

地表震度の算定方法及び算定結果

目 次

1. 地表震度の想定.....	1-1
1.1 想定震源.....	1-1
1.2 地表震度の算定方法.....	1-3
1.2.1 地表震度算定方法の選定.....	1-3
1.2.2 簡便法の概要.....	1-6
1.3 地表震度の算定.....	1-8
1.3.1 地表震度算定ツールの概要.....	1-8
1.3.2 算定条件.....	1-11
1.3.3 地表震度の算定結果.....	1-12

1. 地表震度の想定

1.1 想定震源

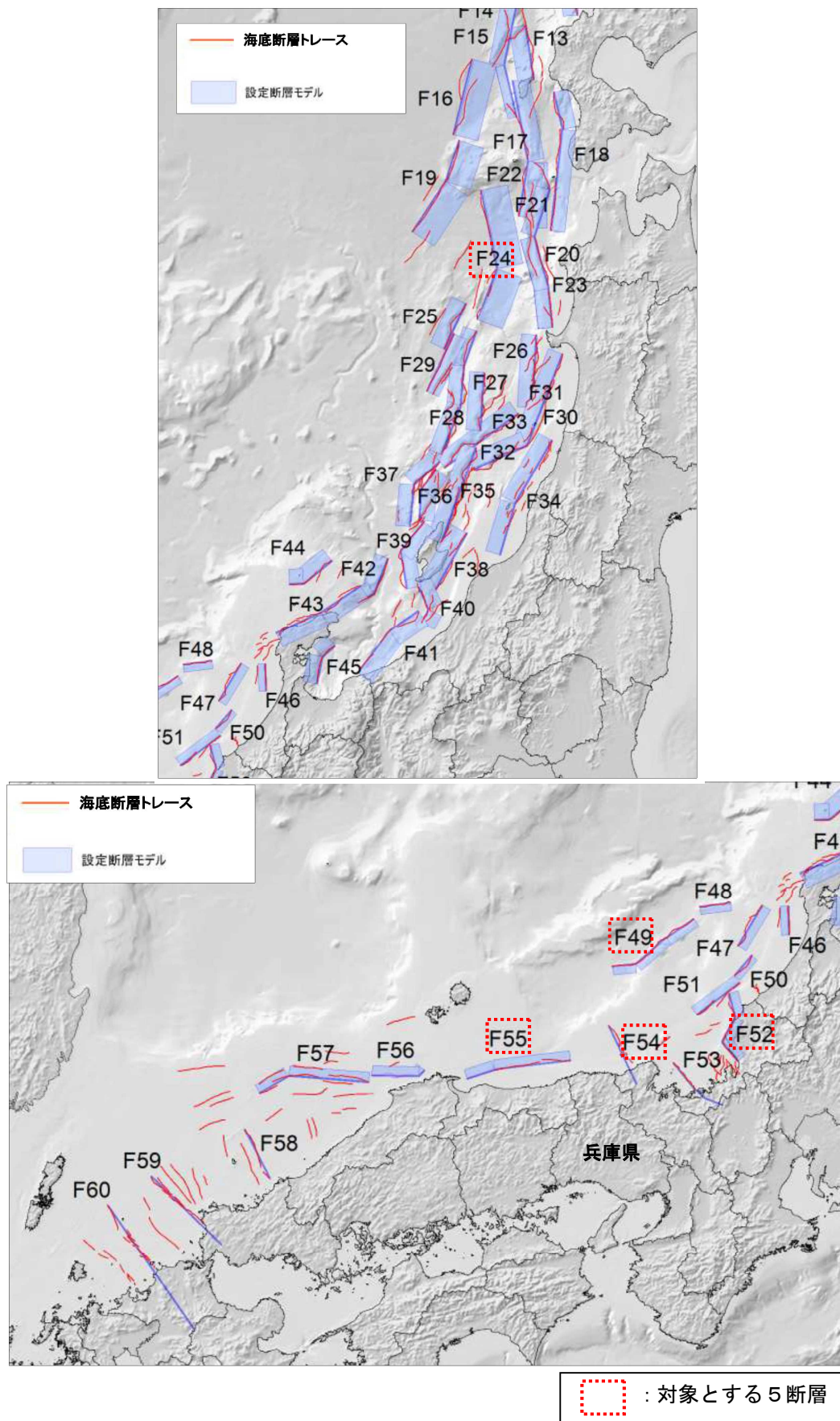
兵庫県日本海側の1市2町(豊岡市、新温泉町、香美町)に津波の被害を及ぼすおそれのある地震の波源(震源)として、表 1.1.1、図 1.1.1 に示す5つの断層を対象に地表震度を想定する。

- ・ F24
- ・ F49
- ・ F52
- ・ F54
- ・ F55

表 1.1.1 対象断層の津波断層パラメータ

津波断層 モデルNo	Mw	緯度	経度	上端深さ	下端深さ	走向	傾斜	すべ り角	断層 長さ	断層 幅	合計断層 長さ	合計断層 面積	平均 すべり量
		(度)	(度)	(km, TP-)	(km, TP-)	(度)	(度)	(度)	(km)	(km)	(km)	(km ²)	(m)
F24	7.9	40.1054	138.9259	3.9	18.0	21	30	74	53.7	28.2	132	3717	6.00
		40.5641	139.1542			349	30	80	77.9	28.2			
F49	7.4	36.5243	134.8006	2.4	15.0	81	60	264	21.1	14.5	87	1268	3.56
		36.5547	135.0374			47	60	145	36.3	14.5			
		36.7748	135.3371			54	60	215	29.9	14.5			
F52	7.3	35.7951	136.0921	1.1	15.0	319	60	35	22.5	16.1	70	1133	3.34
		35.9418	135.9285			27	60	125	25.4	16.1			
		36.1493	136.0572			344	60	40	22.5	16.1			
F54	7.2	35.5833	135.0833	1.1	15.0	332	90	35	57.6	13.9	58	799	2.80
F55	7.5	35.7569	134.4138	1.1	15.0	261	60	215	69.0	16.0	95	1518	3.96
		36.6530	133.6580			249	60	215	25.8	16.0			

パラメータの出典：日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書 図表集 平成26年9月



図の出典：日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書 図表集 平成 26 年 9 月

図 1.1.1 津波断層モデルの位置

1.2 地表震度の算定方法

1.2.1 地表震度算定方法の選定

地震調査研究推進本部 地震調査委員会が公表している「全国地震動予測地図 手引・解説編 2017年版 平成29年(2017年)4月」(以下、「手引・解説2017」と称す。)では、地震動予測の基本的な考え方として、表1.2.1、図1.2.1に示す3つの震源モデルによる予測方法が提示されている。

また、「活用可能な情報の質・量や地震動予測結果の活用目的に応じて、震源特性や伝播特性をモデル化して扱う。」との記載がある。

表 1.2.1 震源モデルの用途、得られる結果、地震動予測における特徴

震源モデル	用途、得られる結果	地震動予測における特徴
不均質震源モデル	■用途 ・実際の地震の分析等に用いられる。	—
特性化震源モデル	■用途 ・詳細法による強震度予測に用いられる(詳細法の概要を図1.2.2に示す)。 ■得られる結果 ・ハイブリッド合成法による工学的基盤の地震動時刻歴と計測震度 ・震度増分を加えた地表の震度	・計算に時間が必要である。 ・強震動域等を詳細に表現できる。 ・最大震度以外に時刻波形が得られる(本想定では不必要)。
一様震源モデル	■用途 ・簡便法による強震度予測に用いられる(簡便法の概要を図1.2.2に示す)。 ■得られる結果 ・距離減衰式による工学的基盤の地震動最大震幅 ・表層地盤増幅率を乗じた地表の最大震幅と震度	・経験的手法であるため結果に信頼性が高い。 ・強震動生成域、断層破壊方向を表現できない。 ・最大震度が得られる。

