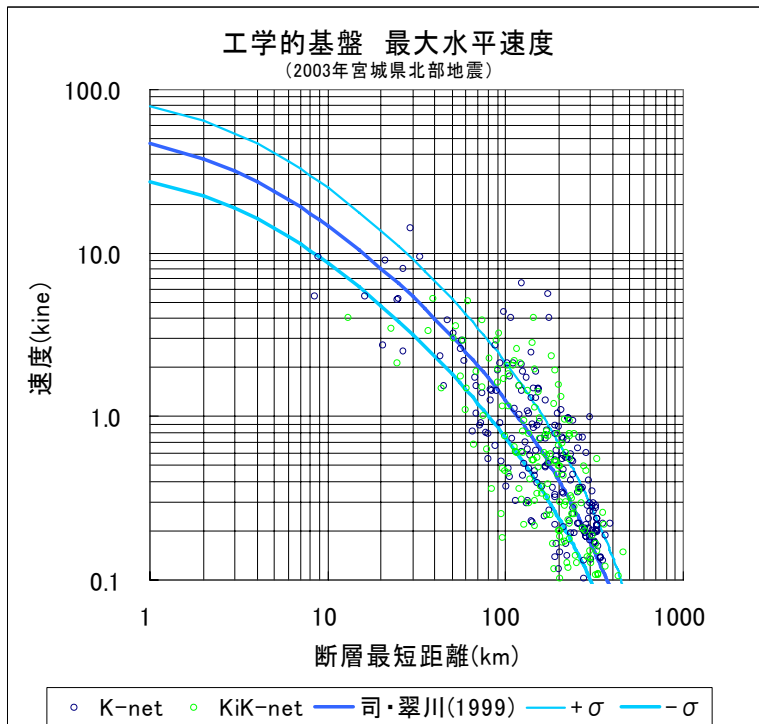


図 4.2.2 2003 年宮城県北部地震における最大速度 (PGV) の距離減衰

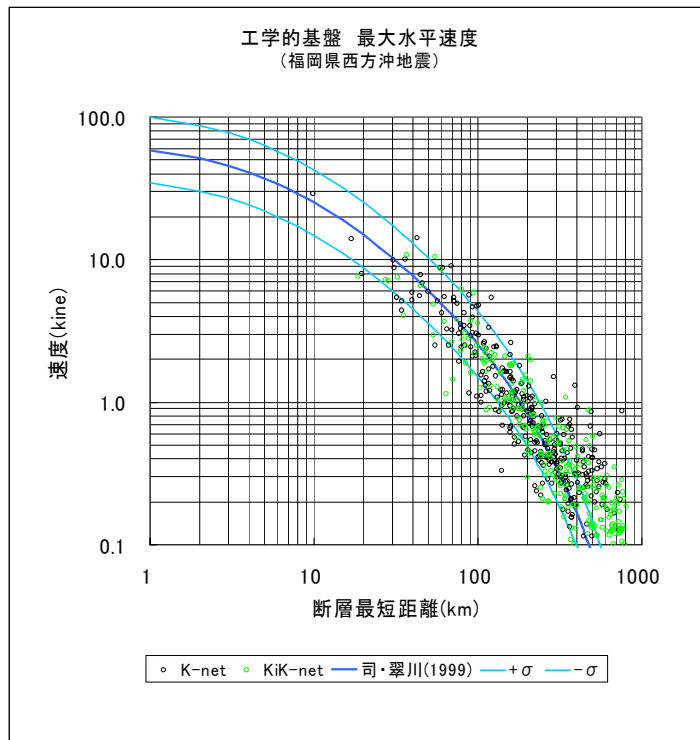


図 4.2.3 福岡県西方沖地震の最大速度 (PGV) の距離減衰

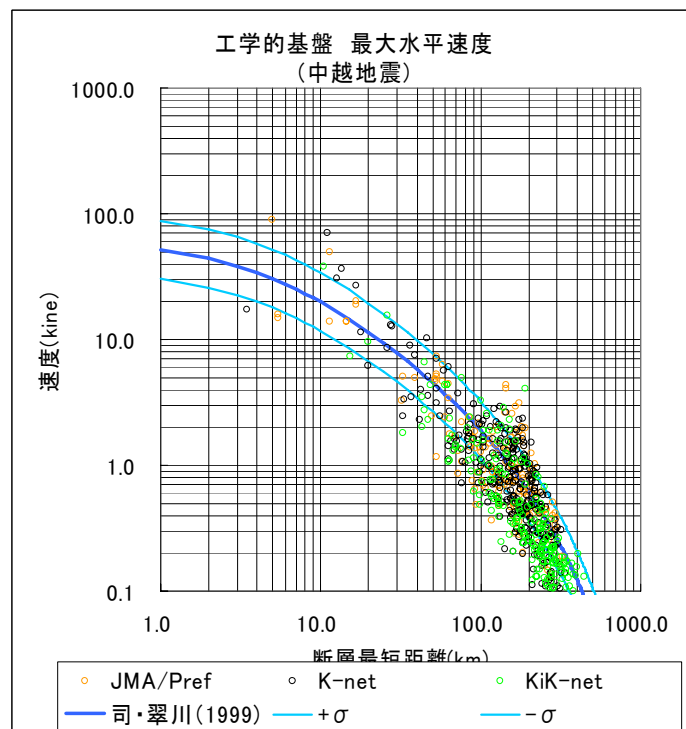


図 4.2.4 中越地震の最大速度 (PGV) の距離減衰

3) 震源近傍の強震動についての検討

統計的グリーン関数法は遠方近似に基づいているので、幾何学的減衰は震源距離 R の逆数 $1/R$ で表現されるが、震源との距離が近い場合は地震波動の振幅が過大評価される。このため、「東海地震に関する専門調査会」と同様に、幾何学的減衰として $1/(R+C)$ を導入した。この関数形は最大速度あるいは最大加速度に関する近年の距離減衰式と整合する。 C の値は、波形計算による震度と経験的手法による震度について比較し、各断層帯において、それらの差が最も小さくなるような値を決定した ($C=3 \sim 10\text{km}$)。

統計的グリーン関数法あるいは経験的グリーン関数法に代表される短周期強震動の予測手法においては、地震動の遠方近似に基づいた定式化が用いられている。遠方近似の特徴は、震源からの距離の - 1 乗に比例する幾何減衰と断層すべり速度に比例する変位振幅である。

$$u(r_0, t) \propto dS r^{-1} \partial D(t-r/V_S) / \partial t / V_S^3, \quad (1)$$

一方、過去の地震の観測から、震源断層から充分遠い観測点での振幅は、遠方近似による幾何減衰で説明されるが、震源断層に近い観測点での振幅は、遠方近似による幾何減衰とは整合しないことが明らかにされている。

東海地震、および東南海・南海地震の震源は一部陸域に及んでおり、沿岸地域では震源に近いところもある。また、内陸の活断層による地震を検討する場合には、震源断層にきわめて近い地域での強震動を取り扱うことになる。

従来の遠方近似が成立しない震源断層の近傍での強震動を正しく予測するために、断層近傍での地震動の性質を理論的に考察し、強震動予測における幾何減衰を改良した。

断層近傍の地震動の一般的な議論は複雑になるので、ここでは、図 2-1 に示されるような特別な場合を考える。震源は半径 a の円形とし、断層のある面内に x_1 軸、 x_2 軸をとり、断層に垂直に x_3 軸をとる。観測点は震源の円の中心の直上、 x_3 軸上にあるとする。

断層すべりによる地震動は以下のとおり表される。

$$\begin{aligned} & u(r_0, t) / (V_S^2 / 4\pi) \\ &= dS r^{-4} 6(5\gamma_1^2 - 1)\gamma_3 \tau D(t-\tau) d\tau \\ &+ dS r^{-2} 2(6\gamma_1^2 - 1)\gamma_3 D(t-r/V_P) / V_P^2 \\ &- dS r^{-2} 3(4\gamma_1^2 - 1)\gamma_3 D(t-r/V_S) / V_S^2 \\ &+ dS r^{-1} 2\gamma_1^2 \gamma_3 \partial D(t-r/V_P) / \partial t / V_P^3 \\ &- dS r^{-1} (2\gamma_1^2 - 1) \gamma_3 \partial D(t-r/V_S) / \partial t / V_S^3, \quad (2) \end{aligned}$$

ここで、 u は観測点での変位、 D は断層でのすべり変位、 t は時間、 V_S はS波速度、 V_P はP波速度、 r は断層面上の点から観測点までの距離で、

$$r^2 = r_0^2 + \rho^2, \quad (3)$$

ρ は原点から断層面上の点までの距離である。 dS は断層面での面積分、 dt は積分範囲 $\tau = t/V_P \sim t/V_S$ での時間積分である。 γ_1 は断層面上の点から観測点へ向かうベクトルの方向余弦である。

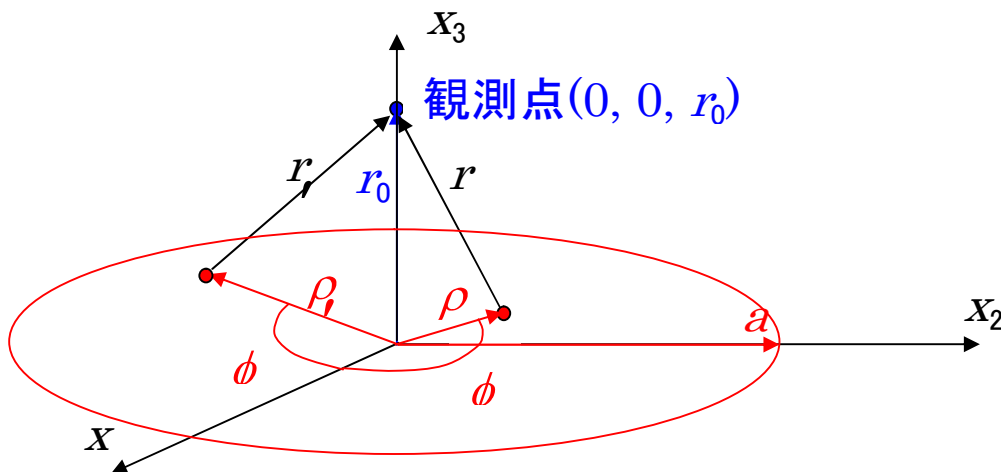


図 4.3.1 断層面と観測点位

式(2)の両辺をフーリエ変換して面積分を実行すると、

$$\begin{aligned} \Omega(r_0, \omega) / \Delta(\omega) V_S^2 &= (-3/2 a^2 r_0 R^{-5}) \\ &\quad [\exp(-i\omega R/V_P) \{1/(i\omega)^2 + R/(i\omega V_P)\} \\ &\quad - \exp(-i\omega R/V_S) \{1/(i\omega)^2 + R/(i\omega V_S)\}] \\ &= (1/2 a^2 r_0 R^{-3}) \\ &\quad [\exp(-i\omega R/V_P) / V_P^2 - \exp(-i\omega R/V_S) / V_S^2] \\ &\quad + r_0/2 \{ \exp(-i\omega r_0/V_S) / r_0 - \exp(-i\omega R/V_S) / R \} / V_S^2, \quad (4) \end{aligned}$$

ここで、

$$R = (r_0^2 + a^2), \quad (5)$$

である。式(4)を逆フーリエ変換して時間領域に戻すと、観測点での変位時間関数が得られ、

$$\begin{aligned} u_1(r_0, t) / V_S^2 &= -3/2 a^2 r_0 R^{-5} \int_{R/V_P}^{R/V_S} \tau D(t-\tau) d\tau \\ &\quad - 1/2 a^2 r_0 R^{-3} [D(t-R/V_P) / V_P^2 - D(t-R/V_S) / V_S^2] \\ &\quad + 1/2 r_0 [D(t-r_0/V_S) / r_0 - D(t-R/V_S) / R] / V_S^2, \end{aligned} \quad (6)$$

ここで、 $d\tau$ は積分範囲 $\tau = R/V_P \sim R/V_S$ での時間積分である。

式(4)は周波数領域での解、式(6)は時間領域での解である。観測点が断層面にきわめて近い距離にある場合、式(6)で $r_0 = 0$ として、

$$u_1(r_0, t) = D(t-r_0/V_S)/2, \quad (7)$$

が得られる。式(7)は、遠方近似とは異なり、観測点距離がどのように小さくとも観測点での振幅は有限で、観測点が断層面上にある場合は断層すべり変位に等しいことを示している。観測点距離が充分遠い場合、 r_0 とすると、

$$u_1(r_0, t) = (a^2/4V_S) r_0^{-1} \partial D(t-r_0/V_S) / \partial t, \quad (8)$$

となる。これは遠方近似そのものである。

式(4)は観測点でのスペクトルを震源からの距離と周波数の関数として表現したものである。式(4)で周波数を固定し距離の関数として各周波数ごとに距離減衰を描くと図 2-2 となる。遠方近似とは異なり、震源距離が小さくなると、振幅は発散せず有限の値に収束する。

式(5)より断層すべり関数を仮定して観測波形の最大振幅の距離減衰を描くと図 2-3 となる。震源距離が小さい場合は、理論解は遠方近似と大きく異なり、断層近傍でも発散せず有限値に収束する様子が示されている。

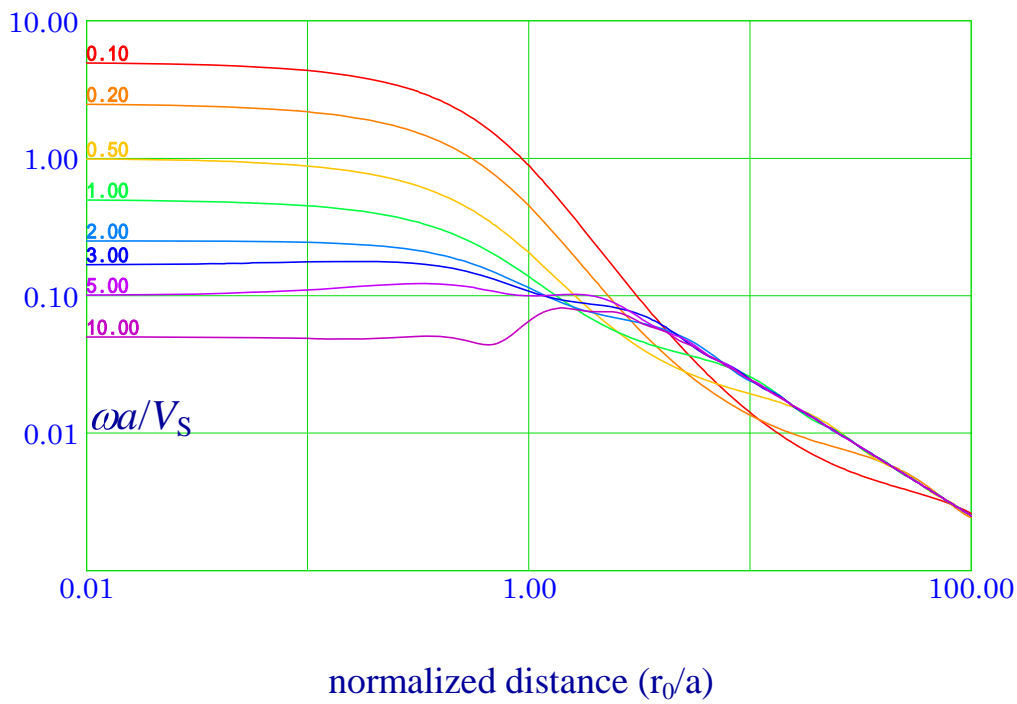


図 4.3.2 周波数ごとの距離減衰
周波数により距離減衰の様子が異なる。

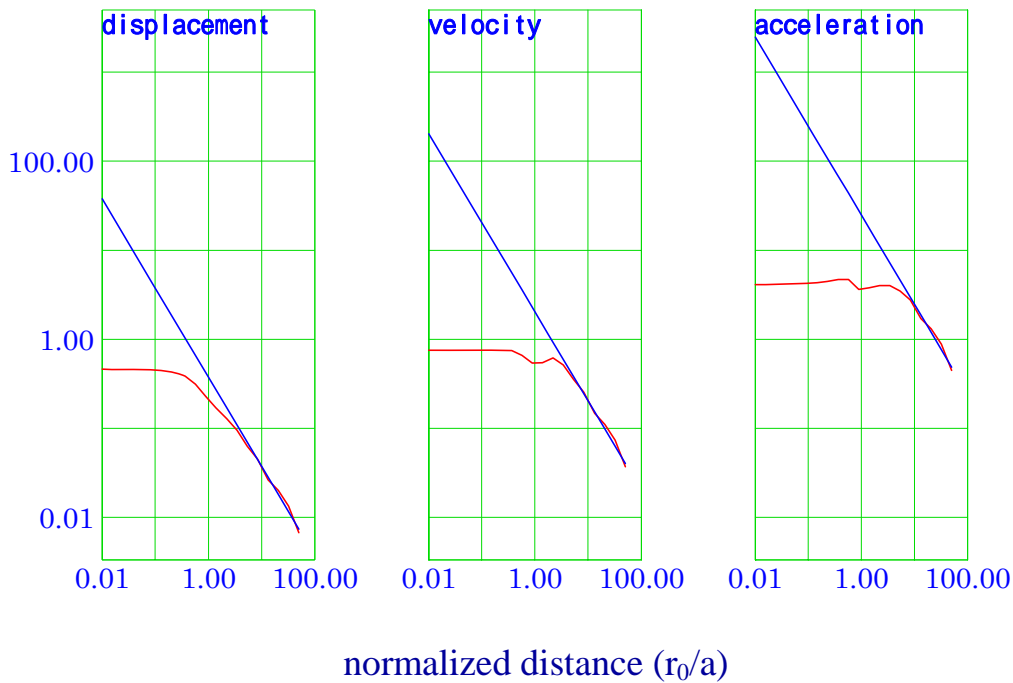


図 4.3.3 観測波形時系列の最大振幅の距離減衰
赤線は理論解、青線は遠方近似である。
幾何減衰は $1/(R+C)$ で近似される。

4) 地表における震度の計算について

地表における震度については、工学的基盤における震度から地表の増幅率（震度増分）を加味し推計する。この震度増分は、中央防災会議「東海地震に関する専門調査会」で用いた、非線形効果を加味した次式（横田・他，2005）³により求めた。

$$I = 2.89 - 1.02 \cdot \text{Log}(AVS)$$

ここで、 ΔI ; 工学的基盤～地表の震度増分
 AVS ; 表層 30mの平均S波速度の推定値

³ 横田崇・稲垣賢亮・増田徹，2005，数値実験による地盤特性と増幅率の関係，日本地震学会講演予稿集（2005年度秋季大会），B064，86．

想定東海地震を対象とした地震応答計算による震度増分の計算

想定東海地震 S1 モデルについて、統計的グリーン関数法により各メッシュの工学的基盤上の波形を求め、これらを入射波形として地震応答計算を行った。地震応答計算のコードとしては、SHAKE を用いた。

計算波形による地表の震度と工学的基盤の震度の差を求めこれを震度増分とし、地盤モデルの表層 30m の平均 S 波速度（AVS30）との関係（実験式）を工学的基盤の震度 0.5 ごとに区分して整理を行った。さらに、AVS30 と震度増分との関係を 式のように表現し、最小二乗法を用いて工学的基盤の震度の大きさの区分ごとの係数を求めた（表 4.4.1，図 4.4.1 参照）。

$$\Delta I = a - b \cdot \text{Log}AVS$$

ここで、 ΔI ; 工学的基盤～地表の震度増分
 AVS ; 表層 30mの平均S波速度の推定値
 a, b ; 係数(工学的基盤の各震度区分ごと)

これらの係数のうち、地表の震度を求めるために加算する震度増分の式は、非線形性の効果等を考慮し、工学的基盤の震度が 4.5～4.9 のケースのもの（ $a=2.89, b=1.02$ ）を採用した。

表 4.4.1 AVS30 ~ 震度増分の関係式の係数一覧表

基盤震度	a	b	基盤震度	a	b
3.0~3.9	2.94	1.03	5.0~5.5	2.72	0.95
4.0~4.4	2.92	1.03	5.5~5.9	2.49	0.88
4.5~4.9	2.89	1.02	6.0~6.4	2.43	0.86