本想定では出力結果として地表震度を求める必要があり、上記の地震動予測における特徴を踏まえ、以下の理由から一様震源モデルの簡便法による強震動予測を行う。

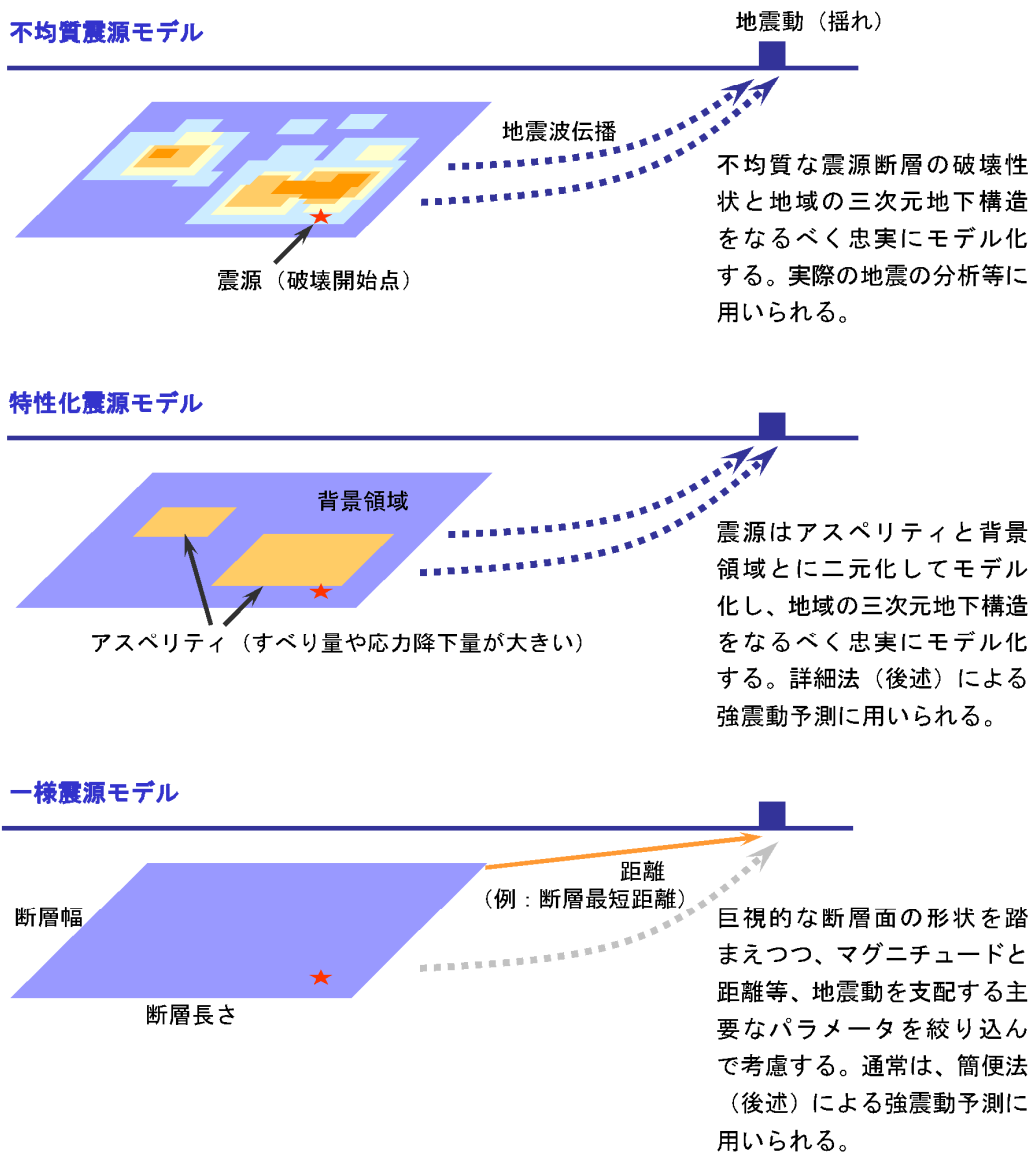
理由

- ・要求する出力結果(地表震度)を得ることができる。
- ・経験的手法であるため、結果の信頼性が高い。
- ・計算時間が短い(後工程の津波浸水計算の工程を圧迫しない)。

解説：地震動予測の基本的な考え方

複雑な震源断層破壊と地震波伝播の様々なモデル化

自然現象としての地震は複雑で、震源断層の三次元的な形状や破壊性状、三次元的に変化する地下構造の影響を受ける地震波の三次元的な伝播性状、表層地盤による増幅等の局所的な条件の影響により、地震動の性状は左右される。実際には、それらの活用可能な情報の質・量や地震動予測結果の活用目的に応じて、震源特性や伝播特性をモデル化して扱う。



出典：全国地震動予測地図 手引・解説編 2017年版 平成29年(2017年)4月

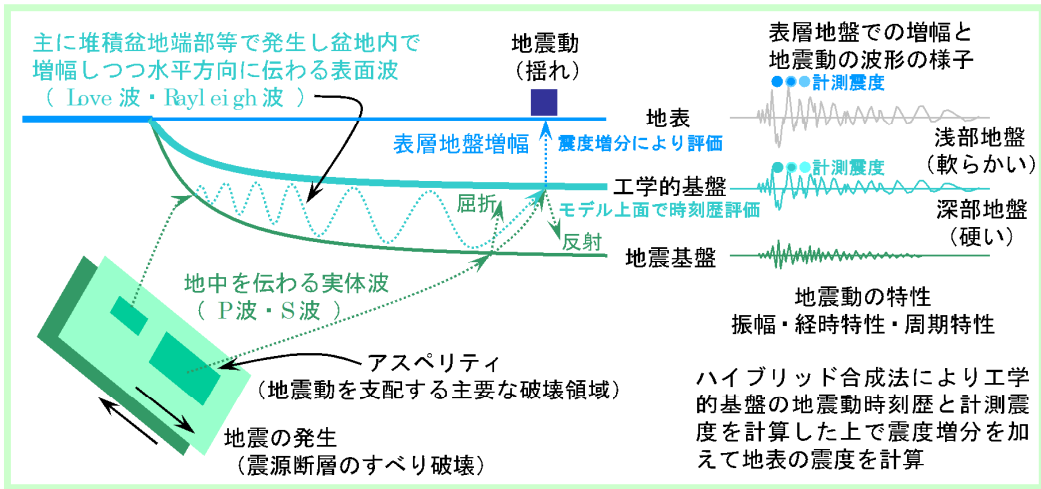
図 1.2.1 地震動予測の基本的な考え方

解説：地震動予測の基本的な考え方

ハイブリッド合成法に基づく「詳細法」と距離減衰式に基づく「簡便法」

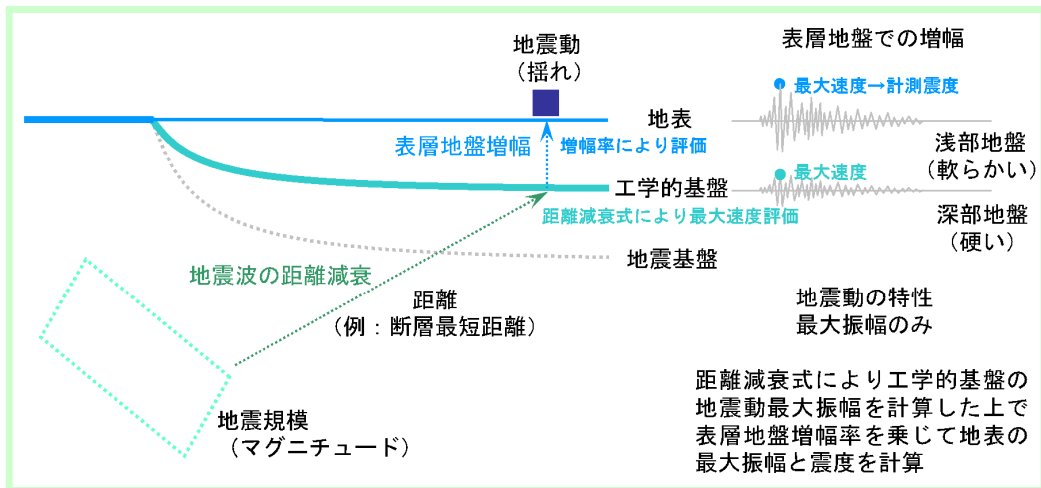
全国地震動予測地図で用いられている地震動予測手法は、ハイブリッド合成法に基づく「詳細法」と距離減衰式に基づく「簡便法」とに大別される。

詳細法では、三次元的な形状とそこでの破壊伝播を考慮し得る震源断層モデルを用いて、差分法により長周期地震動を計算し、統計的グリーン関数法により短周期地震動を計算し、マッチングフィルタを介して両者を合成して広帯域地震動の時刻歴を予測する。このとき、差分法では三次元的な形状とそこでの波動伝播を考慮し得る地下構造モデルを用い、統計的グリーン関数法では水平成層構造を仮定した一次元地下構造モデルを用いる。



ハイブリッド合成法に基づく「詳細法」による地震動予測の概要

簡便法では、地震規模 (マグニチュード) と距離 (例えば断層最短距離等) を与え、距離減衰式により地震動の最大振幅を計算する。



距離減衰式に基づく「簡便法」による地震動予測の概要

出典：全国地震動予測地図 手引・解説編 2017年版 平成29年(2017年)4月

図 1.2.2 詳細法と簡便法による地震動予測の概要

1.2.2 簡便法の概要

地震調査研究推進本部 地震調査委員会が公表している「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」) 平成 28 年(2016 年)6 月(12 月修正版)」(以下、「レシピ 2016」と称す。)では、簡便法による地震動の予測手法が掲載されている。

本業務では、レシピ 2016 を参照して地表震度の算定を行う。

(1) 工学的基盤上面までの計算方法

震源から工学的基盤までの最短距離と地震のモーメントマグニチュードから、距離減衰式を用いて工学的基盤面における最大速度 PGV_b を求める。距離減衰式としては、司・翠川(1999)による経験式がよく用いられており、これを適用する。

$$\log PGV_b = 0.58M_w + 0.0038D - 1.29 - \log(X + 0.0028 \cdot 10^{0.50M_w}) - 0.002X$$

PGV_b : 工学的基盤上面の最大速度 (cm/s)

M_w : モーメントマグニチュード $M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$ (Kanamori, 1977)

D : 震源深さ(km)

X : 断層最短距離(km)

(2) 地表面までの計算方法

工学的基盤における最大速度 PGV_b に微地形区分から想定される増幅率 amp を掛け合わせることで地表の最大速度 PGV を算出する。

1) 増幅率 amp

工学的基盤から地表への最大速度の増幅率 amp については、表層 30m の平均 S 波速度 $AVS30$ との相関性が認められる。そこで、次式を用いて、 $AVS30$ から最大速度の増幅率 amp を算出する(藤本・翠川、2006)。

$$\log(amp) = 2.367 - 0.852 \cdot \log AVS30 \pm 0.166 \quad (100 < AVS30 < 1500)$$

amp : 平均S波速度600m/sの工学的基盤を基準とした最大速度増幅率

$AVS30$ については、国立研究開発法人 防災科学技術研究所がインターネットで提供している「J-SHIS 地震ハザードステーション」から 250m メッシュデータのダウンロードが可能である。

2) 地表震度 I

地表震度 I は、以下の手順で算定する。

工学的基盤における最大速度 PGV_b の値に前述の最大速度の増幅率 amp を掛け合わせることで地表の最大速度 PGV を算出する。

$$PGV = amp \cdot PGV_b$$

PGV_b : 工学的基盤上面の最大速度 (cm/s)

amp : 平均S波速度600m/sの工学的基盤を基準とした最大速度増幅率

地表の最大速度 PGV を「最大速度と計測震度の関係式」(藤本・翠川、2005)に代入し、地表の震度 I を求める。

$$I = 2.002 + 2.603 \cdot \log(PGV) - 0.213 \cdot \{\log(PGV)\}^2 \quad (4 \leq I)$$

$$I = 2.165 + 2.262 \cdot \log(PGV) \quad (I < 4)$$

1.3 地表震度の算定

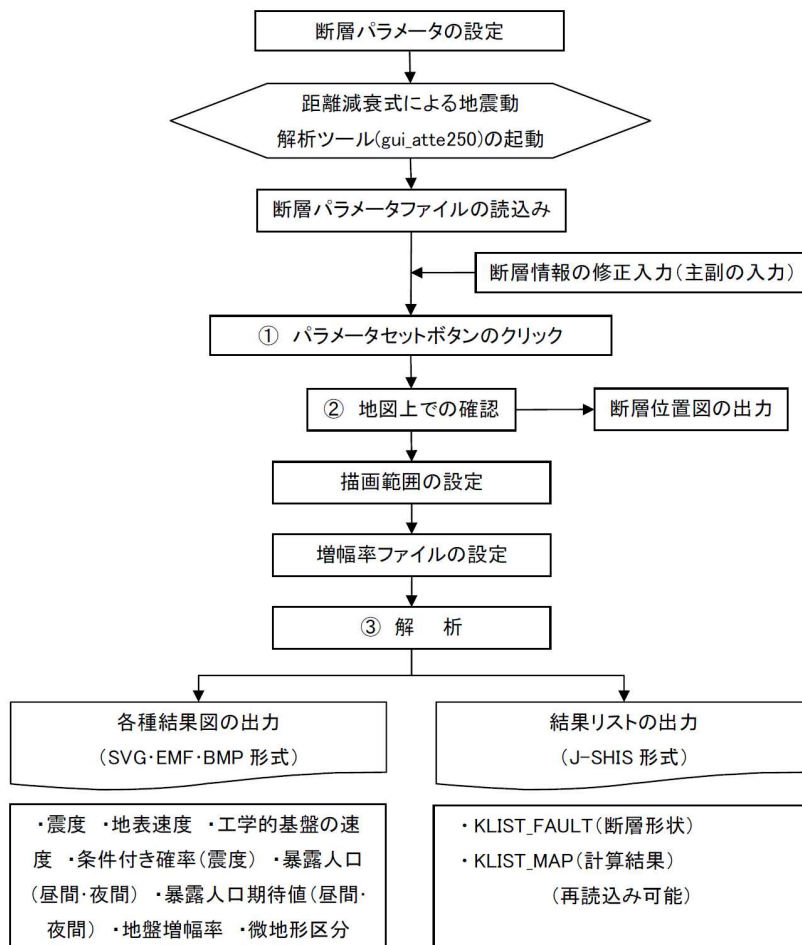
1.3.1 地表震度算定ツールの概要

地表震度の算定は、「防災科学技術研究所研究資料 第 354 号 地震動予測地図作成ツールの開発 2011 年 5 月」で公表、配付されている距離減衰式による地震動予測ツールを用いて行う。