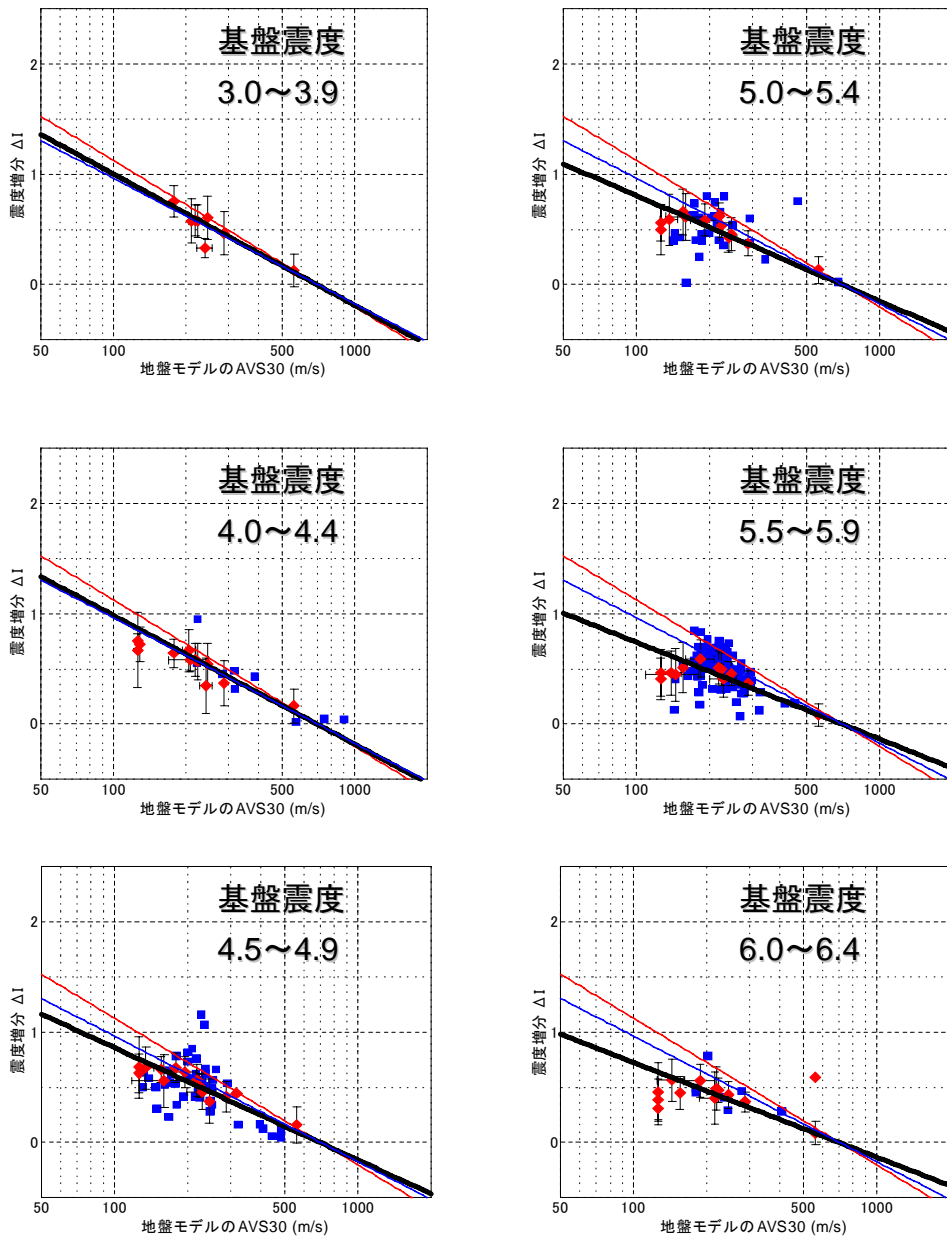
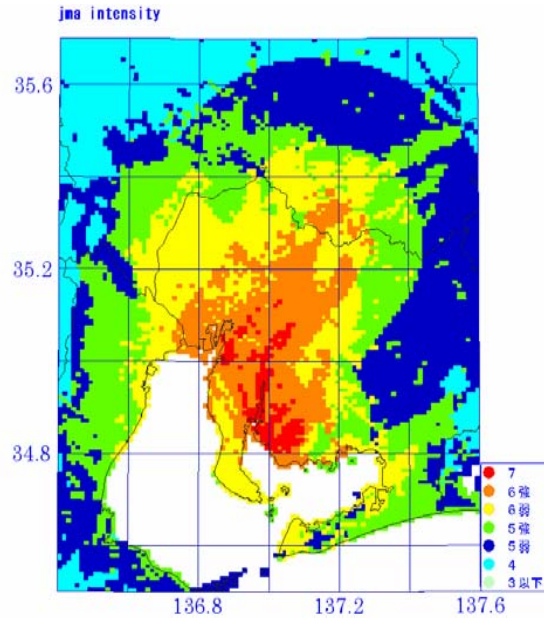
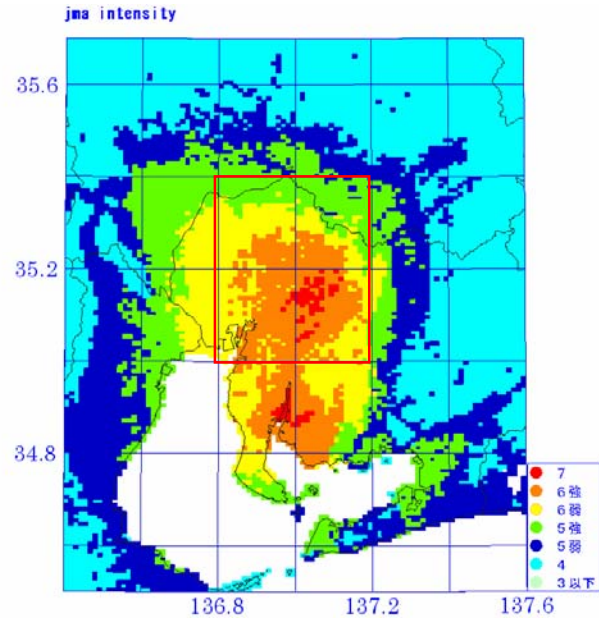


図 4.4.1 AVS30 と震度増分との関係

猿投 - 高浜断層帯の地震



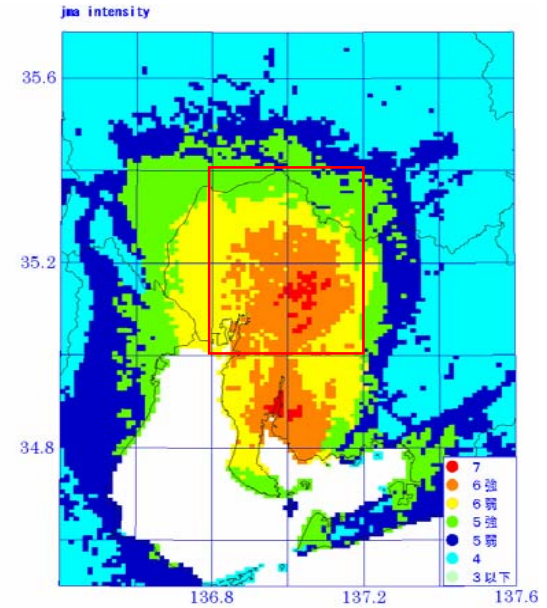
経験式的手法による震度分布



波形計算による震度分布

(C=4, 15 シード)

赤枠はヒストグラムを計算した範囲



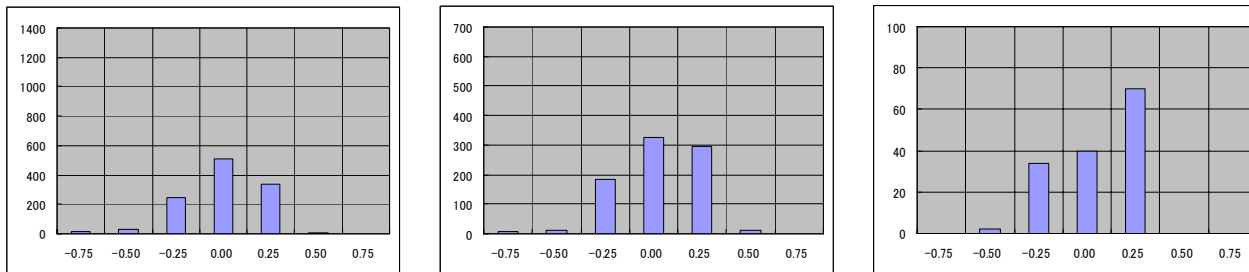
波形計算による震度分布

(C=4, 30 シード)

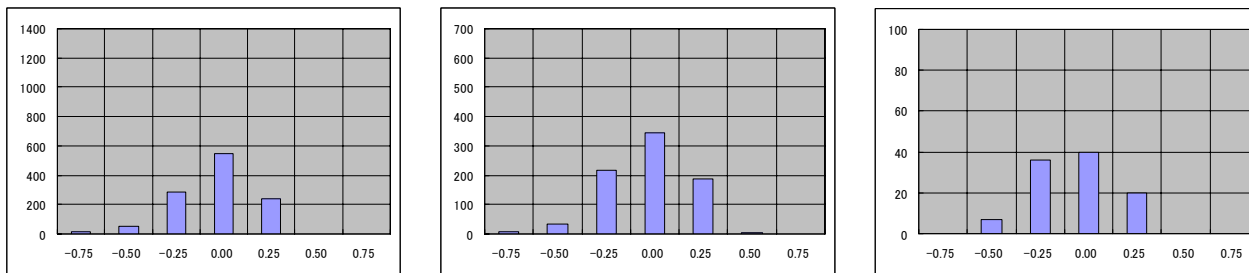
図 4.4.2 猿投 - 高浜断層帯の地震 (M7.6) の震度分布

15 シードの計算

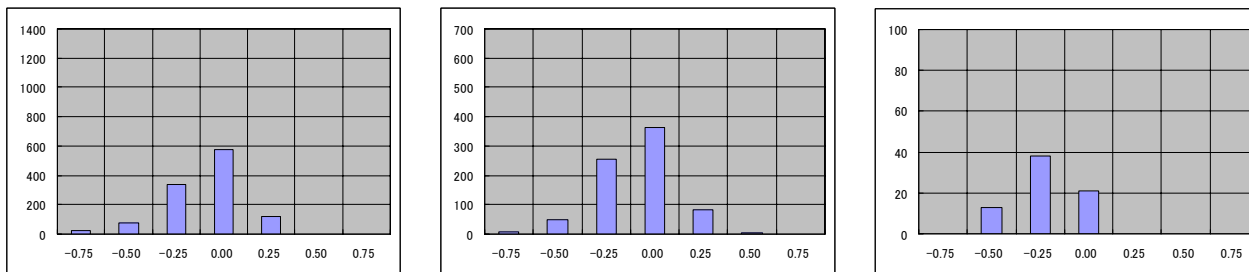
C=3



C=4



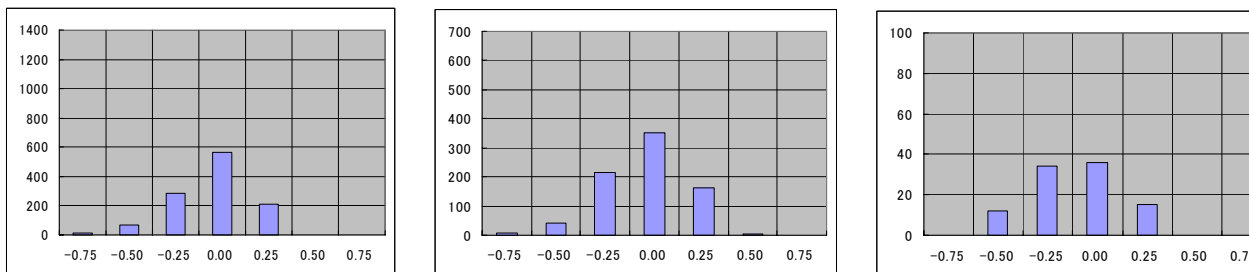
C=5



横軸は
 (波形計算による震度)
 - (経験式による震度)
 縦軸はメッシュ数

30 シードの計算

C=4



震度 6 弱以上

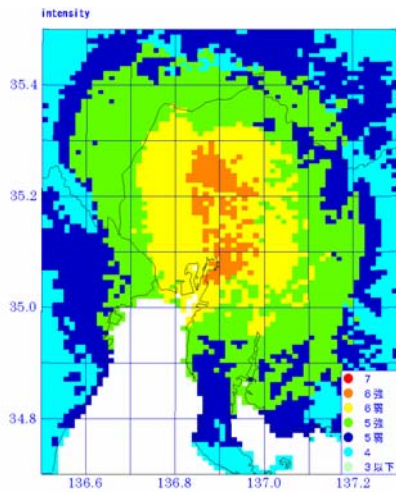
震度 6 強以上

震度 7

図 4.4.3 猿投 - 高浜断層帯の地震における震度差のヒストグラム

名古屋市直下及び阪神地域直下に想定した地震

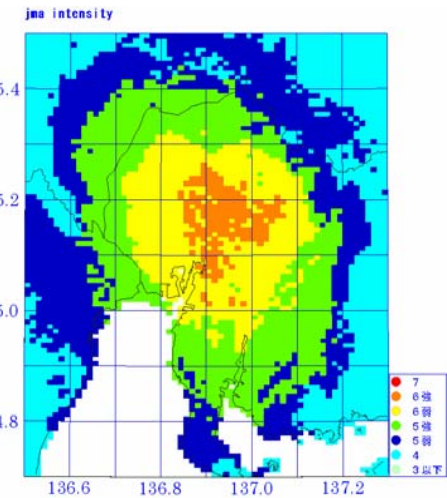
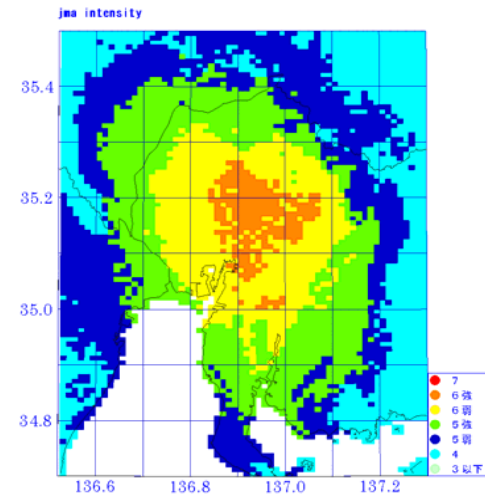
名古屋市直下



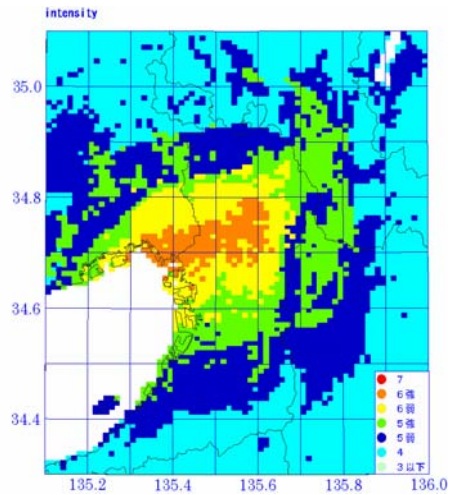
経験的手法による震度分布

波形計算による震度分布 (C=5, 15 シード)

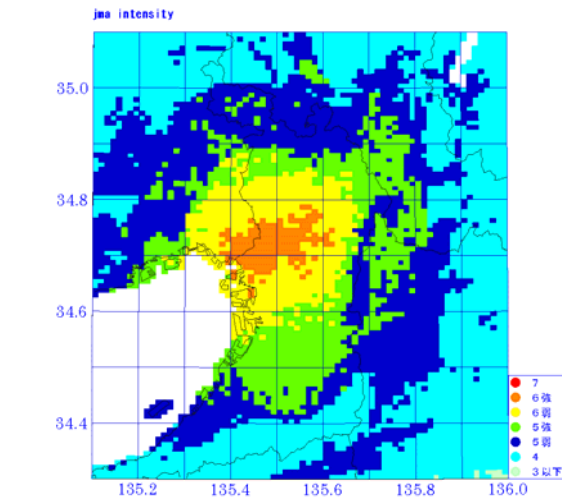
波形計算による震度分布 (C=5, 30 シード)



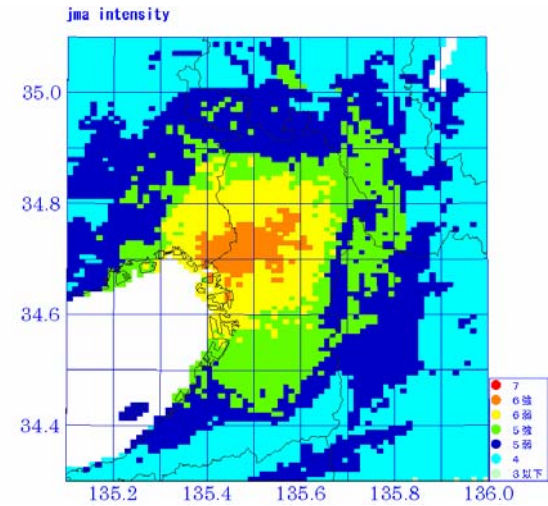
阪神地域直下



経験的手法による震度分布



波形計算による震度分布 (C=5, 15 シード)



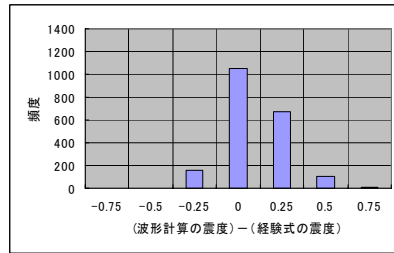
波形計算による震度分布 (C=5, 30 シード)

図 4.4.4 名古屋市直下及び阪神地域直下 M6.9 の地震の震度分布

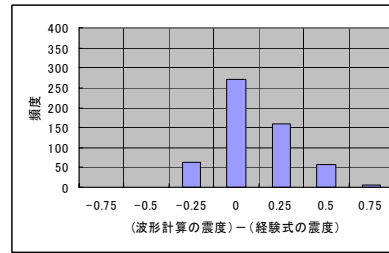
15 シードの計算

C=4

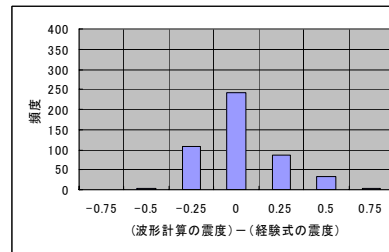
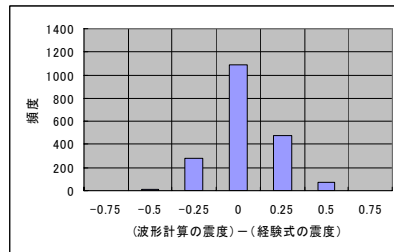
震度 6 弱以上



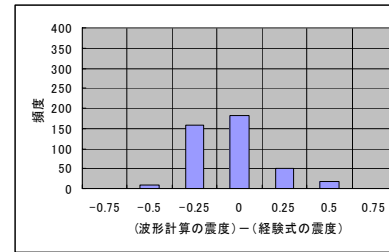
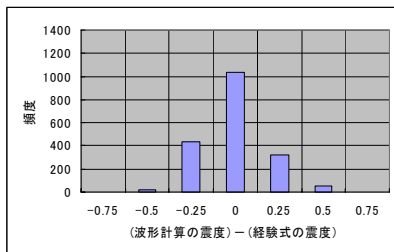
震度 6 強以上



C=5



C=6



横軸は

(波形計算による震度)

- (経験式による震度)

縦軸はメッシュ数

30 シードの計算

C=5

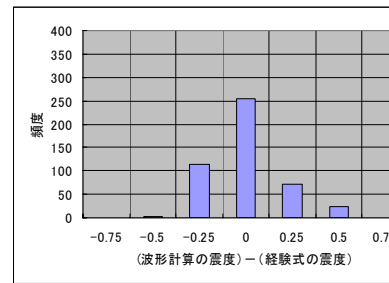
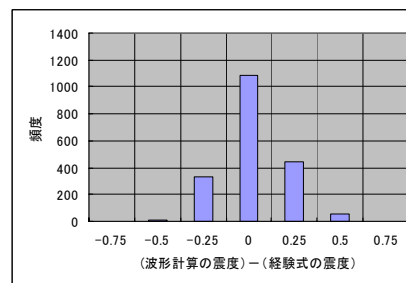
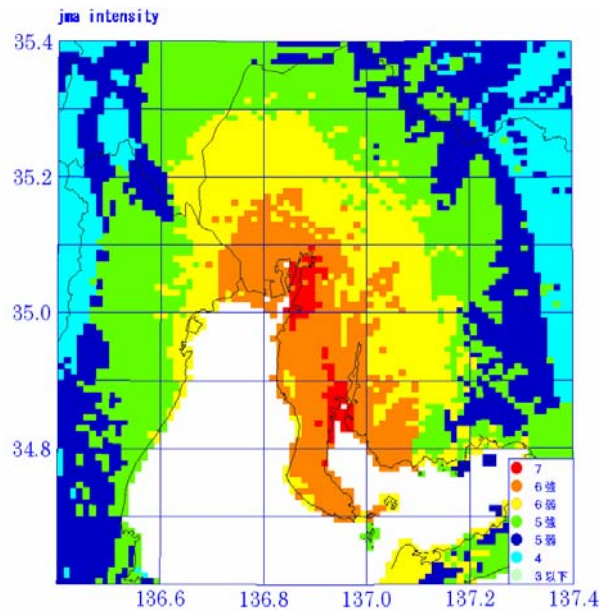


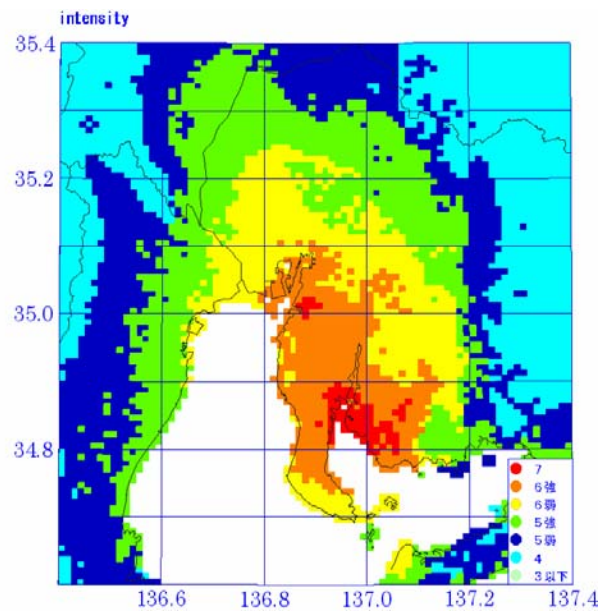
図 4.4.5 名古屋市直下に想定した地震と阪神直下に想定した地震における震度差のヒストグラム

ヒストグラムは、名古屋市直下地震と阪神直下地震のメッシュの合計

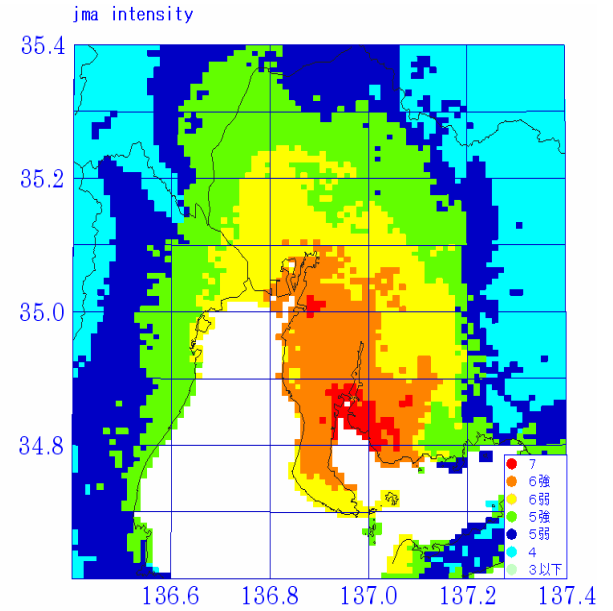
加木屋断層帯の地震



経験式的手法による震度分布



波形計算による震度分布
(C=3, 15 シード)

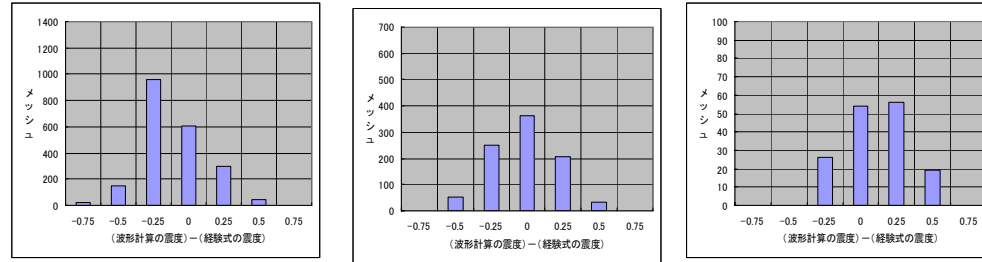


波形計算による震度分布
(C=3, 30 シード)

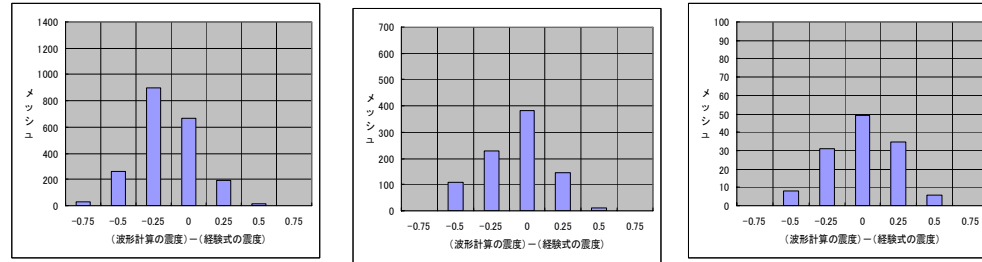
図 4.4.6 加木屋断層帯の地震 (M7.4) の震度分布

15 シードの計算

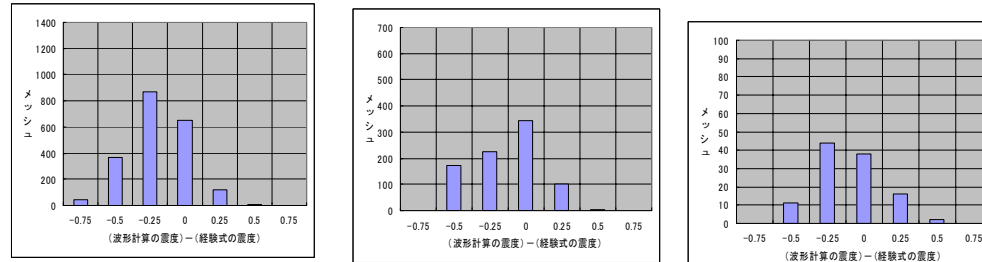
C=2



C=3



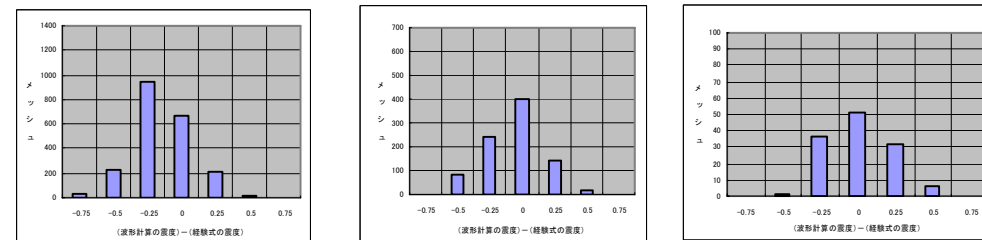
C=4



横軸は
 (波形計算による震度)
 -
 (経験式による震度)
 縦軸はメッシュ数

30 シードの計算

C=3



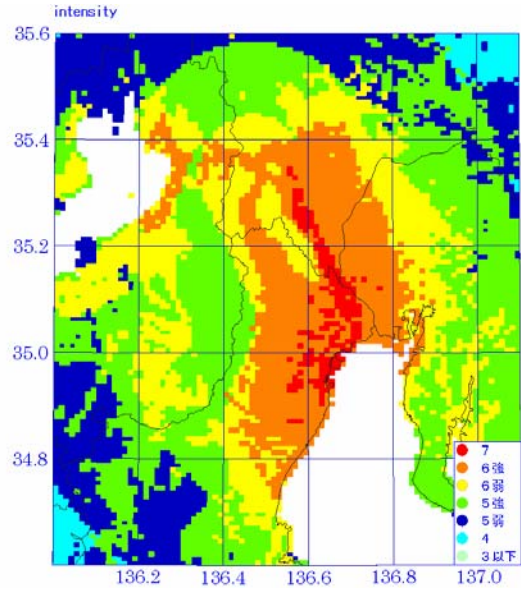
震度 6 弱以上

震度 6 強以上

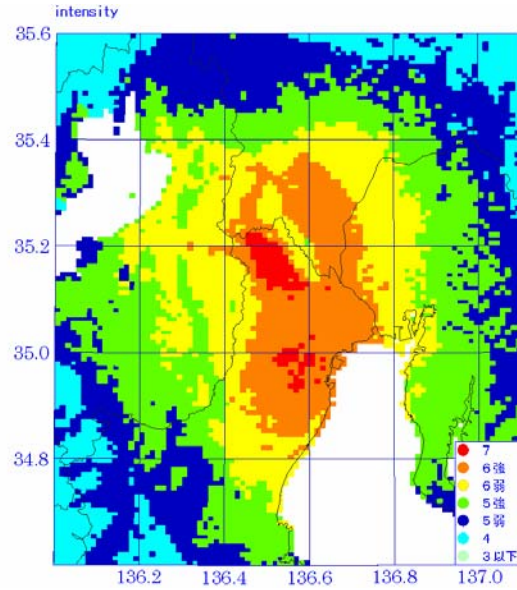
震度 7

図 4.4.7 加木屋断層帯の地震における震度差のヒストグラム

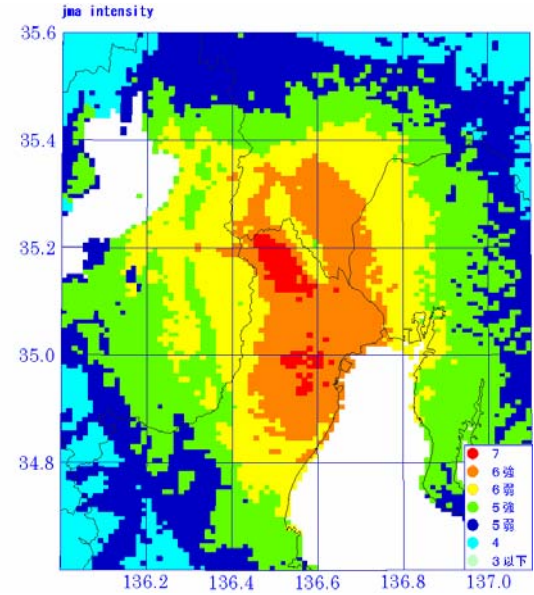
養老 - 桑名 - 四日市断層帯の地震



経験式的手法による震度分布



波形計算による震度分布
(C=3, 15 シード)

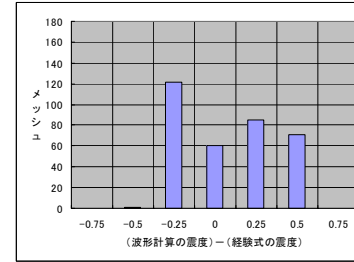
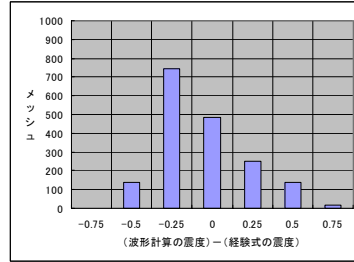
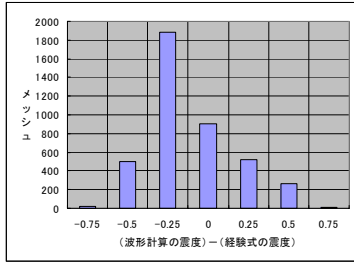


波形計算による震度分布
(C=3, 30 シード)

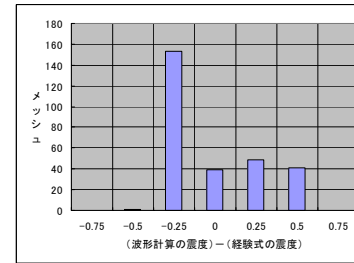
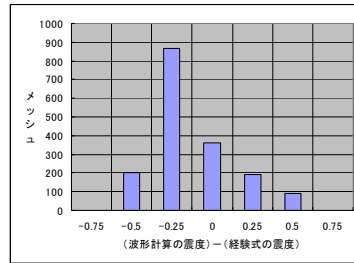
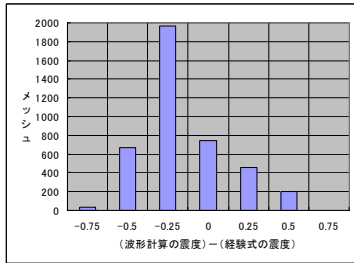
図 4.4.8 養老 - 桑名 - 四日市断層帯の地震 (M7.7) の震度分布

15 シードの計算

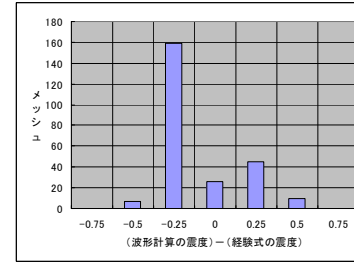
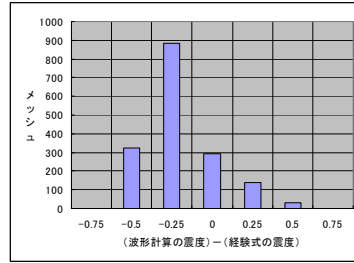
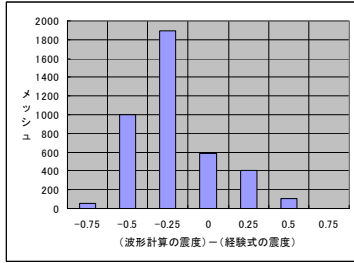
C=2



C=3



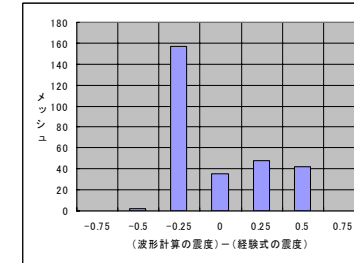
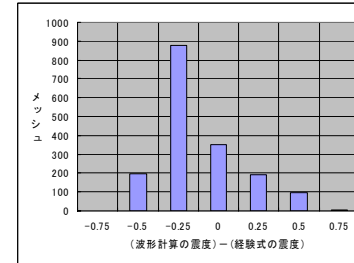
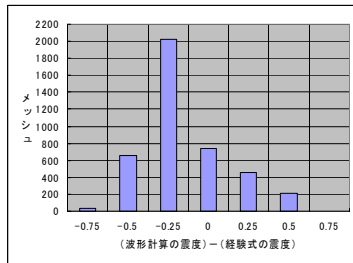
C=4



横軸は
 (波形計算による震度)
 - (経験式による震度)
 縦軸はメッシュ数

30 シードの計算

C=3



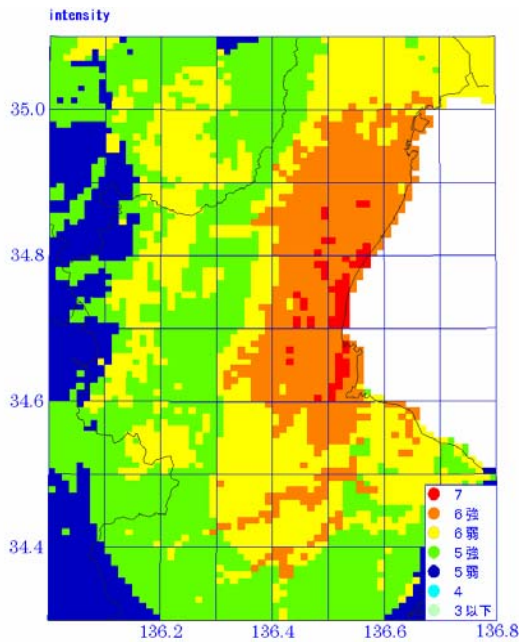
震度 6 弱以上

震度 6 強以上

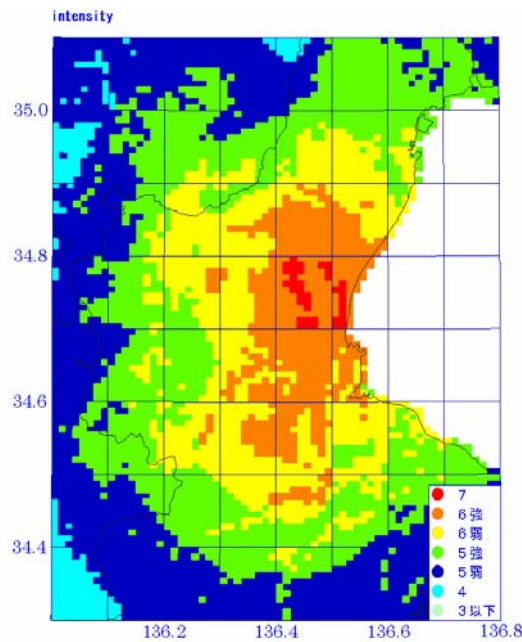
震度 7

図 4.4.9 養老 - 桑名 - 四日市断層帯の地震における震度差のヒストグラム

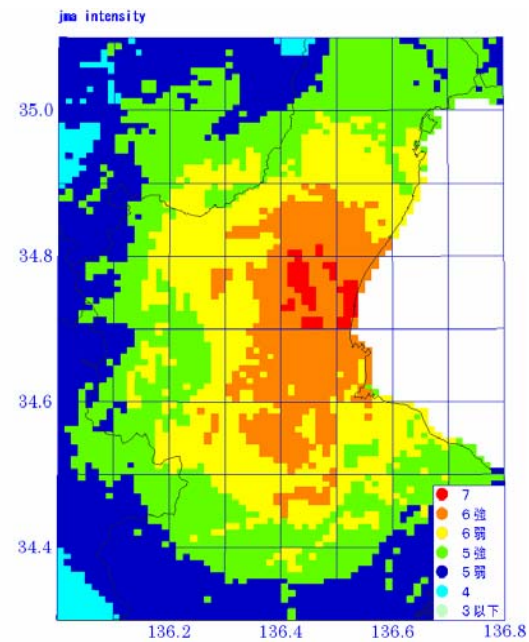
布引山地東縁断層帯東部の地震



経験式的手法による震度分布



波形計算による震度分布
(C=3, 15 シード)

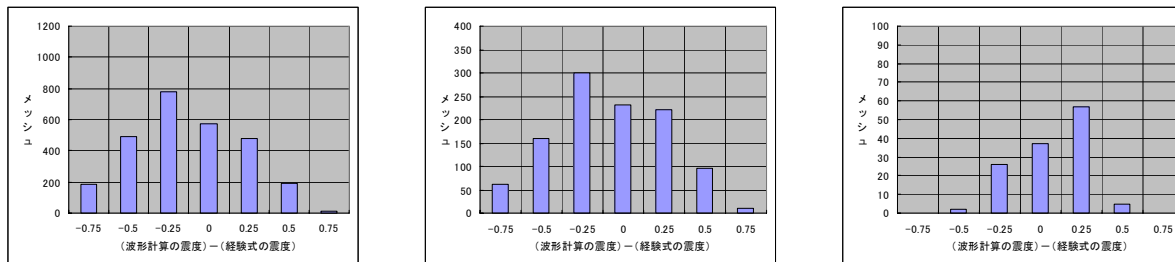


波形計算による震度分布
(C=3, 30 シード)