本ツールは、断層パラメータおよび増幅率を入力条件として設定することで、地表震度を比較的簡単に短時間で算定することが可能なツールである。以下に本ツールの概要を示す。

(1) 解析の流れ

本ツールの解析フローを図 1.3.1 に示す。増幅率ファイルは、配付された本ツールに格納されている。



出典：防災科学技術研究所研究資料 第 354 号 地震動予測地図作成ツールの開発 2011 年 5 月

図 1.3.1 解析のフロー

(2) 断層パラメータの読込

本ツールでは矩形断層、点震源の2種類の断層パラメータを読み込むことができる。本業務では、矩形断層として断層パラメータを設定し、モーメントマグニチュード、断層面数、断層原点、断層モデル上端深さ、断層長さ、断層幅、strike角、dip角の諸元を入力する。本ツールの入力画面イメージを図 1.3.2 に示す。

	断層原点 (経度/日本測地系)	断層原点 (緯度/日本測地系)	断層モデル 上端深さ(GL-km)	断層長さ (km)	断層幅 (km)	strike角 (°)	dip角 (°)	主
1	139.4917	35.5517	3	32	18.7	62	30	0

出典：防災科学技術研究所研究資料 第354号 地震動予測地図作成ツールの開発 2011年5月

図 1.3.2 断層パラメータ等の読込画面イメージ

(3) メッシュサイズの選択

地表震度等については1kmメッシュ、250mメッシュの2種類のメッシュサイズで計算することが可能であり、選択できるようになっている(図 1.3.2 参照)。

(4) 解析で用いる計算式

本ツールの解析で用いる計算式を以下に示す。増幅率と計測震度の計算は、新式、旧式の2種類の計算式で行うことが可能であり、選択できるようになっている(図 1.3.2 参照)。

■Vs=600(m/s)における最大速度の計算

司・翠川(1999)²⁾の式、

$$\log PGV = 0.58M_{\text{F}} + 0.0038D + \begin{pmatrix} 0.00(CRUSTAL) \\ -0.02(INTRA) \\ 0.12(INTER) \end{pmatrix} - 1.29 - \log(X + 0.0028 \cdot 10^{0.50M_{\text{F}}}) - 0.002X$$

■増幅率の計算

【新式】

藤本・翠川(2006)の式より、増幅率 R を計算する。

$$\log R = 2.367 - 0.852 \log AVS_{30}$$

【旧式】

松岡・翠川(1994)の式より、増幅率 R を計算する。

$$\log R = 1.83 - 0.66 \log AVS_{30}$$

■計測震度の計算

【新式】

藤本・翠川(2005)の式より、計測震度を計算する。

$$I = 2.002 + 2.603 \cdot \log(PGV) - 0.213 \cdot \{\log(PGV)\}^2 \pm 0.344$$

【旧式】

翠川・他(1999)から、計測震度を計算する。

$$I = 2.68 + 1.72 \cdot \log(PGV) \pm 0.21$$

出典：防災科学技術研究所研究資料 第354号 地震動予測地図作成ツールの開発 2011年5月

1.3.2 算定条件

本業務における地表震度の算定条件を以下に示す。

(1) 断層パラメータ

5 津波断層の入力条件(断層パラメータ)を表 1.3.1 に示す。

表 1.3.1 対象断層の津波断層パラメータ(再掲)

津波断層 モデルNo	Mw	緯度	経度	上端深さ	下端深さ	走向	傾斜	すべり角	断層 長さ	断層 幅	合計断層 長さ	合計断層 面積	平均 すべり量
		(度)	(度)	(km, TP-)	(km, TP-)	(度)	(度)	(度)	(km)	(km)	(km)	(km ²)	(m)
F24	7.9	40.1054	138.9259	3.9	18.0	21	30	74	53.7	28.2	132	3717	6.00
		40.5641	139.1542			349	30	80	77.9	28.2			
F49	7.4	36.5243	134.8006	2.4	15.0	81	60	264	21.1	14.5	87	1268	3.56
		36.5547	135.0374			47	60	145	36.3	14.5			
		36.7748	135.3371			54	60	215	29.9	14.5			
F52	7.3	35.7951	136.0921	1.1	15.0	319	60	35	22.5	16.1	70	1133	3.34
		35.9418	135.9285			27	60	125	25.4	16.1			
		36.1493	136.0572			344	60	40	22.5	16.1			
F54	7.2	35.5833	135.0833	1.1	15.0	332	90	35	57.6	13.9	58	799	2.80
F55	7.5	35.7569	134.4138	1.1	15.0	261	60	215	69.0	16.0	95	1518	3.96
		36.6530	133.6580			249	60	215	25.8	16.0			