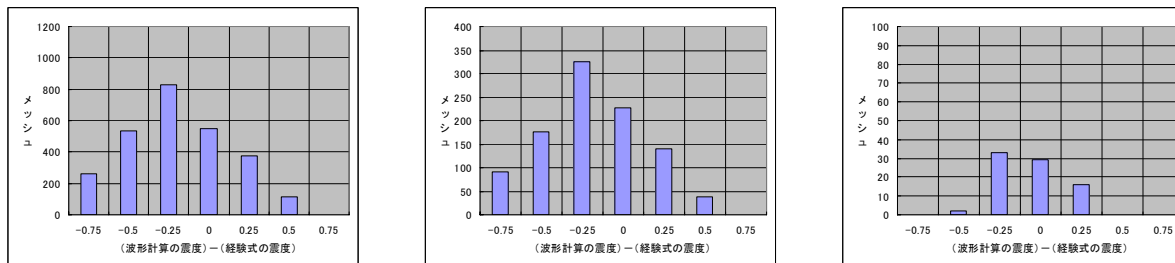
図 4.4.10 布引山地東縁断層帯東部の地震 (M7.6) の震度分布

15 シードの計算

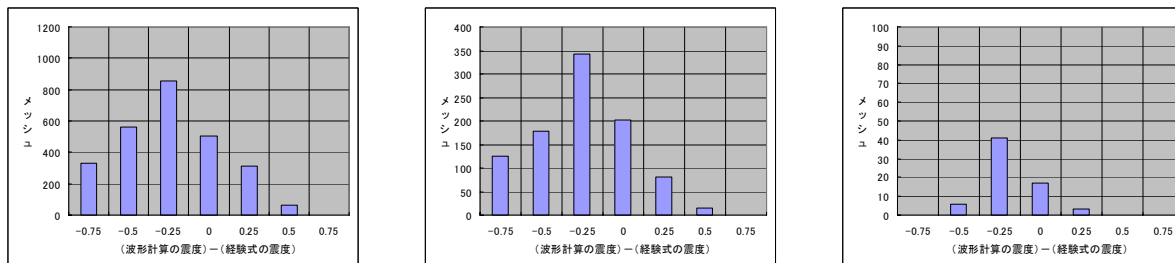
C=2



C=3



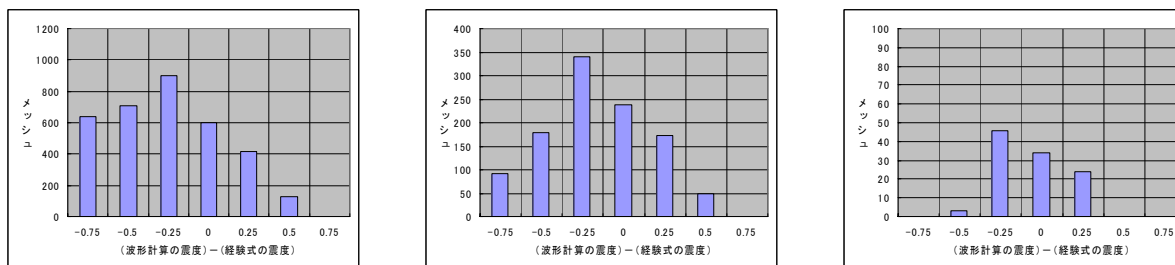
C=4



横軸は
 (波形計算による震度)
 - (経験式による震度)
 縦軸はメッシュ数

30 シードの計算

C=3



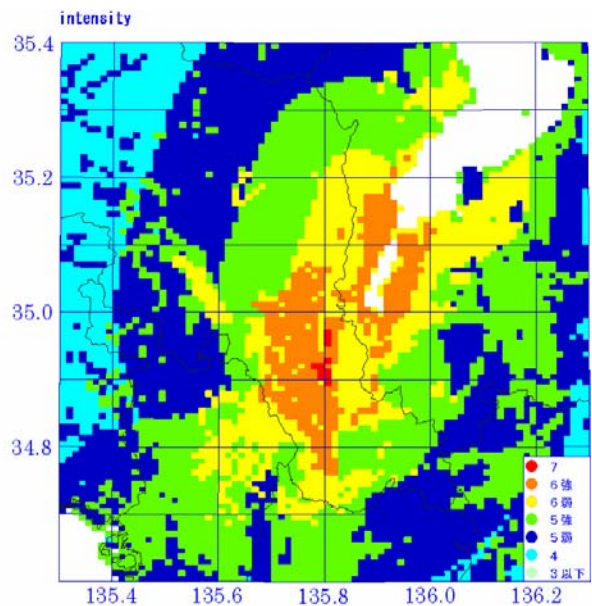
震度 6 弱以上

震度 6 強以上

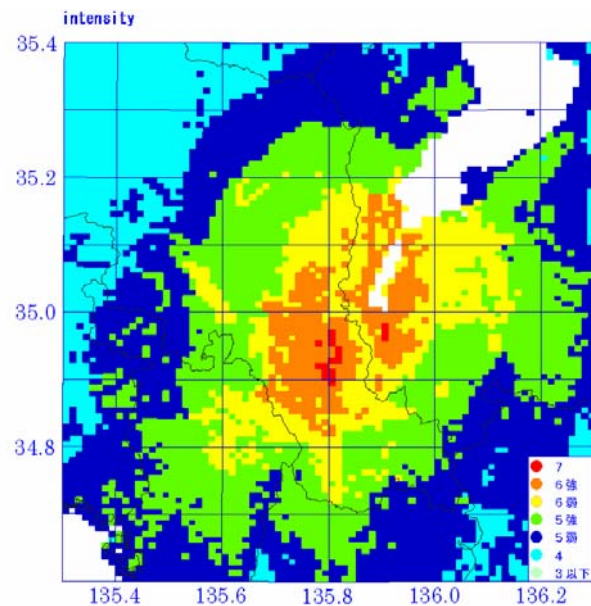
震度 7

図 4.4.11 布引山地東縁断層帯東部の地震における震度差のヒストグラム

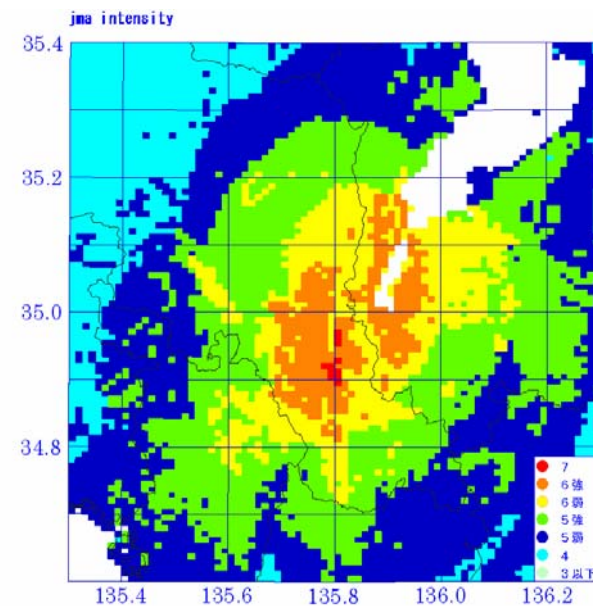
花折断層帯の地震



経験式的手法による震度分布



波形計算による震度分布
(C=3, 15 シード)

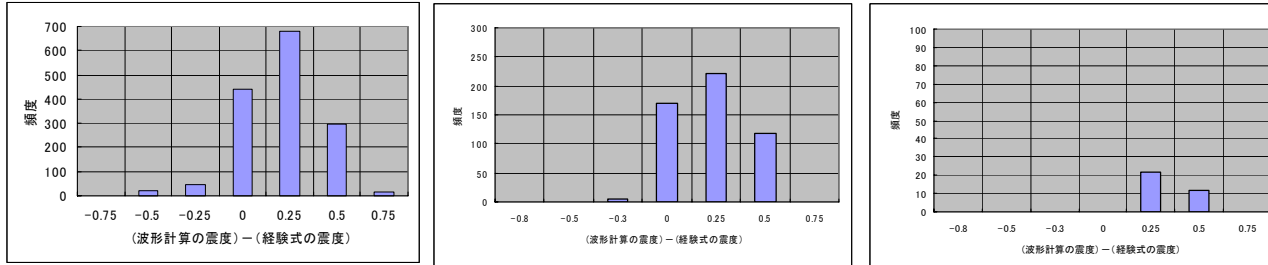


波形計算による震度分布
(C=3, 30 シード)

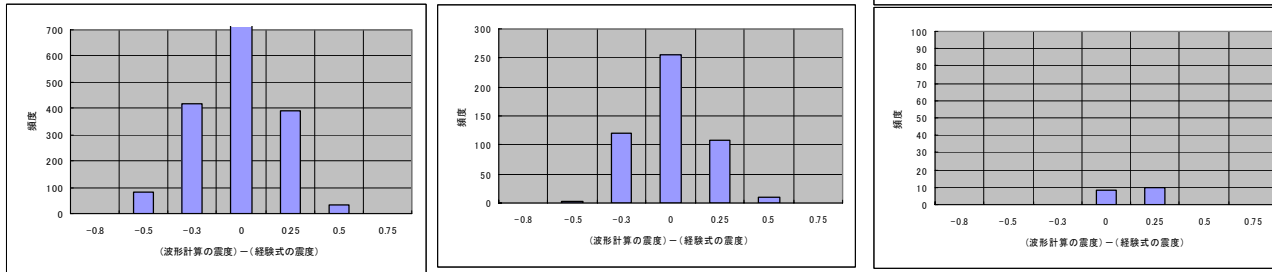
図 4.4.12 花折断層帯の地震 (M7.4) の震度分布

15 シードの計算

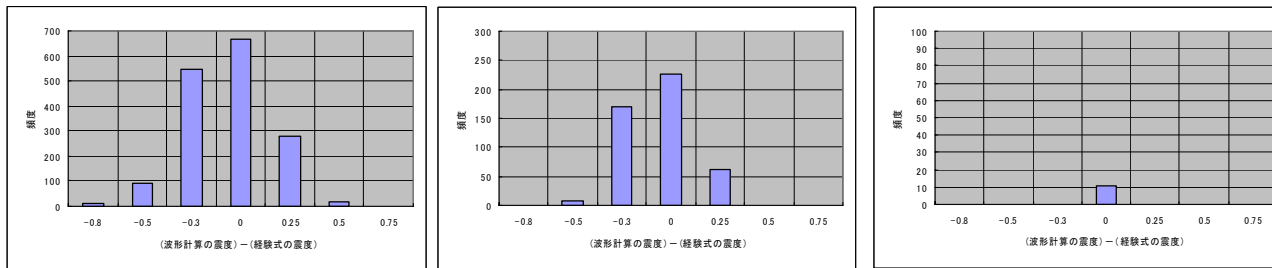
C=2



C=3



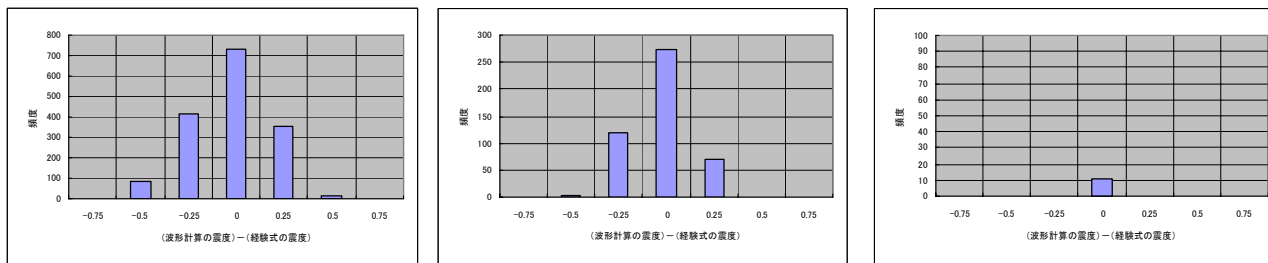
C=4



横軸は
 (波形計算による震度)
 - (経験式による震度)
 縦軸はメッシュ数

30 シードの計算

C=3



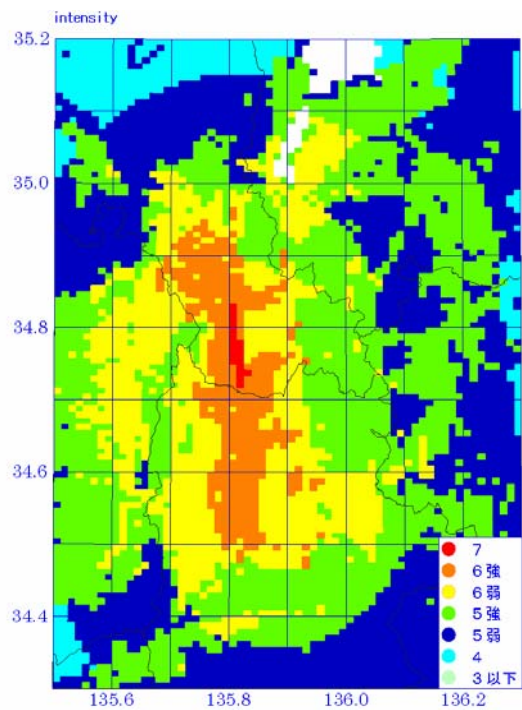
震度 6 弱以上

震度 6 強以上

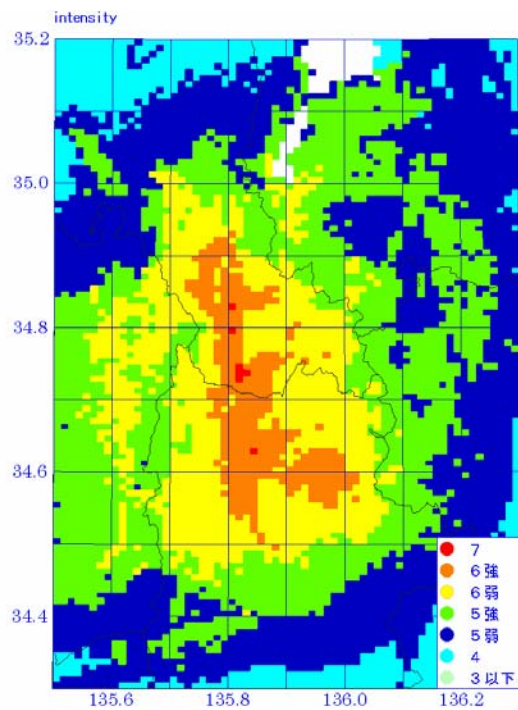
震度 7

図 4.4.13 花折断層帯の地震における震度差のヒストグラム

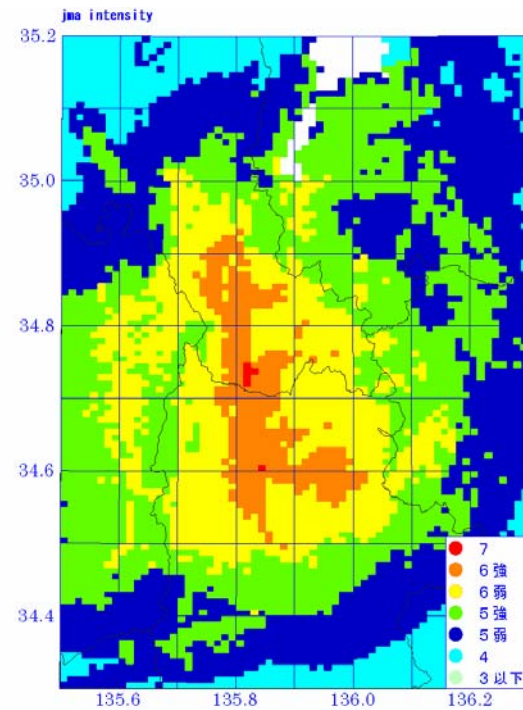
奈良盆地東縁断層帯の地震



経験式的手法による震度分布



波形計算による震度分布
(C=7, 15 シード)

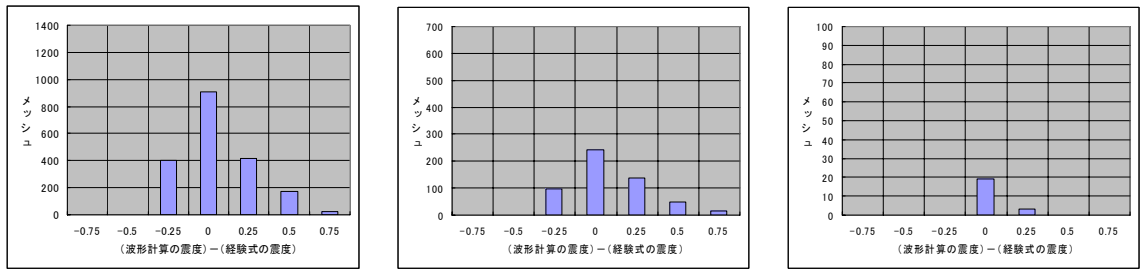


波形計算による震度分布
(C=7, 30 シード)

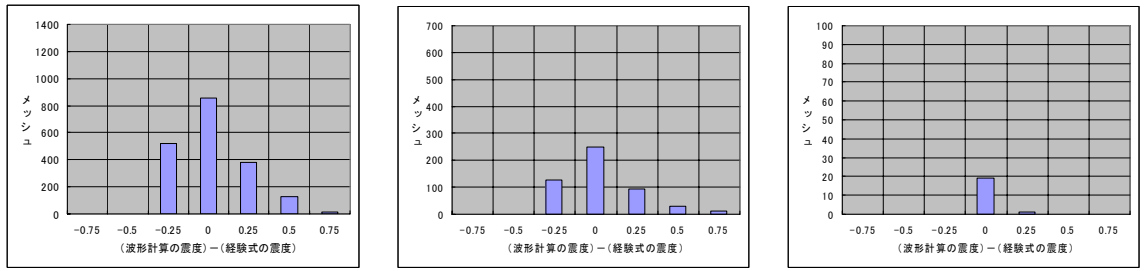
図 4.4.14 奈良盆地東縁断層帯の地震 (M7.4) の震度分布

15 シードの計算

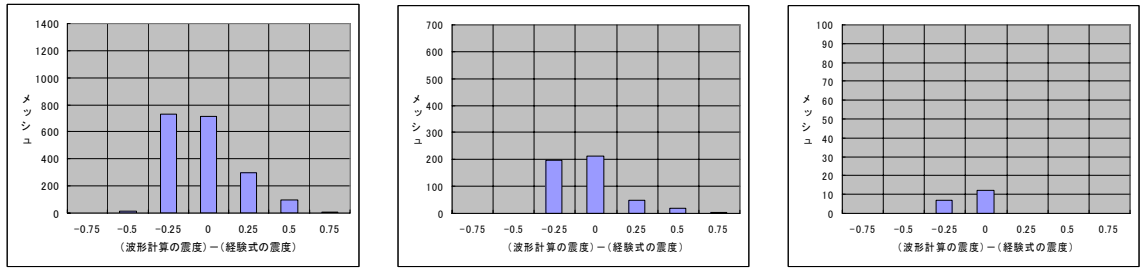
C=6



C=7



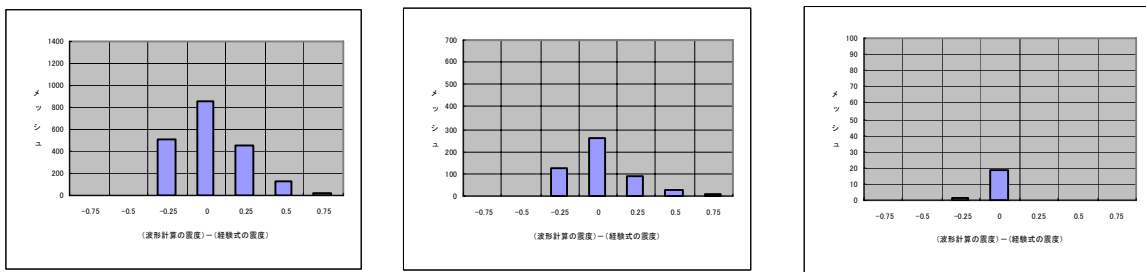
C=8



横軸は
 (波形計算による震度)
 - (経験式による震度)
 縦軸はメッシュ数

30 シードの計算

C=7



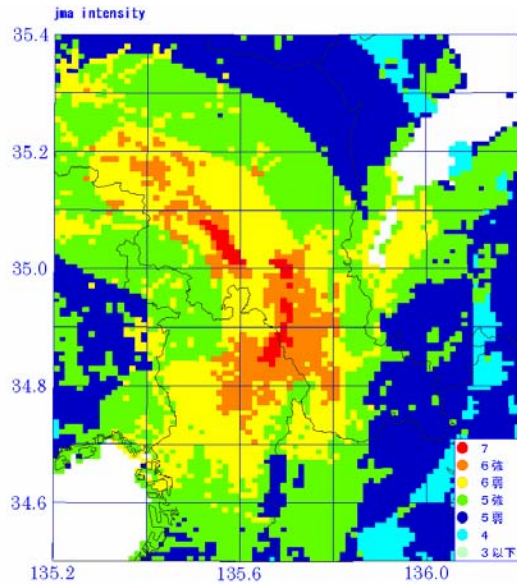
震度 6 弱以上

震度 6 強以上

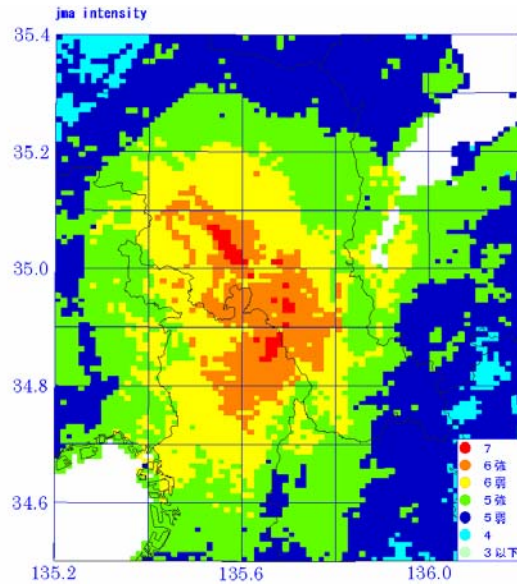
震度 7

図 4.4.15 奈良盆地東縁断層帯の地震における震度差のヒストグラム

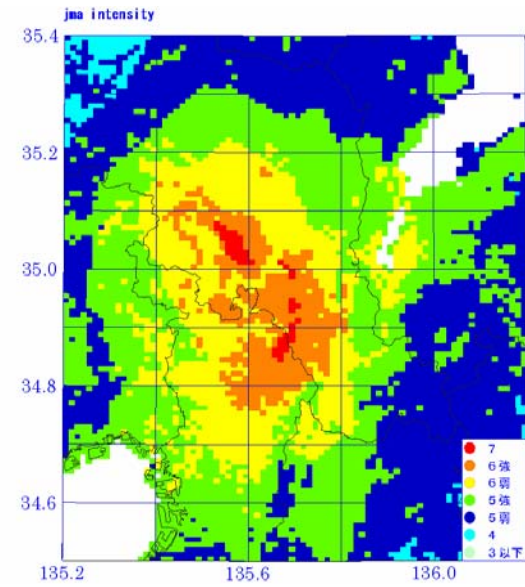
京都西山断層帯の地震



経験式的手法による震度分布



波形計算による震度分布
(C=7, 15 シード)

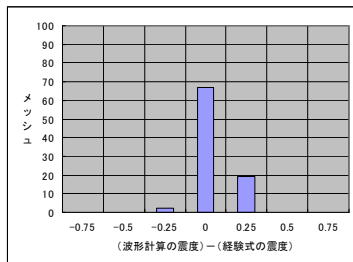
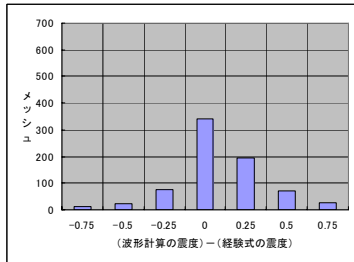
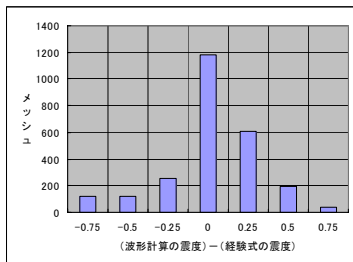


波形計算による震度分布
(C=7, 30 シード)

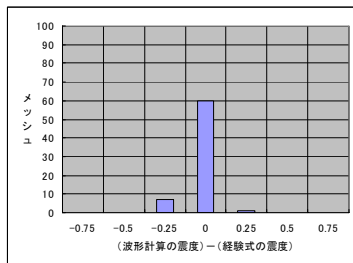
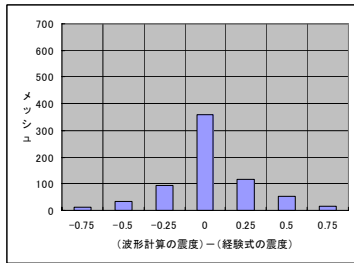
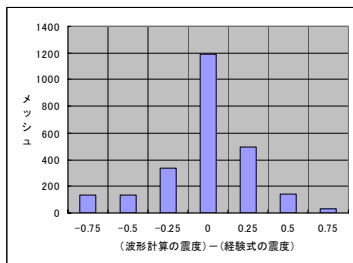
図 4.4.16 京都西山断層帯の地震 (M7.5) の震度分布

15 シードの計算

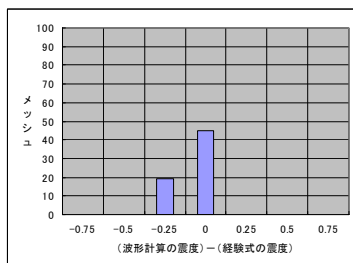
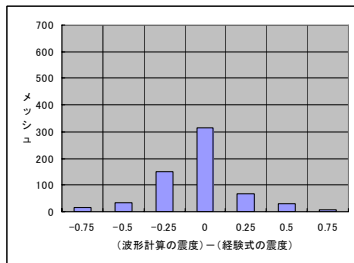
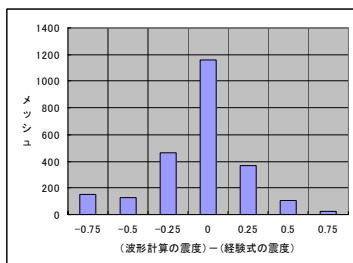
C=6



C=7



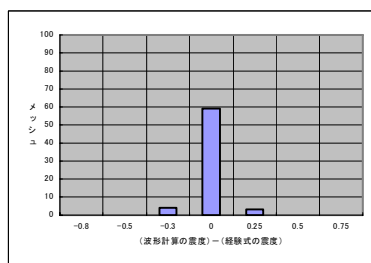
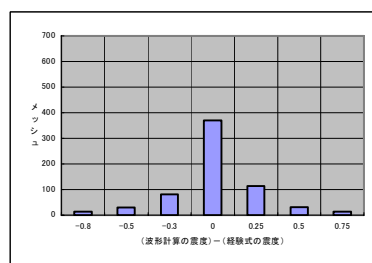
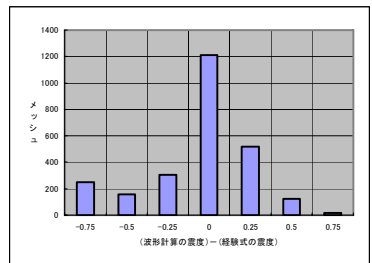
C=8



横軸は
 (波形計算による震度)
 - (経験式による震度)
 縦軸はメッシュ数

30 シードの計算

C=7



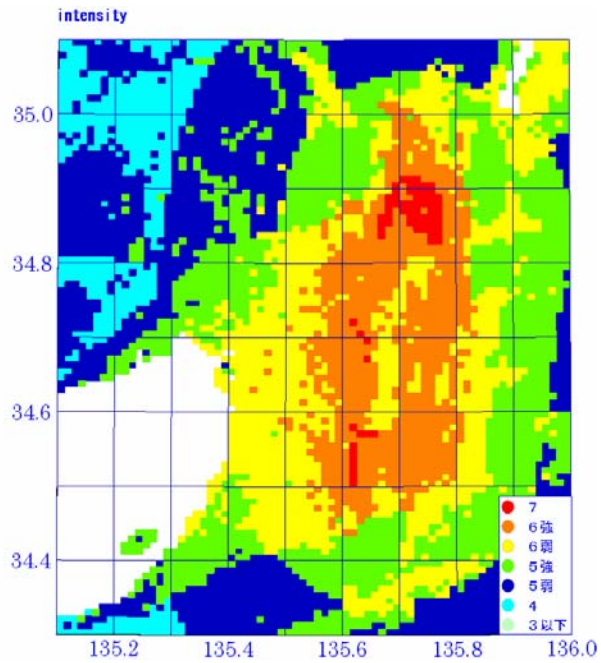
震度 6 弱以上

震度 6 強以上

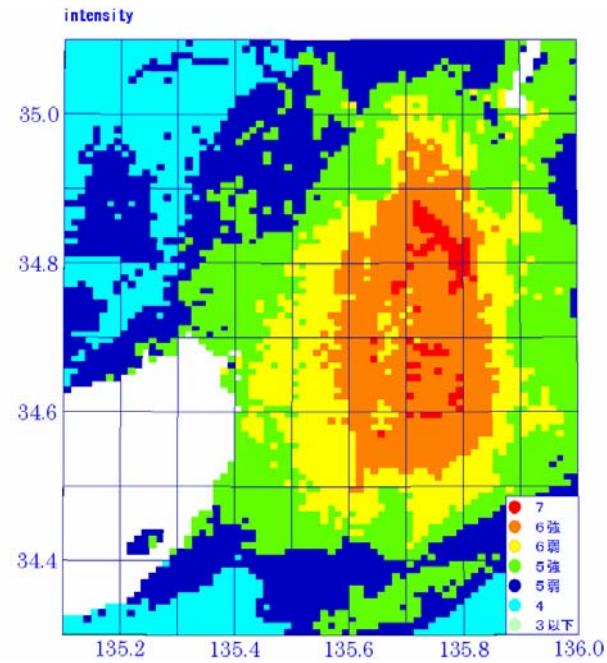
震度 7

図 4.4.17 京都西山断層帯の地震における震度差のヒストグラム

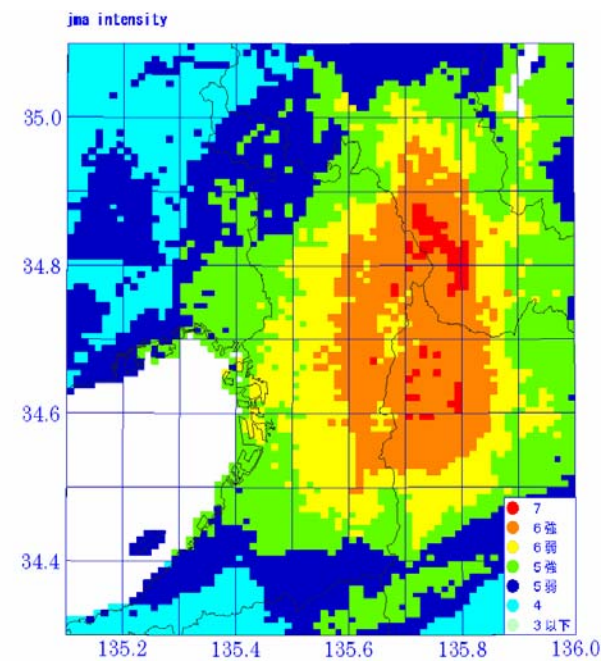
生駒断層帯の地震



経験式的手法による震度分布



波形計算による震度分布
(C=3, 15 シード)

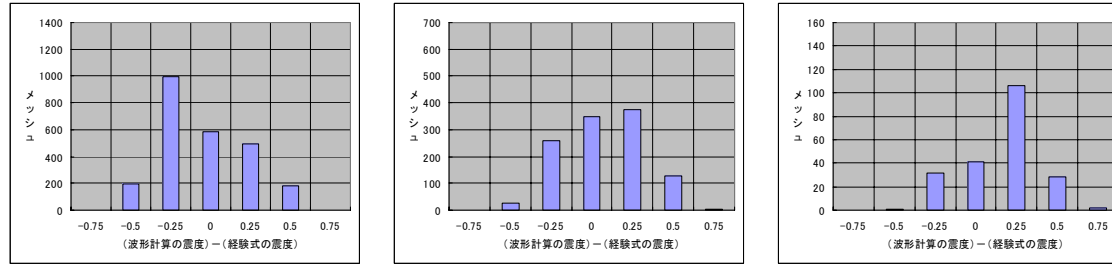


波形計算による震度分布
(C=3, 30 シード)

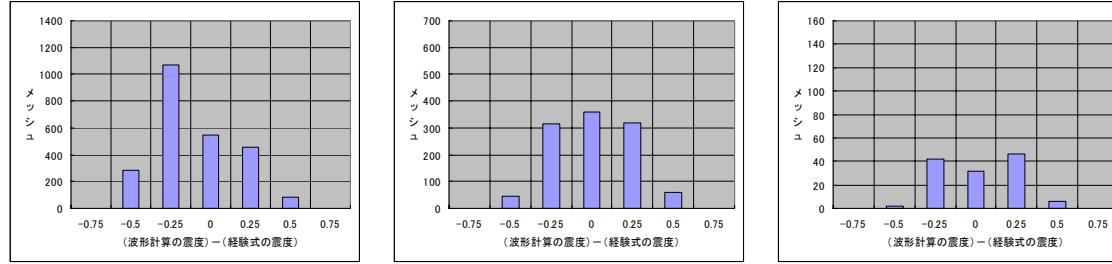
図 4.4.18 生駒断層帯の地震(M7.5)の震度分布

15 シードの計算

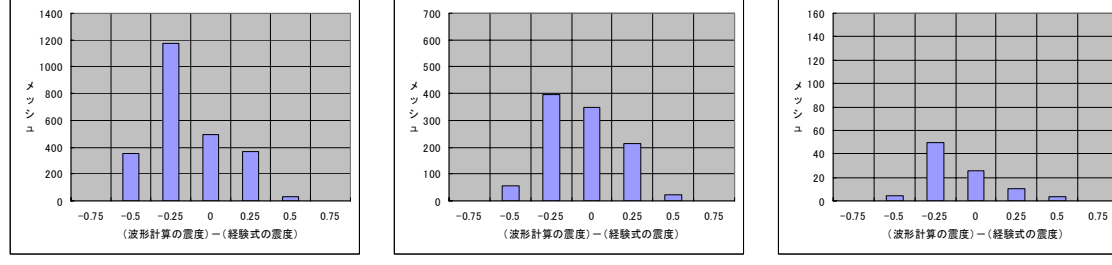
C=2



C=3



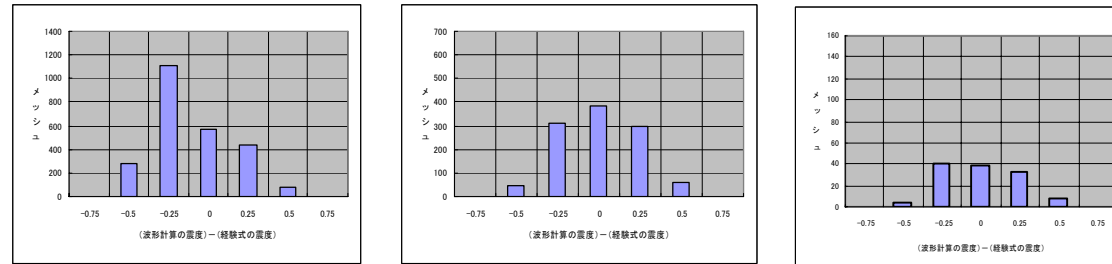
C=4



横軸は
 (波形計算による震度)
 - (経験式による震度)
 縦軸はメッシュ数

30 シードの計算

C=3



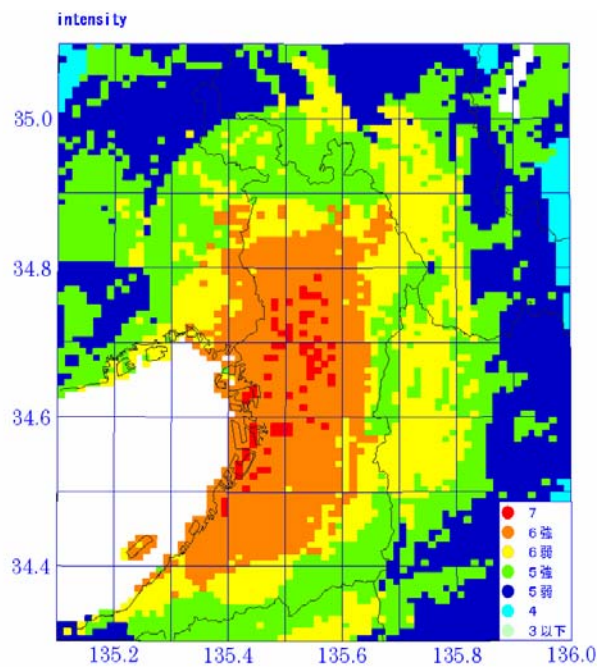
震度 6 弱以上

震度 6 強以上

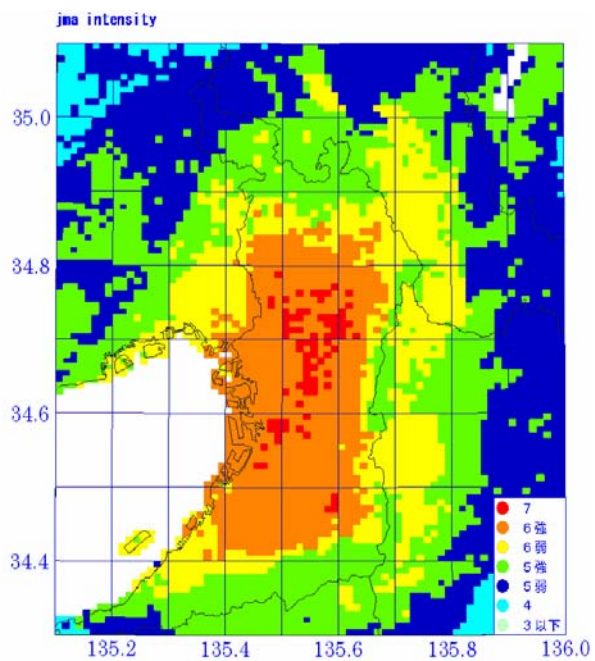
震度 7

図 4.4.19 生駒断層帯の地震における震度差のヒストグラム

上町断層帯の地震



経験的手法による震度分布

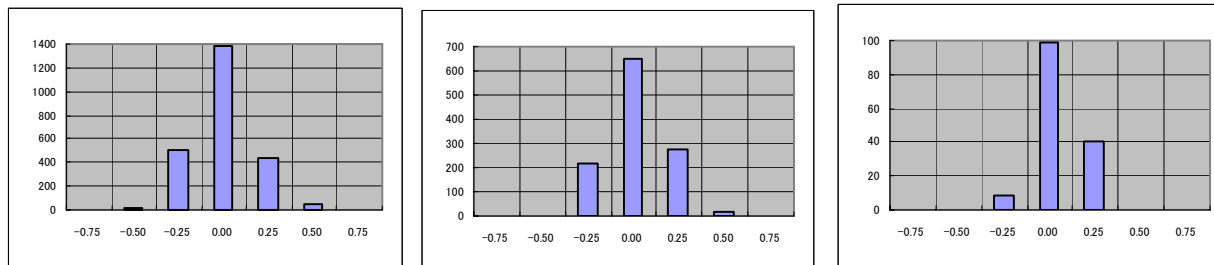


波形計算による震度分布 (C=10, 30 シード)