赤枠のパラメータを入力条件として設定。走行は strike 角、傾斜は dip 角へ入力。

(2) メッシュサイズ

250m メッシュサイズで兵庫県域内の地表震度の算定を実施する。

(3) 計算式

増幅率、計測震度とも、新式を用いて算定を行う。

1.3.3 地表震度の算定結果

(1) 地表震度の算定結果

各津波断層の地表震度の算定結果を図 1.3.3～図 1.3.12 に示す。

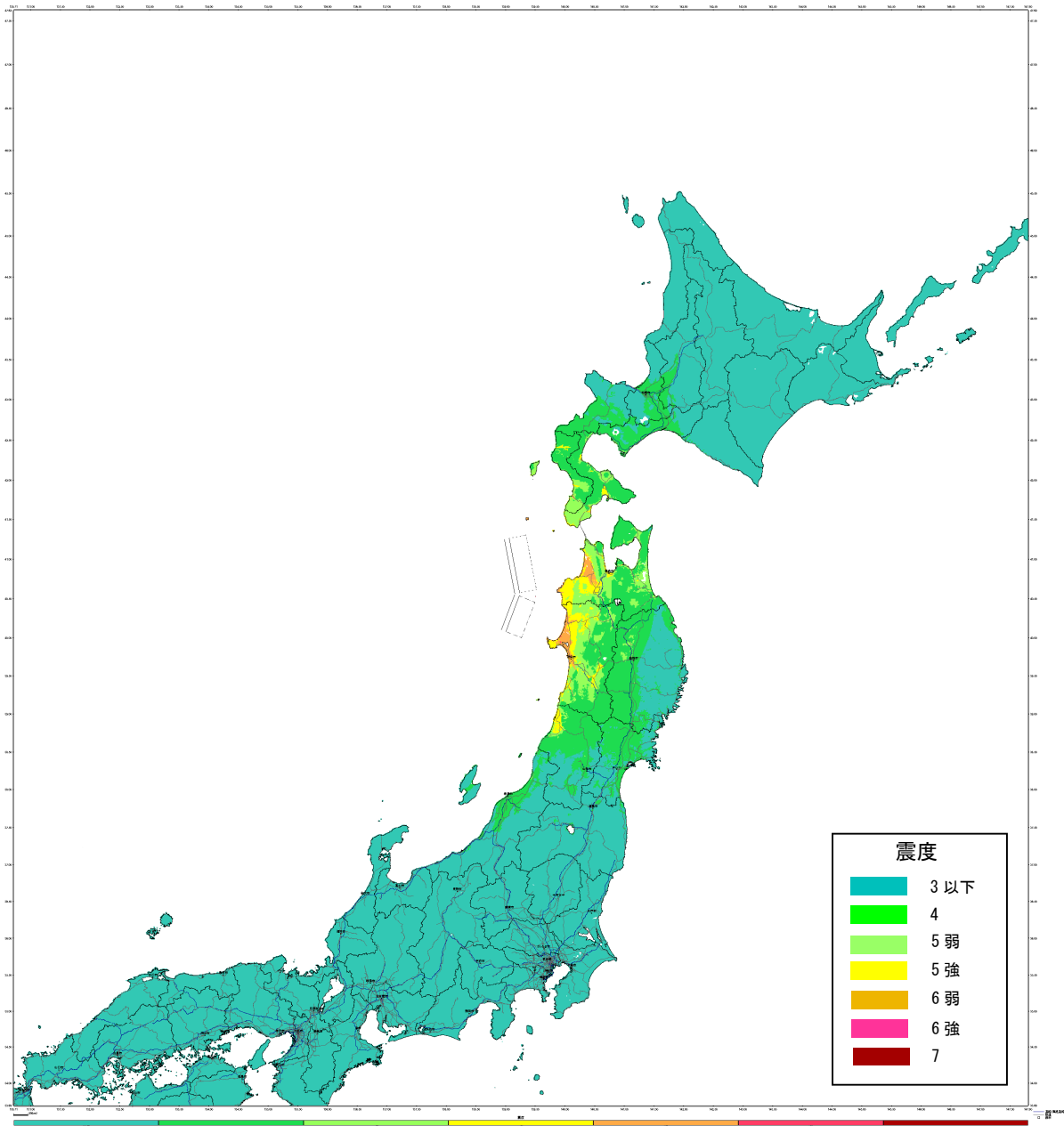


図 1.3.3 地表震度の算定結果(F24 断層、1km メッシュで広域を計算)

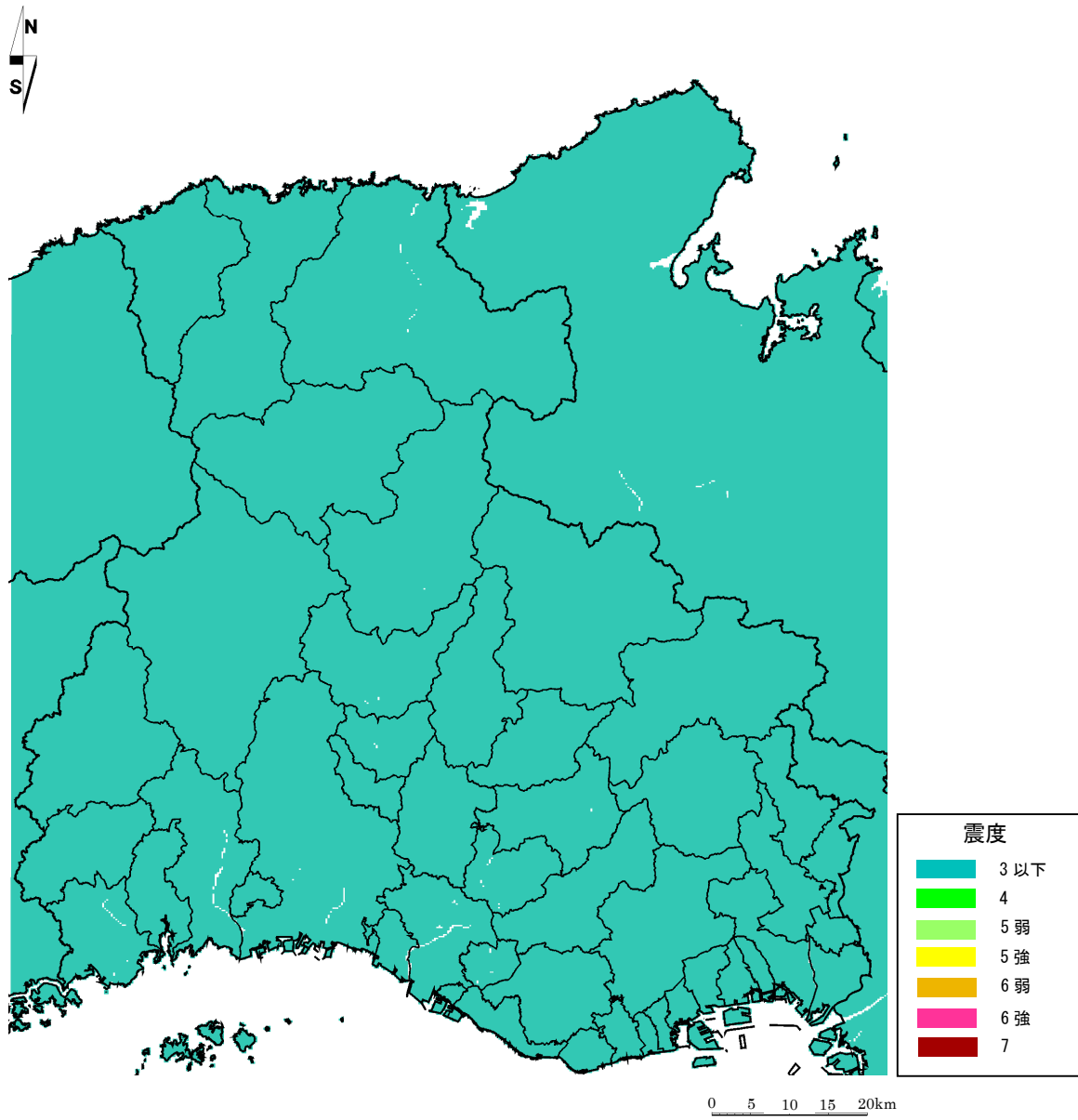


図 1.3.4 地表震度の算定結果(F24 断層、250m メッシュで兵庫県域を計算)