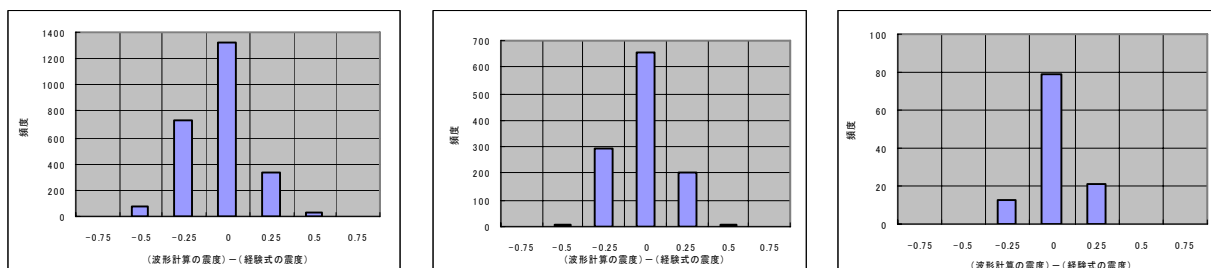
図 4.4.20 上町断層帯の地震 (M7.6) の震度分布

30 シードの計算

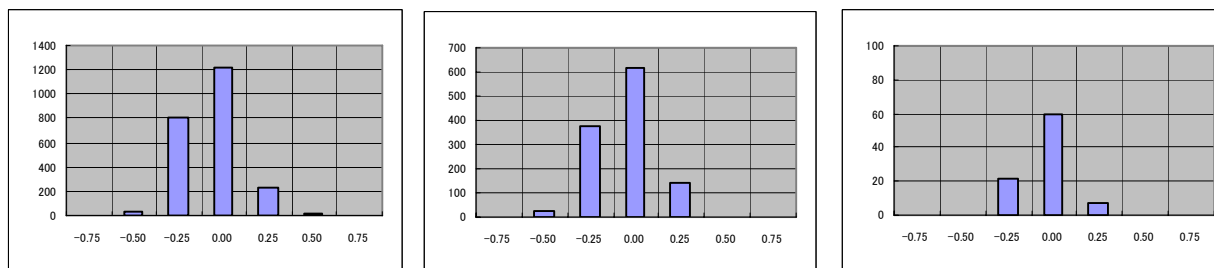
C=9



C=10



C=11



震度 6 弱以上

震度 6 強以上

震度 7

横軸は
(波形計算による震度)
- (経験式による震度)
縦軸はメッシュ数

上町断層帯の地震については、30 シードで C 値のテストを行った

図 4.4.21 上町断層帯の地震における震度差のヒストグラム

中央構造線断層帯（金剛山地東縁 - 和泉山脈南縁）の地震

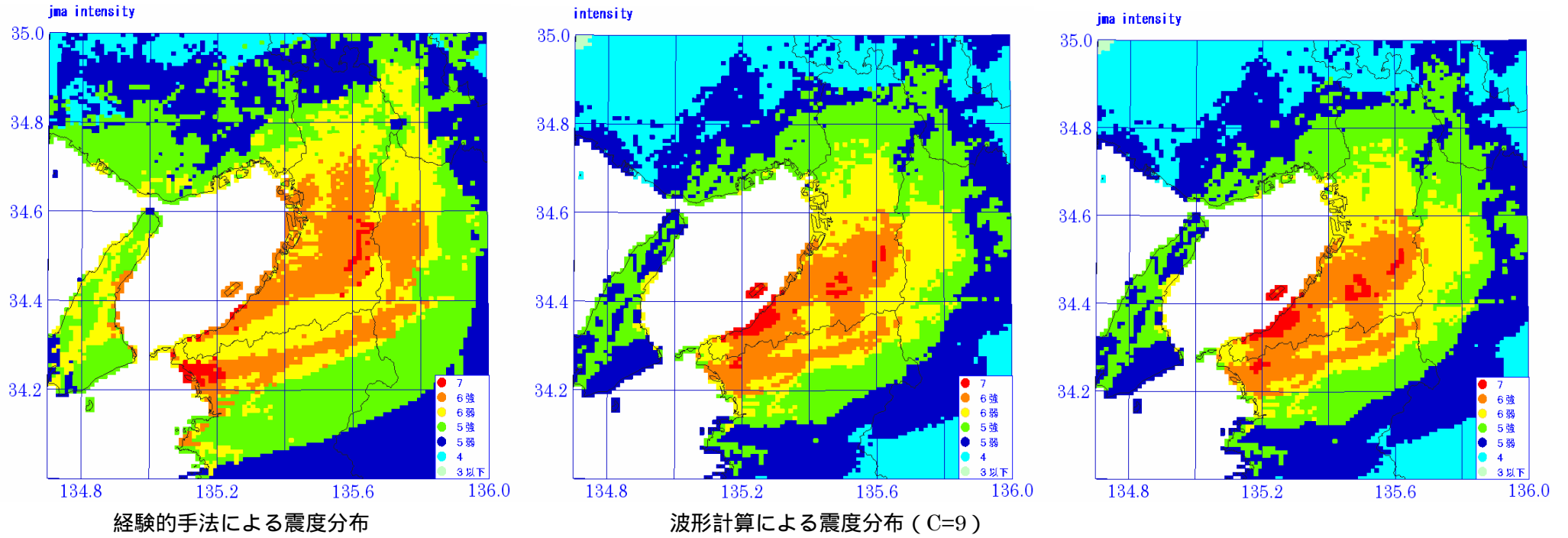
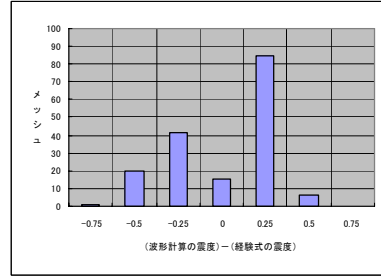
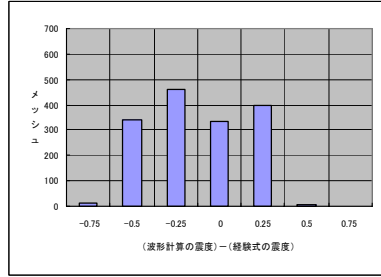
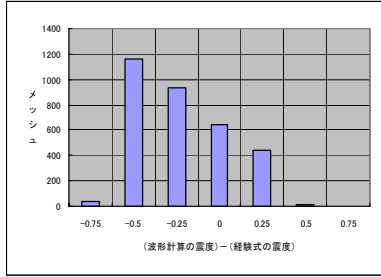


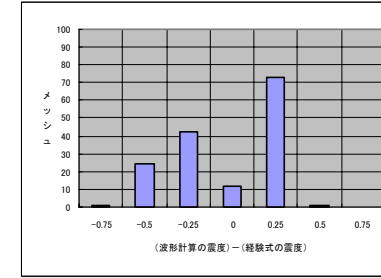
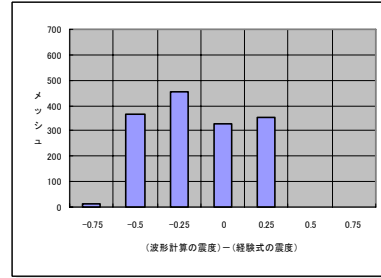
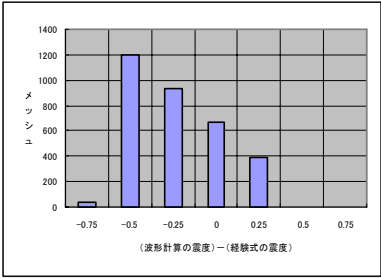
図 4.4.22 中央構造線断層帯（金剛山地東縁 - 和泉山脈南縁）の地震（M7.8）の震度分布

15 シードの計算

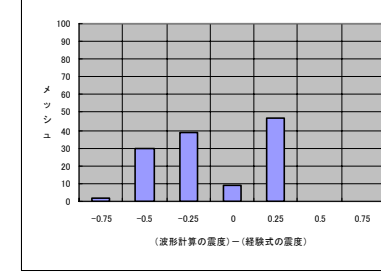
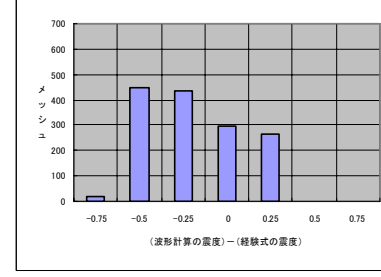
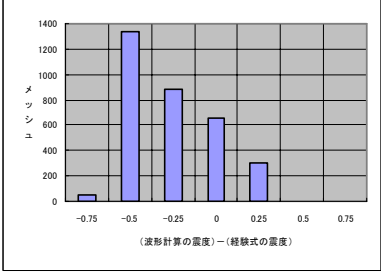
C=8



C=9



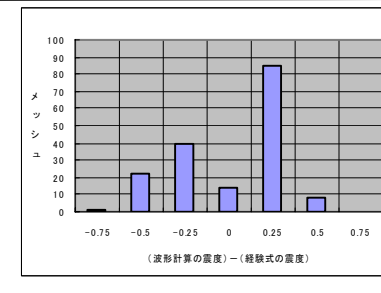
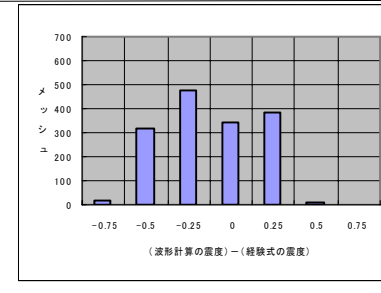
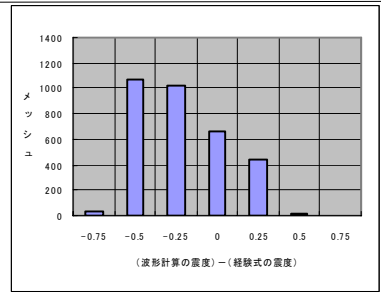
C=10



横軸は
(波形計算による震度)
- (経験式による震度)
縦軸はメッシュ数

30 シードの計算

C=9



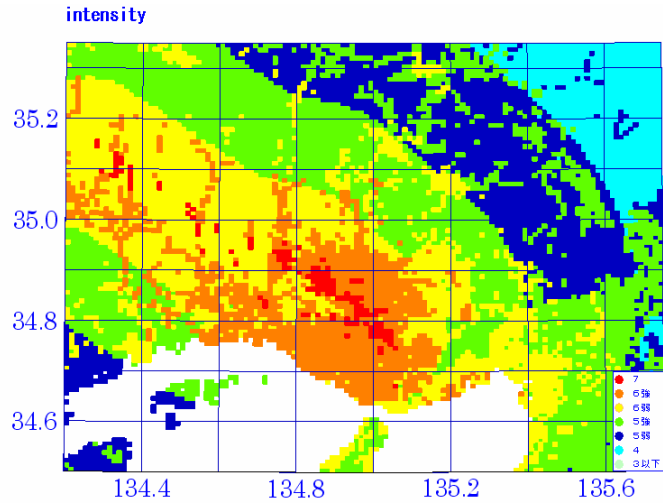
震度 6 弱

震度 6 強以上

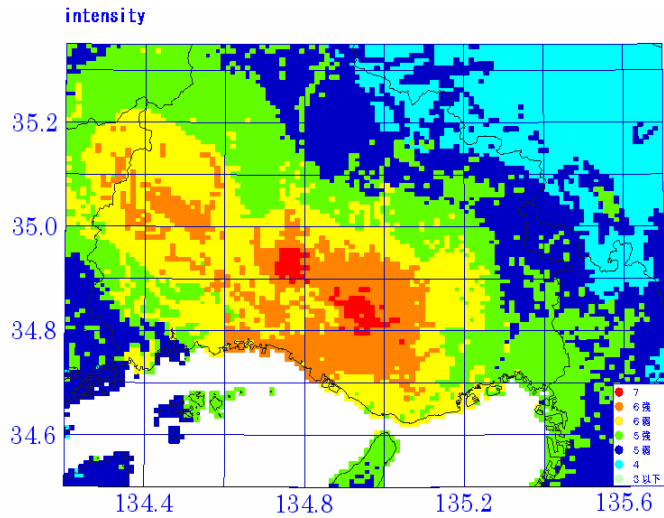
震度 7

図 4.4.23 中央構造線断層帯 (金剛山地東縁 - 和泉山脈南縁) の地震における震度差のヒストグラム

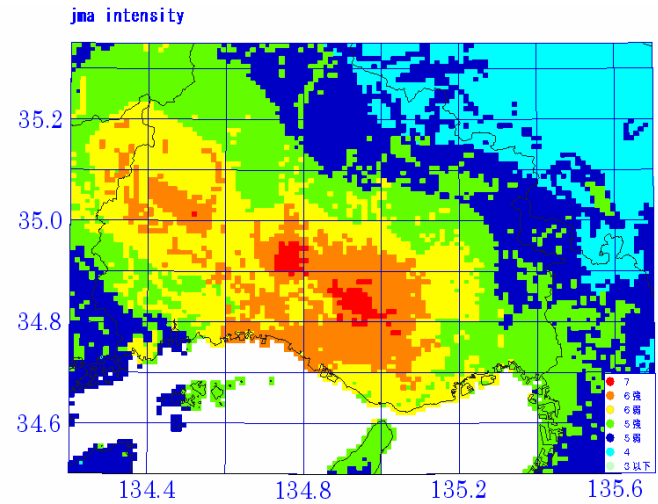
山崎断層帯の地震



経験的手法による震度分布



波形計算による震度分布(C=4、15 シード)

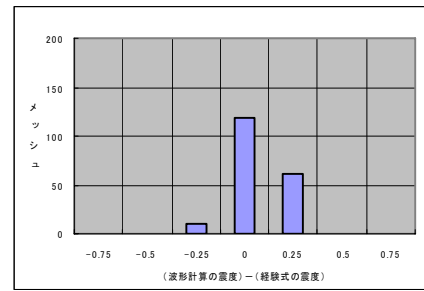
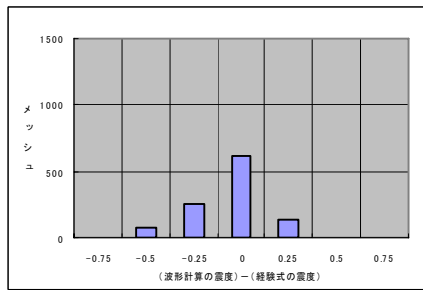
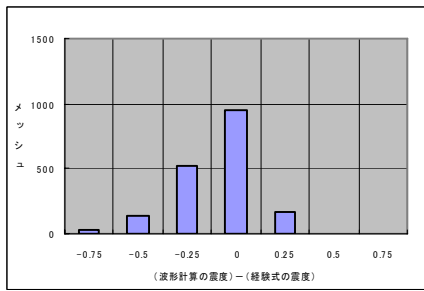


波形計算による震度分布(C=4、30 シード)

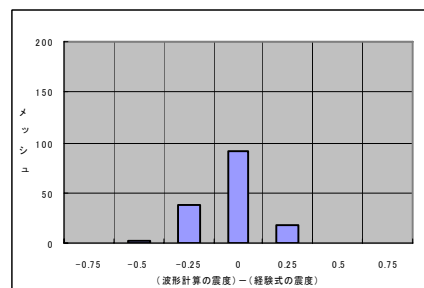
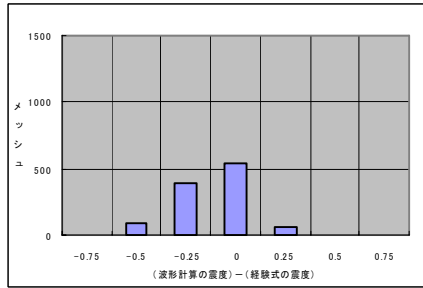
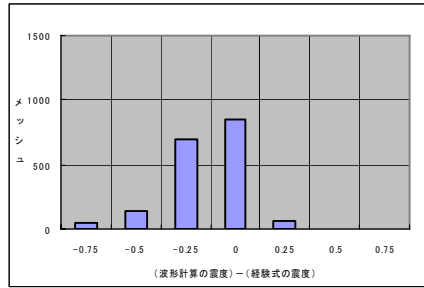
図 4.4.24 山崎断層帯の地震 (M8.0) の震度分布

15 シードの計算

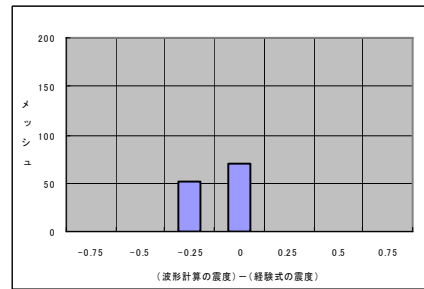
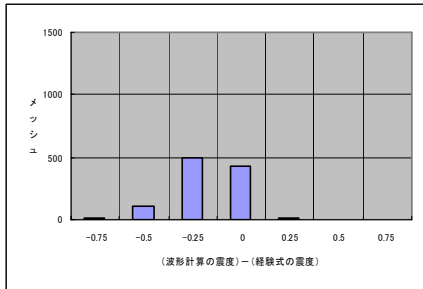
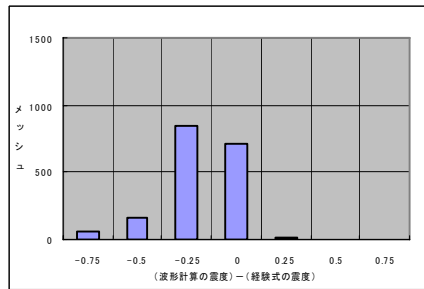
C=3



C=4



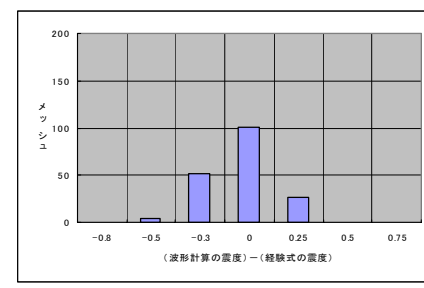
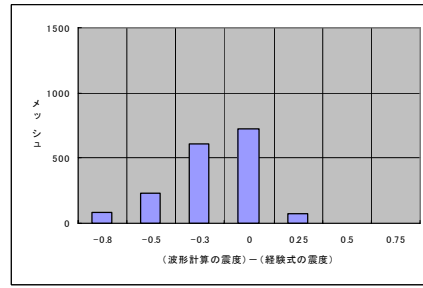
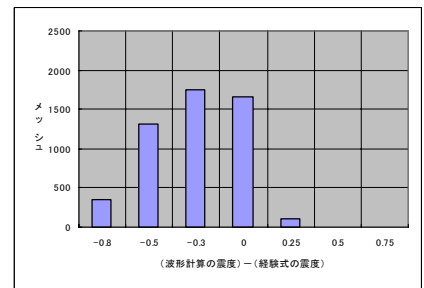
C=5



横軸は
 (波形計算による震度)
 - (経験式による震度)
 縦軸はメッシュ数

30 シードの計算

C=4



震度 6 弱以上

震度 6 強以上

震度 7

図 4.4.25 山崎断層帯の地震における震度差のヒストグラム

表 4.4.1 断層パラメータ (1)

S波速度Vs(km/s)	3.5
平均密度 ρ (g/cm ³)	2.8
剛性率 μ (N/m ²)	3.43E+10
平均的な応力パラメータ $\Delta\sigma$ (MPa)	3.0
破壊伝播速度Vr(km/s)	2.5
Fmax(Hz)	6.0

断層帯名	①猿投-高浜断層帯		②名古屋市直下	③加木屋断層帯	④養老-桑名-四日市断層帯		⑤布引山地東縁断層帯東部		
経度1°)	137.207	136.957	136.931	136.923	136.509	136.684	136.564		
緯度1°)	35.244	34.990	35.092	34.730	35.365	35.066	34.881		
経度2°)	136.957	137.059	136.898	136.854	136.684	136.598	136.456		
緯度2°)	34.990	34.866	35.246	35.041	35.066	34.899	34.455		
上端深さdu (km)	4.0		4.0	4.0	4.0		4.0		
下端深さdl (km)	20.0		11.9	20.0	18.0		20.0		
走向 θ (°)	219	146	350	350	154	203	192		
傾斜 δ (°)	60		45	60	45		45		
すべり角 λ (°)	90		90	90	90		90		
長さL (km)	44.0		17.4	35.1	52.3		48.3		
幅W (km)	18.5		11.2	18.5	19.8		22.6		
モーメントマグニチュード M_w (M _j)	7.2(7.6)		6.6(6.9)	7.1(7.4)	7.3(7.7)		7.3(7.6)		
地震モーメントMo(Nm)	7.7E+19		1.0E+19	5.6E+19	1.1E+20		9.5E+19		
断層面積S(km ²)	977		195	648	929		1094		
平均すべり量D(m)	2.3		1.5	2.5	3.5		2.5		
C(km)	4.0		5.0	3.0	3.0		3.0		
アスベリティ等内部パラメータ									
個数	2		1	2	2		2		
総面積Sa(km ²)	209		49	140	221		249		
平均すべり量Da(m)	4.6		3.0	5.1	7.1		5.1		
総モーメントMoa(Nm)	3.3E+19		5.0E+18	2.4E+19	5.4E+19		4.3E+19		
総応力パラメータ $\Delta\sigma_a$ (MPa)	14.0		12.0	13.9	12.6		13.2		
面積Sa1(km ²)	145	64	—	80	60	142	79	149	99
地震モーメントMoai(Nm)	2.6E+19	7.6E+18	—	1.5E+19	9.6E+18	3.8E+19	1.6E+19	2.8E+19	1.5E+19
平均すべり量Dai(m)	5.2	3.4	—	5.4	4.7	7.8	5.9	5.5	4.5
背景領域									
面積Sb(km ²)	768		146	508	708		845		
地震モーメントMob(Nm)	4.4E+19		5.0E+18	3.2E+19	5.9E+19		5.2E+19		
すべり量Db(m)	1.7		1.0	1.8	2.4		1.8		
応力パラメータ $\Delta\sigma_b$ (MPa)	2.8		2.4	2.8	2.5		2.6		

表 4.4.2 断層パラメータ (2)

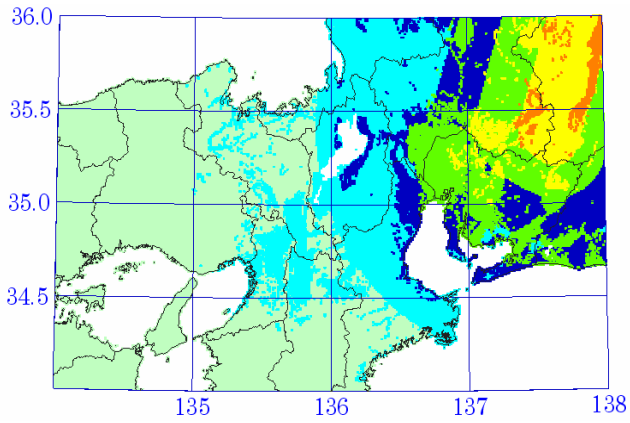
S波速度Vs(km/s)	3.5
平均密度 ρ (g/cm ³)	2.8
剛性率 μ (N/m ²)	3.43E+10
平均的な応力パラメータ $\Delta\sigma$ (MPa)	3.0
破壊伝播速度Vr(km/s)	2.5
Fmax(Hz)	6.0

断層帯名	⑥花折断層帯		⑦奈良盆地東縁断層帯	⑧京都西山断層帯		⑨生駒断層帯			
	中部	南部		北西半部	南東半部				
経度1(°)	135.789	135.834	135.860	135.562	135.655	135.655	135.615		
緯度1(°)	35.010	34.887	34.522	35.106	34.996	34.996	34.534		
経度2(°)	135.865	135.789	135.810	135.368	135.562	135.659	135.683		
緯度2(°)	35.183	35.010	34.829	35.171	35.106	34.878	34.876		
上端深さdu(km)	4.0		4.0	4.0		4.0	4.0		
下端深さdl(km)	18.0		15.0	15.0		15.0	15.0		
走向 θ (°)	20	343	352	292	325	178	9		
傾斜 δ (°)	90	70	60	90		60	45		
すべり角 λ (°)	180	90	90	0		90	90		
長さL(km)	33		34	42		38	38		
幅W(km)	14	15	13	11		13	16		
モーメントマグニチュードMw(M _j)	7.0(7.4)		7.0(7.4)	7.2(7.5)		7.1(7.5)	7.1(7.5)		
地震モーメントMo(Nm)	4.1E+19		4.5E+19	7.0E+19		5.7E+19	5.7E+19		
断層面積S(km ²)	498		437	539		598	598		
平均すべり量D(m)	2.4		3.0	3.8		2.8	2.8		
C(km)	3.0		7.0	7.0		3.0	3.0		
アスぺリティ等内部パラメータ									
個数	2		2	3		2	2		
総面積Sa(km ²)	117		103	113		157	157		
平均すべり量Da(m)	4.8		6.0	7.6		5.6	5.6		
総モーメントMoa(Nm)	1.9E+19		2.1E+19	2.9E+19		3.0E+19	3.0E+19		
総応力パラメータ $\Delta\sigma_a$ (MPa)	12.7		12.8	14.4		11.4	11.4		
面積Sa1(km ²)	65	52	64	39	42	35	36	94	63
地震モーメントMoa1(Nm)	1.1E+19	8.0E+18	1.5E+19	6.7E+18	1.1E+19	8.8E+18	9.0E+18	2.0E+19	1.1E+19
平均すべり量Da1(m)	5.1	4.5	6.6	5.1	8.0	7.3	7.3	6.1	5.0
背景領域									
面積Sb(km ²)	381		334	427		440	440		
地震モーメントMob(Nm)	2.2E+19		2.4E+19	4.0E+19		2.7E+19	2.7E+19		
すべり量Db(m)	1.7		2.1	2.8		1.8	1.8		
応力パラメータ $\Delta\sigma_b$ (MPa)	2.5		2.6	2.9		2.3	2.3		

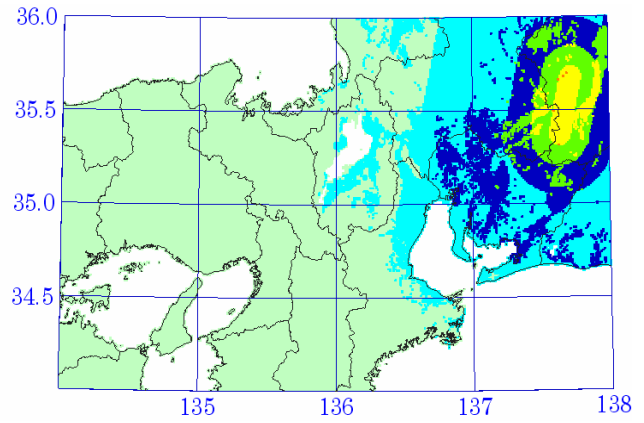
表 4.4.3 断層パラメータ (3)

S波速度Vs(km/s)	3.5
平均密度 ρ (g/cm ³)	2.8
剛性率 μ (N/m ²)	3.43E+10
平均的な応力パラメータ $\Delta\sigma$ (MPa)	3.0
破壊伝播速度Vr(km/s)	2.5
Fmax(Hz)	6.0

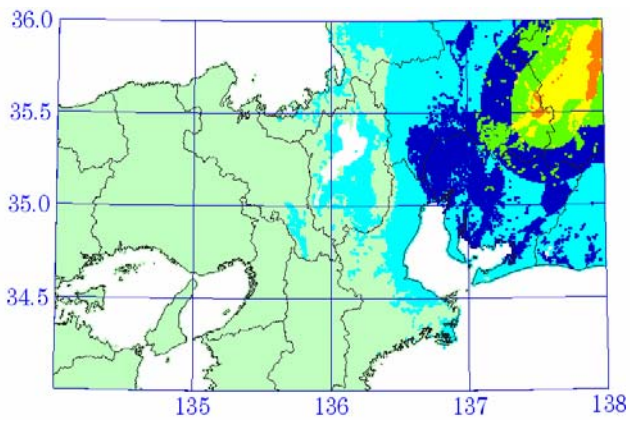
断層帯名	⑩上町断層帯		⑪阪神直下	⑫中央構造線断層帯			⑬山崎断層帯主部		
				金剛山地東縁	和泉山脈南縁		北西部	南東部	
経度1(°)	135.518	135.411	135.555	135.687	135.692	135.426	134.630	134.813	135.015
緯度1(°)	34.646	34.430	34.741	34.537	34.385	34.300	34.953	34.920	34.783
経度2(°)	135.482	135.518	135.368	135.692	135.426	135.090	134.267	134.630	134.813
緯度2(°)	34.813	34.646	34.714	34.385	34.300	34.242	35.140	34.953	34.920
上端深さdu(km)		4.0	4.0			4.0			4.0
下端深さdl(km)		15.0	15.2			15.0			21.0
走向 θ (°)	350	22	260	178	249	258	302	283	309
傾斜 δ (°)		70	90			45			90
すべり角 λ (°)		90	180	90		180			0
長さL(km)		43	17			64			79
幅W(km)		12	11			16			17
モーメントマグニチュード $M_w(M_j)$		7.2(7.6)	6.6(6.9)			7.4(7.8)			7.6(8.0)
地震モーメント $M_0(Nm)$		7.3E+19	1.0E+19			1.8E+20			2.8E+20
断層面積 $S(km^2)$		522	195			921			1362
平均すべり量D(m)		4.1	1.5			5.5			6.0
C(km)		10.0	5.0			9.0			4.0
アスぺリティ等内部パラメータ									
個数		2	1			3			3
総面積 $S_a(km^2)$		119	49			203			314
平均すべり量 $D_a(m)$		8.2	3.0			11.1			12.0
総モーメント $M_{oa}(Nm)$		3.3E+19	5.0E+18			7.7E+19			1.3E+20
総応力パラメータ $\Delta\sigma_a(MPa)$		13.2	12.0			13.6			13.0
面積 $S_{a1}(km^2)$	49	70	—	33	63	107	147	72	94
地震モーメント $M_{oa1}(Nm)$	1.2E+19	2.1E+19	—	8.1E+18	2.1E+19	4.8E+19	7.0E+19	2.4E+19	3.6E+19
平均すべり量 $D_{a1}(m)$	7.4	8.8	—	7.2	10.0	13.0	13.8	9.7	11.0
背景領域									
面積 $S_b(km^2)$		404	146			718			1048
地震モーメント $M_{ob}(Nm)$		4.0E+19	5.0E+18			9.8E+19			1.5E+20
すべり量 $D_b(m)$		2.9	1.0			4.0			4.2
応力パラメータ $\Delta\sigma_b(MPa)$		2.6	2.4			2.7			2.6



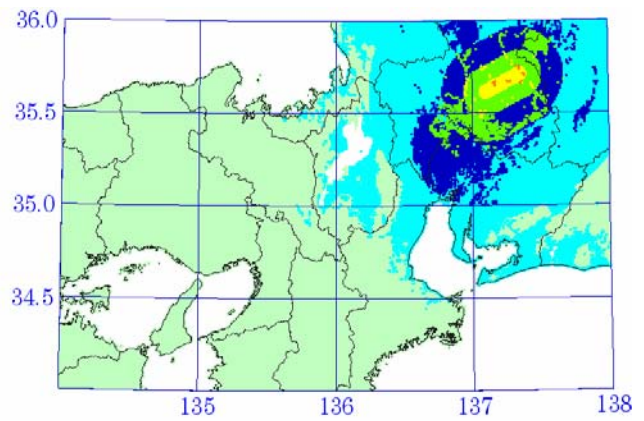
1 伊那谷断層帯の地震(M8.0)



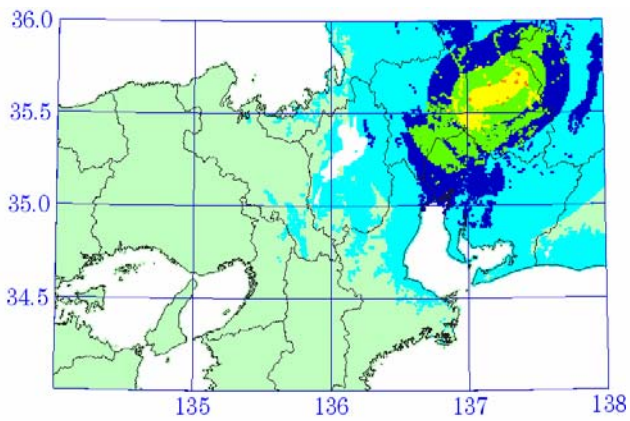
2 清内路峠断層帯の地震(M7.4)



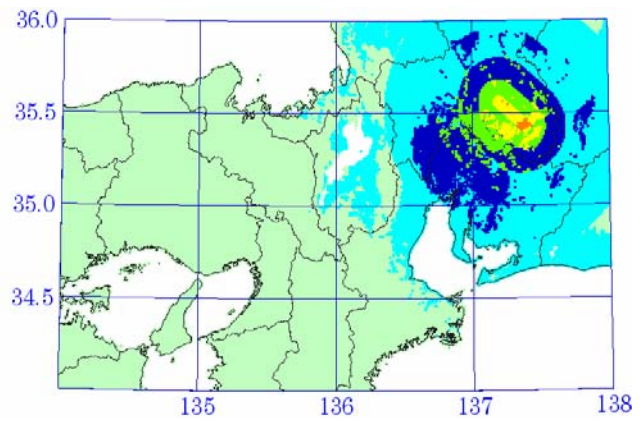
3 木曾山脈西縁断層帯主部の地震(M7.6)



4 佐見断層帯の地震(M7.2)



5 白川断層帯の地震(M7.3)



6 赤河断層帯の地震(M7.1)

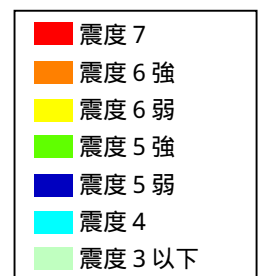
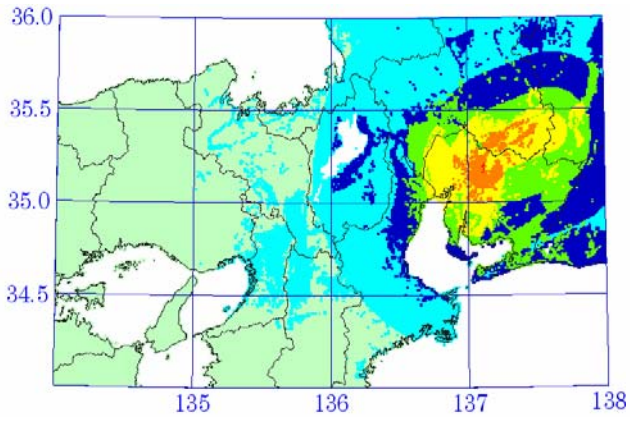
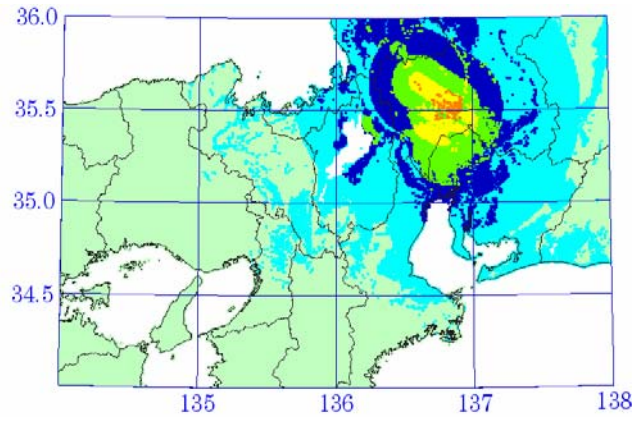


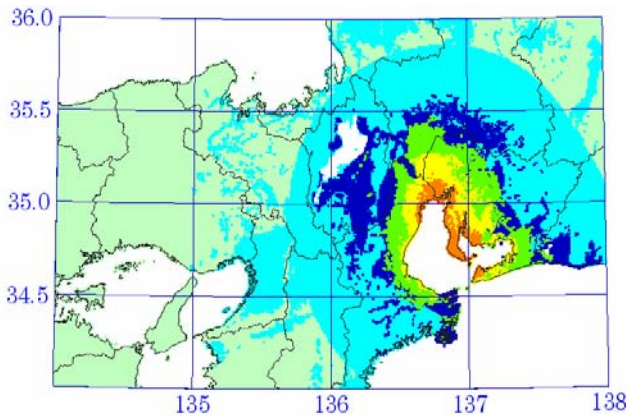
図 4.5.(1) 活断層の地震の震度分布 (経験的手法による計算)



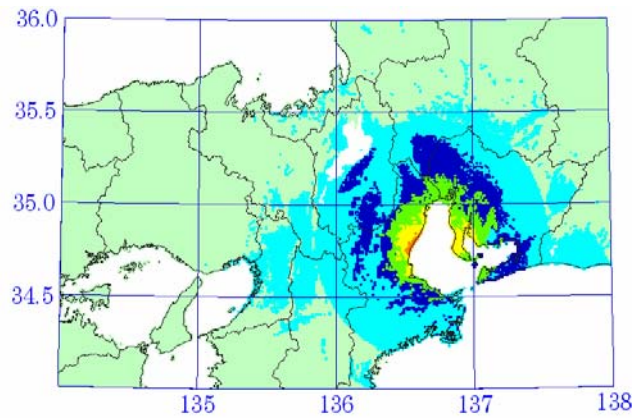
7 恵那山-猿投山北断層帯の地震(M7.7)



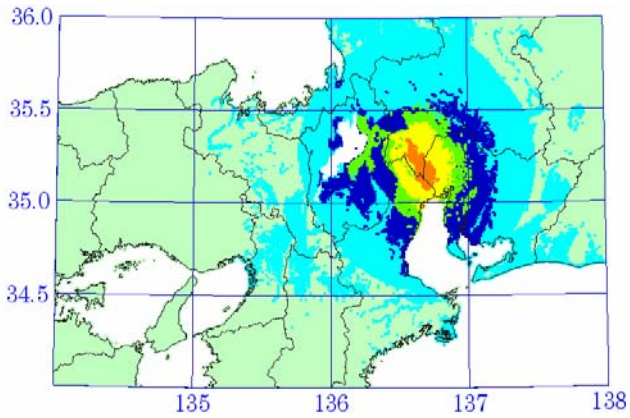
9 武儀川断層の地震(M7.3)



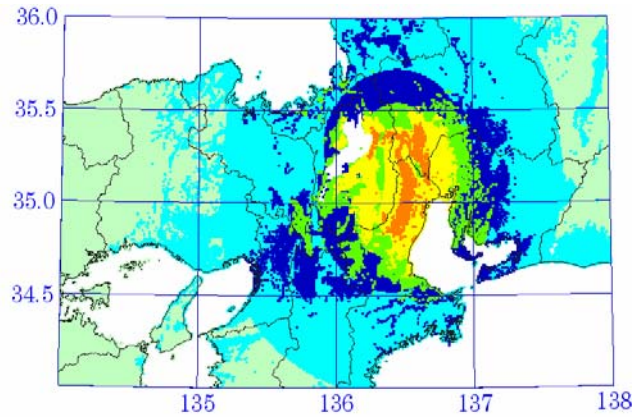
11 伊勢湾断層帯主部の地震(M7.5)



12 白子-野間断層の地震(M7.0)



15 養老山地西縁断層帯の地震(M7.0)



16 鈴鹿東縁断層帯の地震(M7.6)