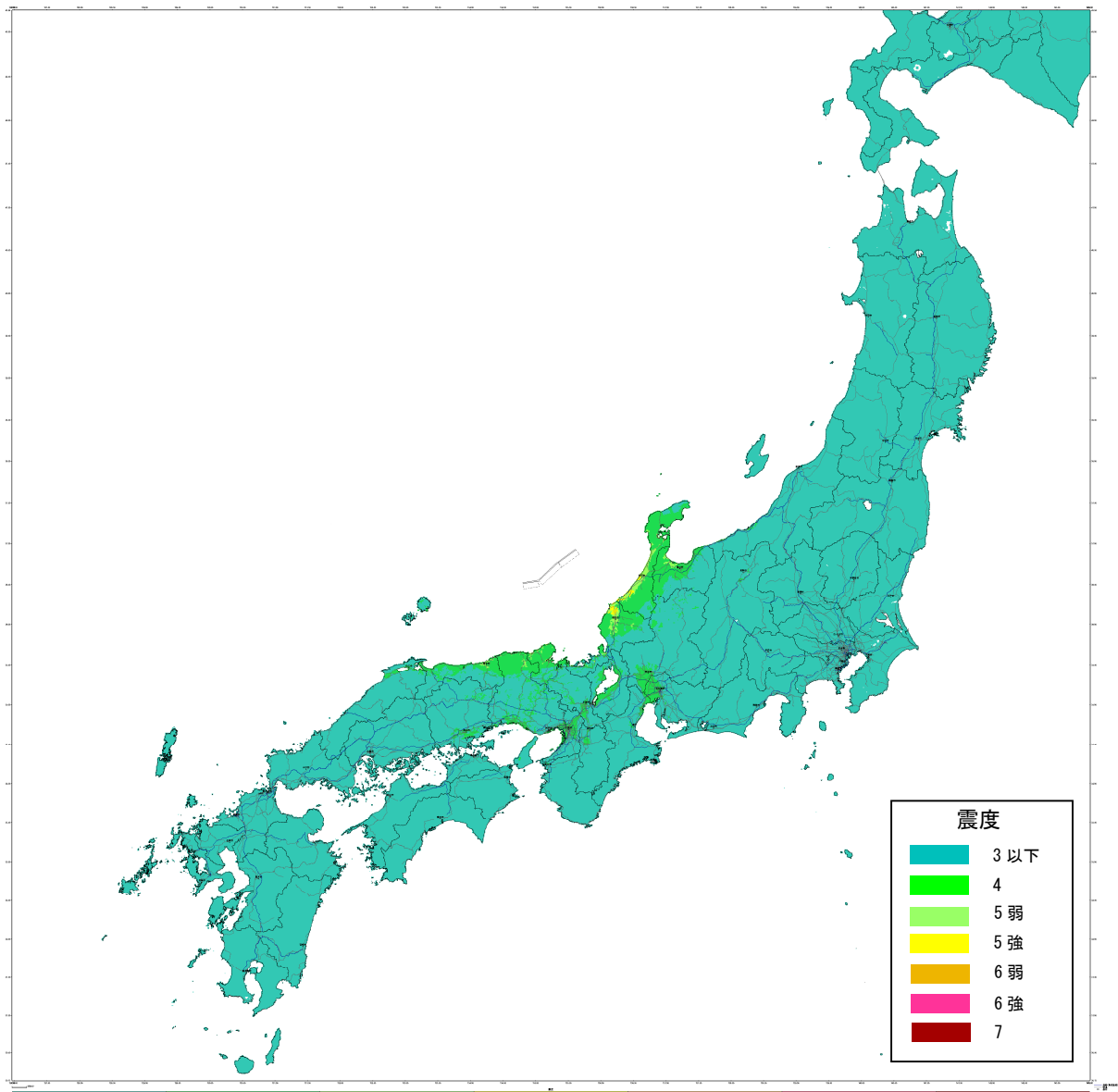


図 1.3.5 地表震度の算定結果(F49断層、1kmメッシュで広域を計算)

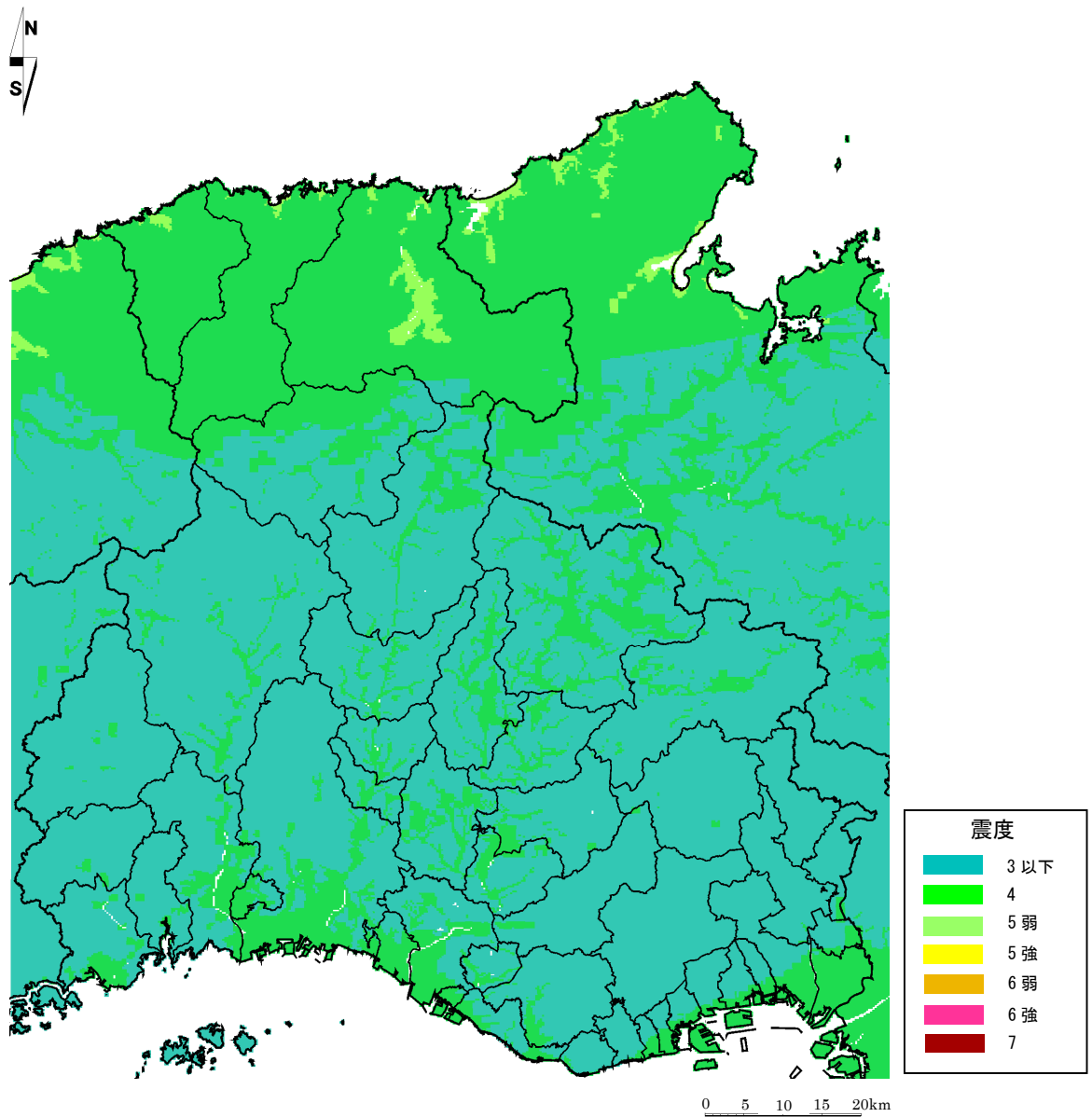


図 1.3.6 地表震度の算定結果(F49 断層、250m メッシュで兵庫県域を計算)

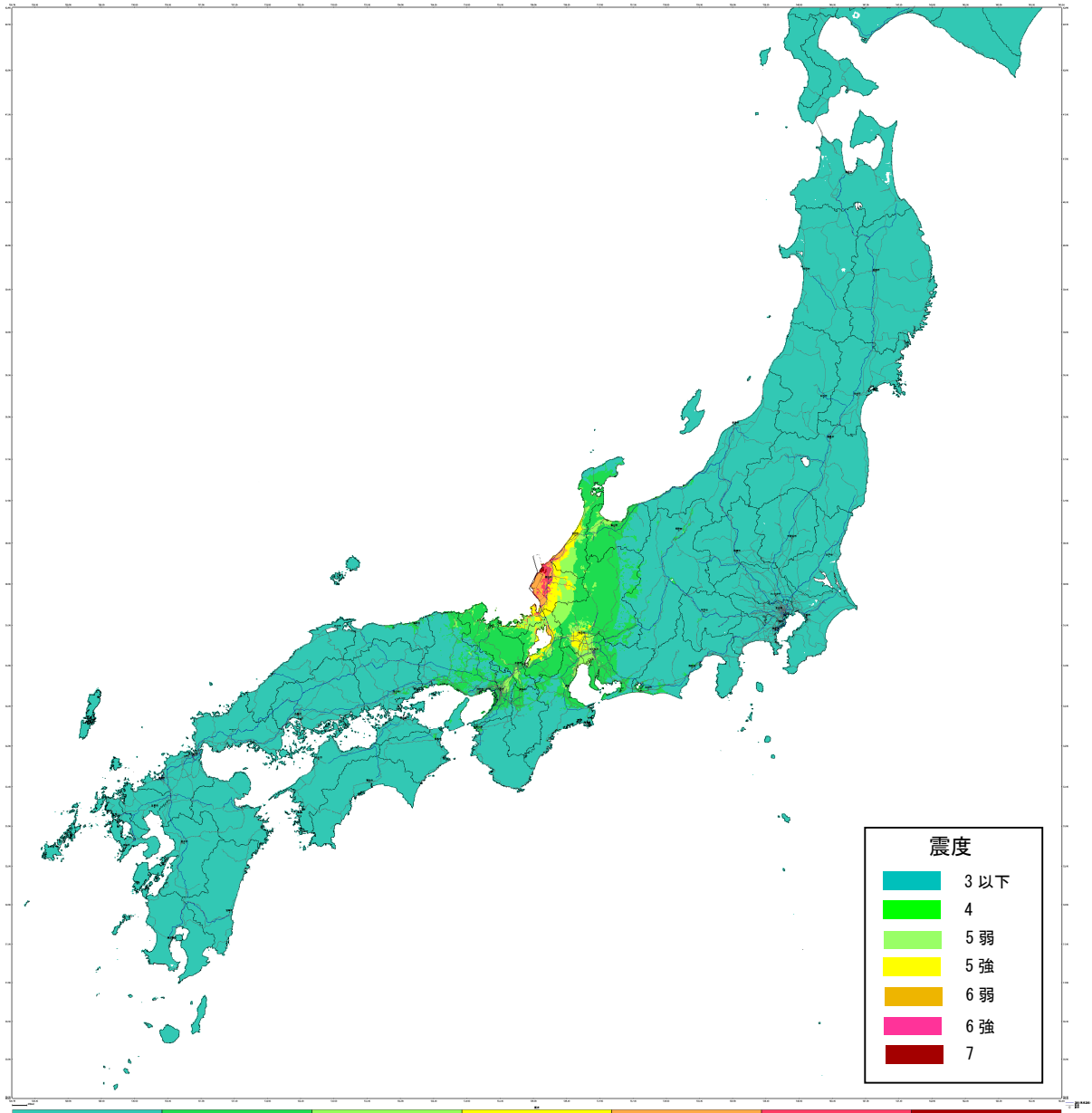


図 1.3.7 地表震度の算定結果(F52 断層、1km メッシュで広域を計算)

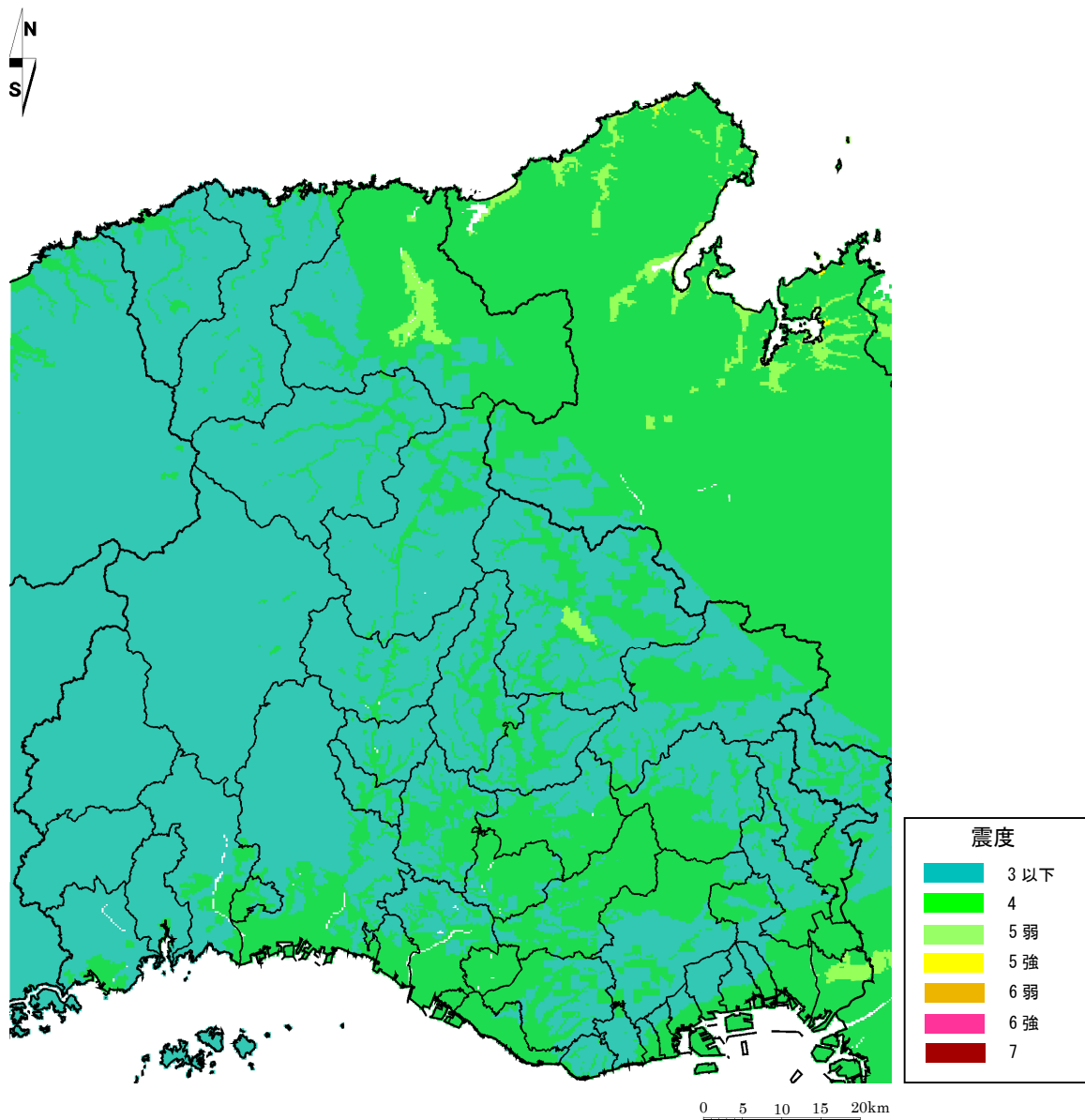


図 1.3.8 地表震度の算定結果(F52 断層、250m メッシュで兵庫県域を計算)