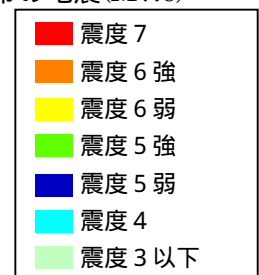
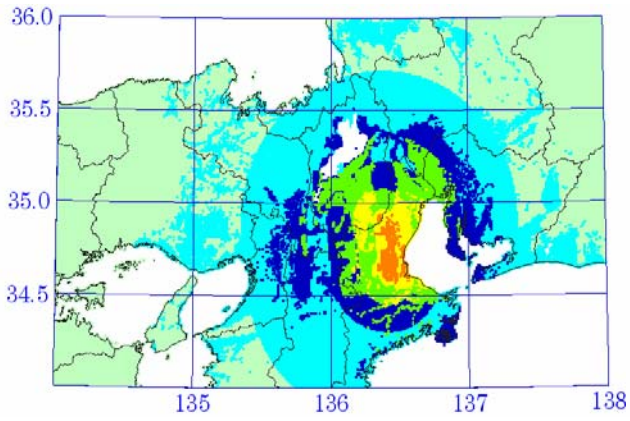
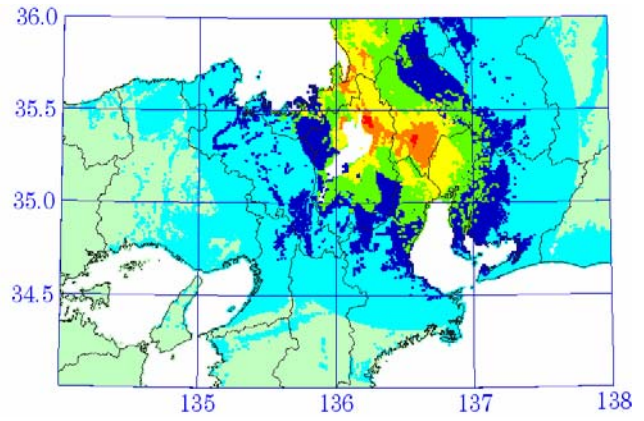


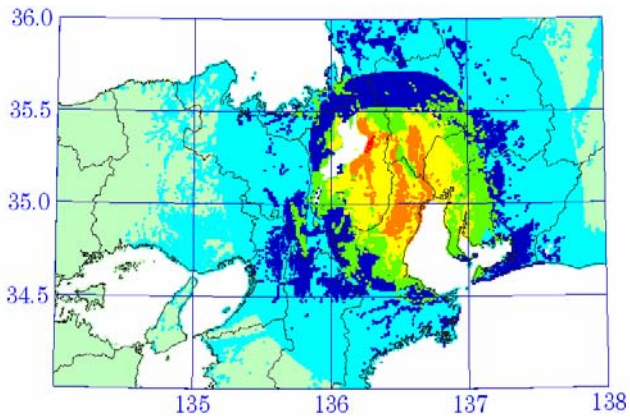
図 4.5.(2) 活断層の地震の震度分布 (経験的手法による計算)



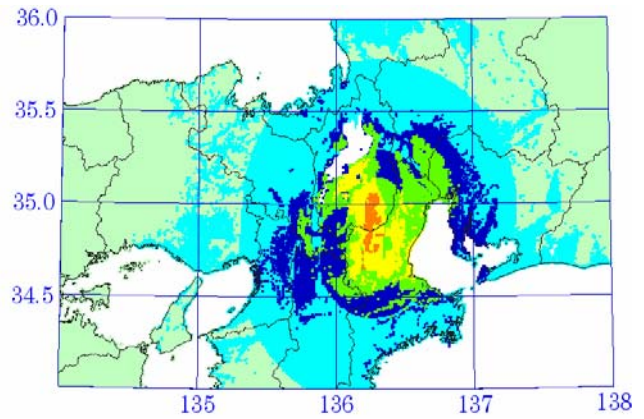
17 布引山地東縁断層帯西部(M7.4)



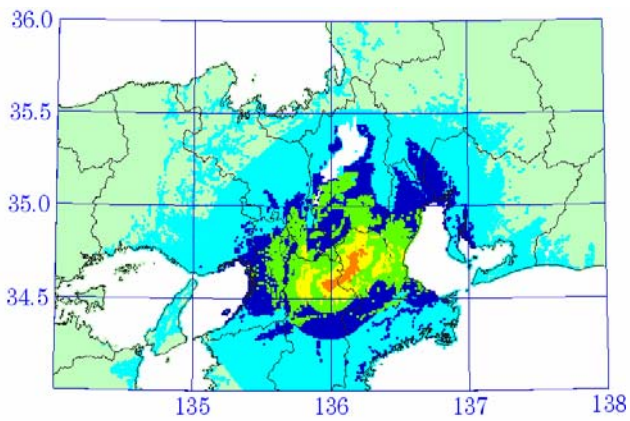
18 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部の地震(M7.7)



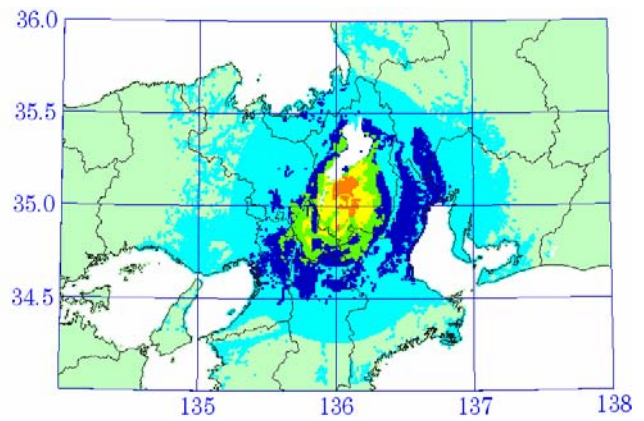
19 鈴鹿西縁断層帯の地震(M7.6)



20 頓宮断層の地震(M7.3)



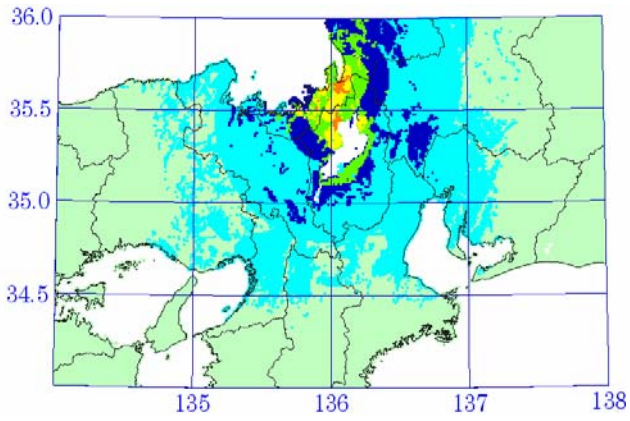
21 名張断層帯の地震(M7.3)



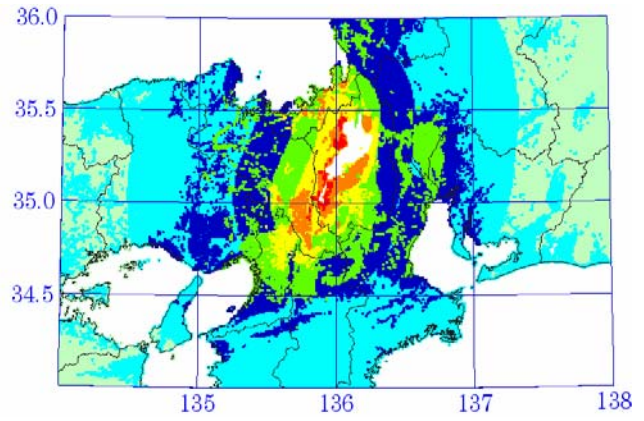
22 大鳥居断層帯の地震(M7.1)



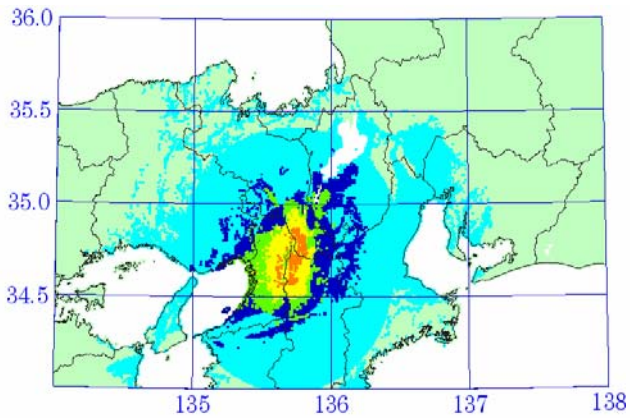
図 4.5.(3) 活断層の地震の震度分布 (経験的手法による計算)



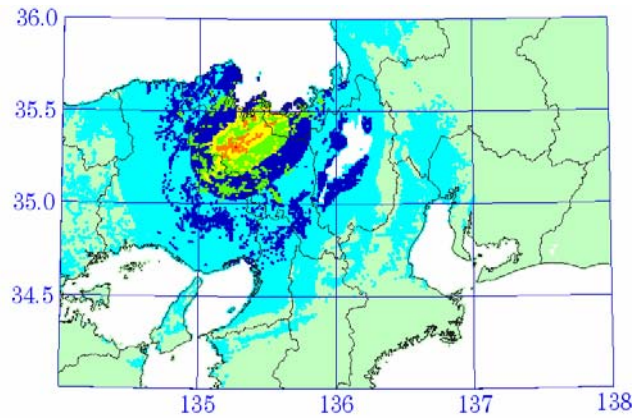
23 湖北山地断層帯北西部の地震(M7.2)



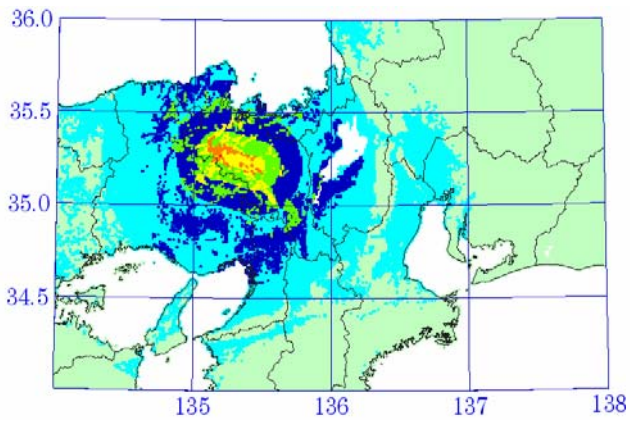
24 琵琶湖西岸断層帯の地震(M7.8)



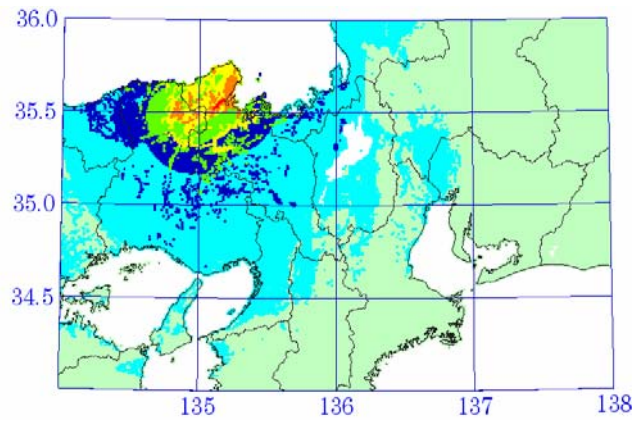
27 京阪奈丘陵撓曲断層帯の地震(M7.0)



31 上林川断層の地震(M7.2)



32 三峠断層の地震(M7.2)



33 山田断層帯主部の地震(M7.4)

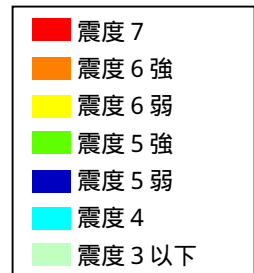
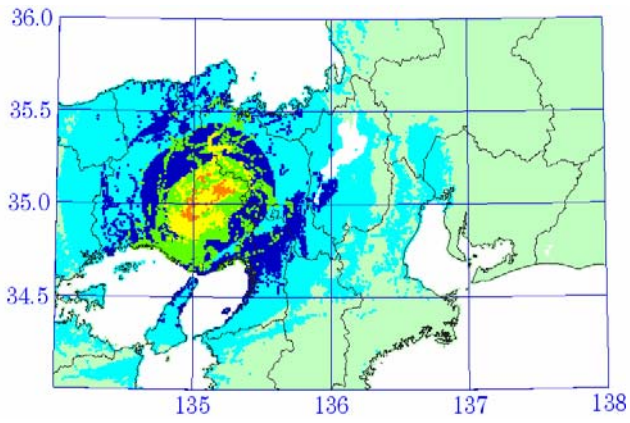
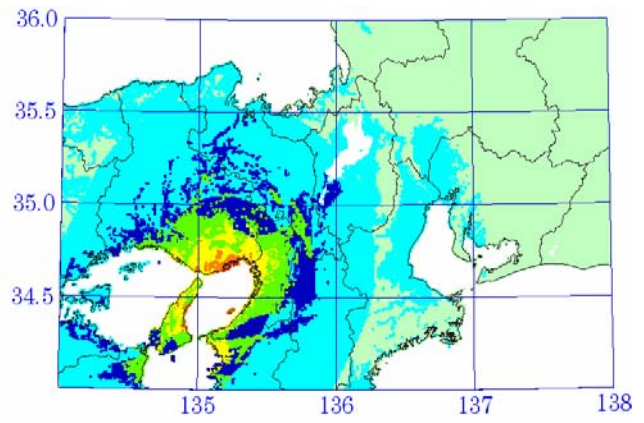


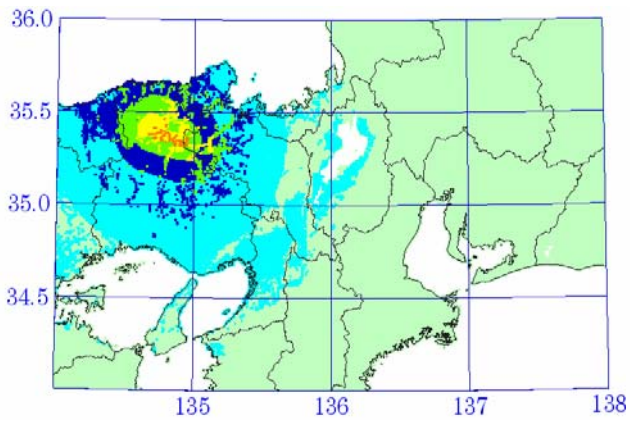
図 4.5.(4) 活断層の地震の震度分布 (経験的手法による計算)



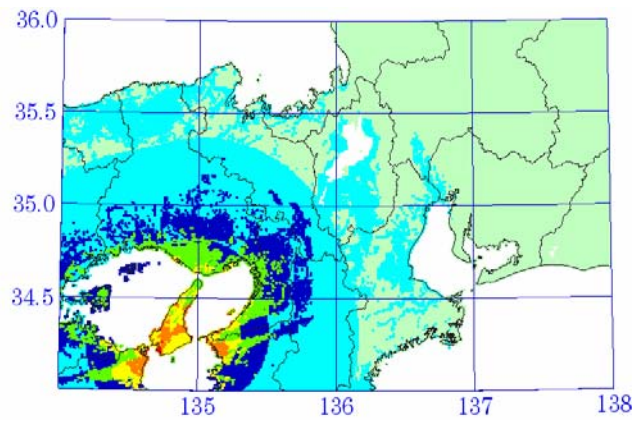
34 御所谷断層帯の地震(M7.2)



35 大阪湾断層帯の地震(M7.5)



36 養父断層帯の地震(M7.0)



39 中央構造線断層帯の地震
(紀淡海峡-鳴門海峡)(M7.5)

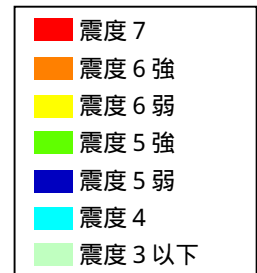


図 4.5.(5) 活断層の地震の震度分布 (経験的手法による計算)

表 4.5 検討対象とした活断層の地震のパラメータ

番号 活断層 応急	断層帯名	断層位置						マグニチュード M	モーメント マグニチュード	
		上端深さ(km)	下端深さ(km)	走向(°)	傾斜(°)	長さ(km)	幅(km)			
1	伊那谷断層帯	4.0	18.0	197	30	79	28	8.0	7.6	
2	清内路峠断層帯	4.0	20.0	12	90	34	16	7.4	7.0	
3	木曾山脈西縁断層帯主部	北部北半部	4.0	19.0	18	30	30	7.6	7.2	
		北部南半部	4.0	20.0	43	90	16			
		南部	4.0		14	90	16			
4	佐見断層帯	4.0	15.0	64	90	25	11	7.2	6.8	
5	白川断層帯		4.0	15.0	77	90	31	11	7.3	7.0
				54						
6	赤河断層帯	4.0	15.0	129	60	23	13	7.1	6.8	
7	恵那山-猿投山北断層帯	東半部	4.0	20.0	70	45	51	23	7.7	7.3
		西半部	4.0		48	90	16			
8	① 猿投-高浜断層帯	4.0	20.0	219 146	60	44	18	7.6	7.2	
9	武儀川断層	4.0	20.0	301	90	28	16	7.3	6.9	
10	③ 加木屋断層帯	4.0	20.0	350	60	35	18	7.4	7.1	
11	伊勢湾断層帯主部	北部	4.0	18.0	341	60	38	16	7.5	7.1
		南部	4.0		300	60	16			
12	白子-野間断層	4.0	18.0	273	60	20	16	7.0	6.7	
13	④ 養老-桑名-四日市断層帯		4.0	18.0	154	45	52	20	7.7	7.3
				203						
14	⑤ 布引山地東縁断層帯東部	4.0	20.0	192	45	48	23	7.6	7.3	
15	養老山地西縁断層帯	4.0	18.0	318	45	20	20	7.0	6.7	
16	鈴鹿東縁断層帯		4.0	20.0	172	60	46	18	7.6	7.2
				193						
17	布引山地東縁断層帯西部	4.0	15.0	174	60	33	13	7.4	7.0	
18	柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯主部	中部	4.0		352	90	55	11	7.7	7.3
		南部	4.0	15.0	337					
					303					
19	鈴鹿西縁断層帯	4.0	19.0	347	30	45	30	7.6	7.2	
20	嶺宮断層	4.0	15.0	4	60	32	13	7.3	7.0	
21	名張断層帯	4.0	18.0	233	60	29	16	7.3	6.9	
22	大鳥居断層帯		4.0	18.0	157	60	22	16	7.1	6.7
				225						
23	湖北山地断層帯北西部	4.0	15.0	28	90	25	11	7.2	6.8	
24	琵琶湖西岸断層帯	4.0	18.0	194	70	59	15	7.8	7.4	
25	⑥ 花折断層帯	中部	4.0	18.0	20	90	33	14	7.4	7.0
		南部	4.0		343					
26	⑦ 奈良盆地東縁断層帯	4.0	15.0	352	60	34	13	7.4	7.0	
27	京阪奈丘陵撓曲帯	4.0	18.0	195	60	21	16	7.0	6.7	
28	⑧ 京都西山断層帯	北西半部	4.0	15.0	292	90	42	11	7.5	7.2
		南東半部	4.0		325					
					178					
29	⑨ 生駒断層帯	4.0	15.0	9	45	38	16	7.5	7.1	
30	⑩ 上町断層帯	4.0	15.0	350 22	70	43	12	7.6	7.2	
31	上林川断層	4.0	15.0	57	90	26	11	7.2	6.9	
32	三峠断層	4.0	15.0	105	90	26	11	7.2	6.9	
33	山田断層帯主部		4.0	10.0	199	90	34	6	7.4	7.0
				244						
34	御所谷断層帯	4.0	18.0	239	45	28	20	7.2	6.9	
35	大阪湾断層帯	4.2	15.0	209	60	39	12	7.5	7.1	
36	養父断層帯	4.0	18.0	105	90	21	14	7.0	6.7	
37	⑬ 山崎断層帯主部	北西部	4.0	21.0	302	90	79	17	8.0	7.6
		南東部	4.0		283					
					309					
38	⑭ 中央構造線断層帯 (金剛山地東縁-和泉山脈南縁)	金剛山地東縁	4.0	15.0	178	45	64	16	7.8	7.4
		和泉山脈南縁	4.0		249					
					258					
39	中央構造線断層帯(紀淡海峡-鳴門海峡)	4.0	15.0	259	30	41	22	7.5	7.2	
②	名古屋直下地震断層(想定)	4.0	11.9	350	45	17	11	6.9	6.6	
⑪	阪神直下地震断層(想定)	4.0	15.2	260	90	17	11	6.9	6.6	