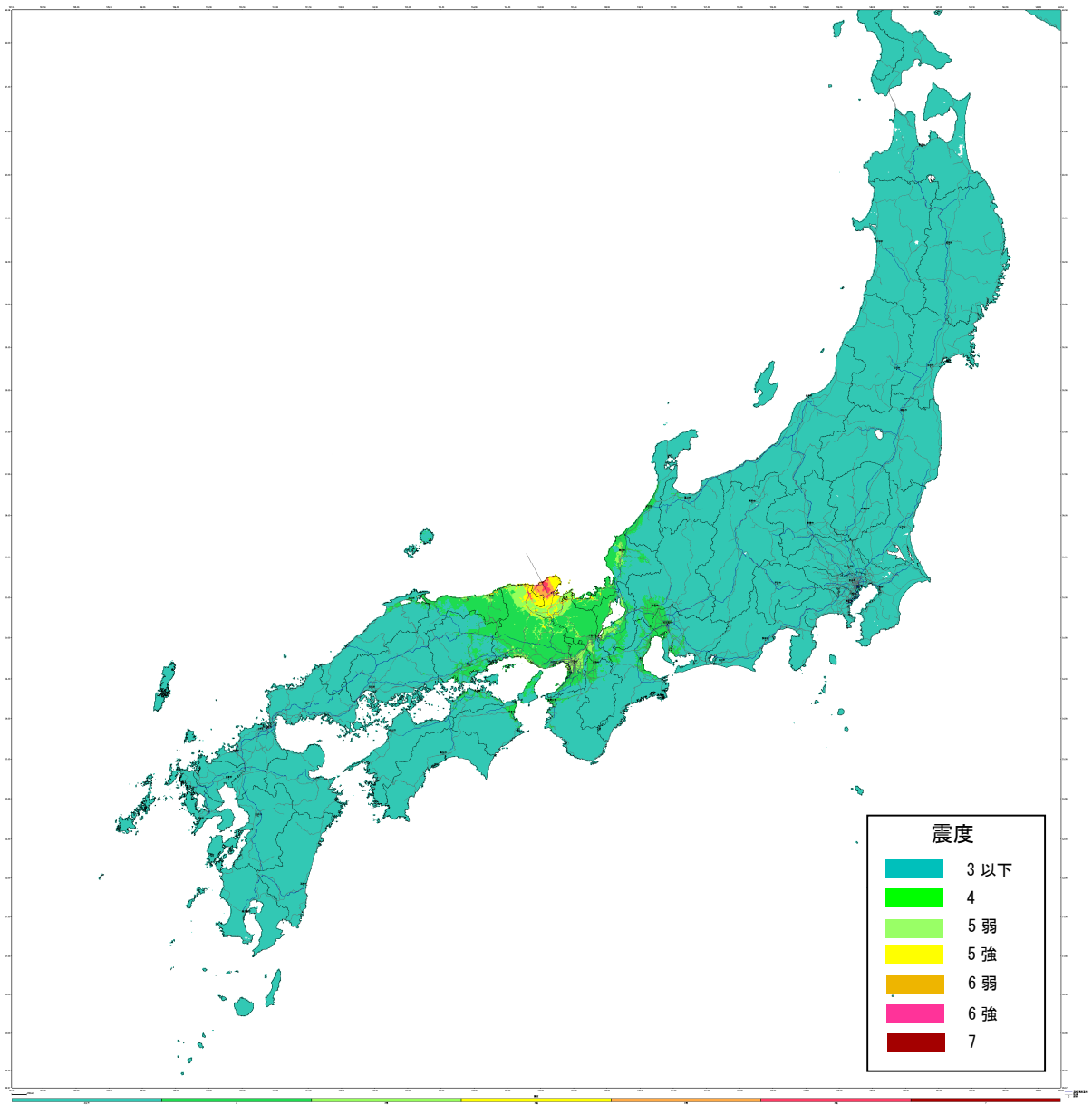


図 1.3.9 地表震度の算定結果(F54 断層、1km メッシュで広域を計算)

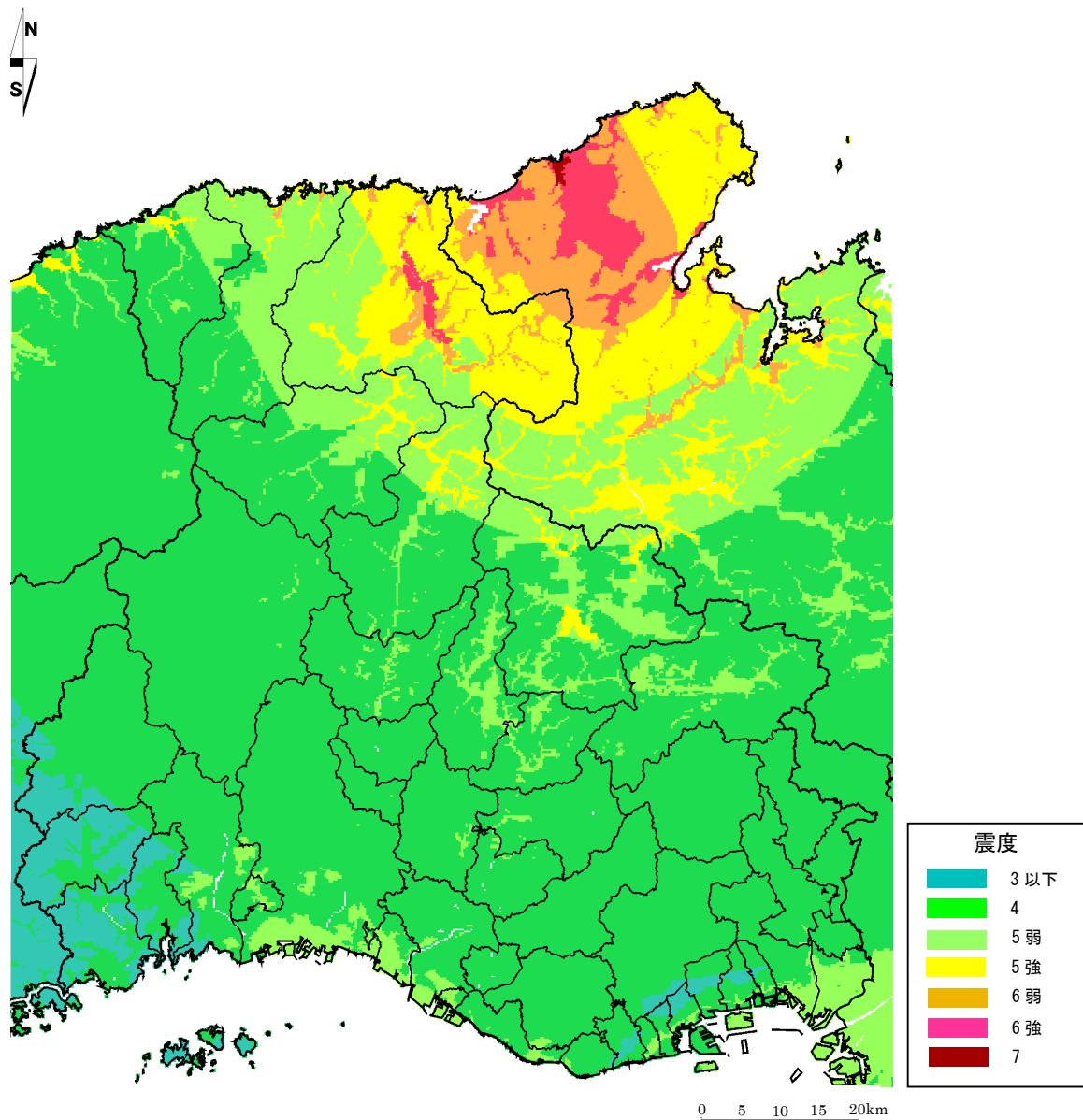


図 1.3.10 地表震度の算定結果(F54 断層、250m メッシュで兵庫県域を計算)

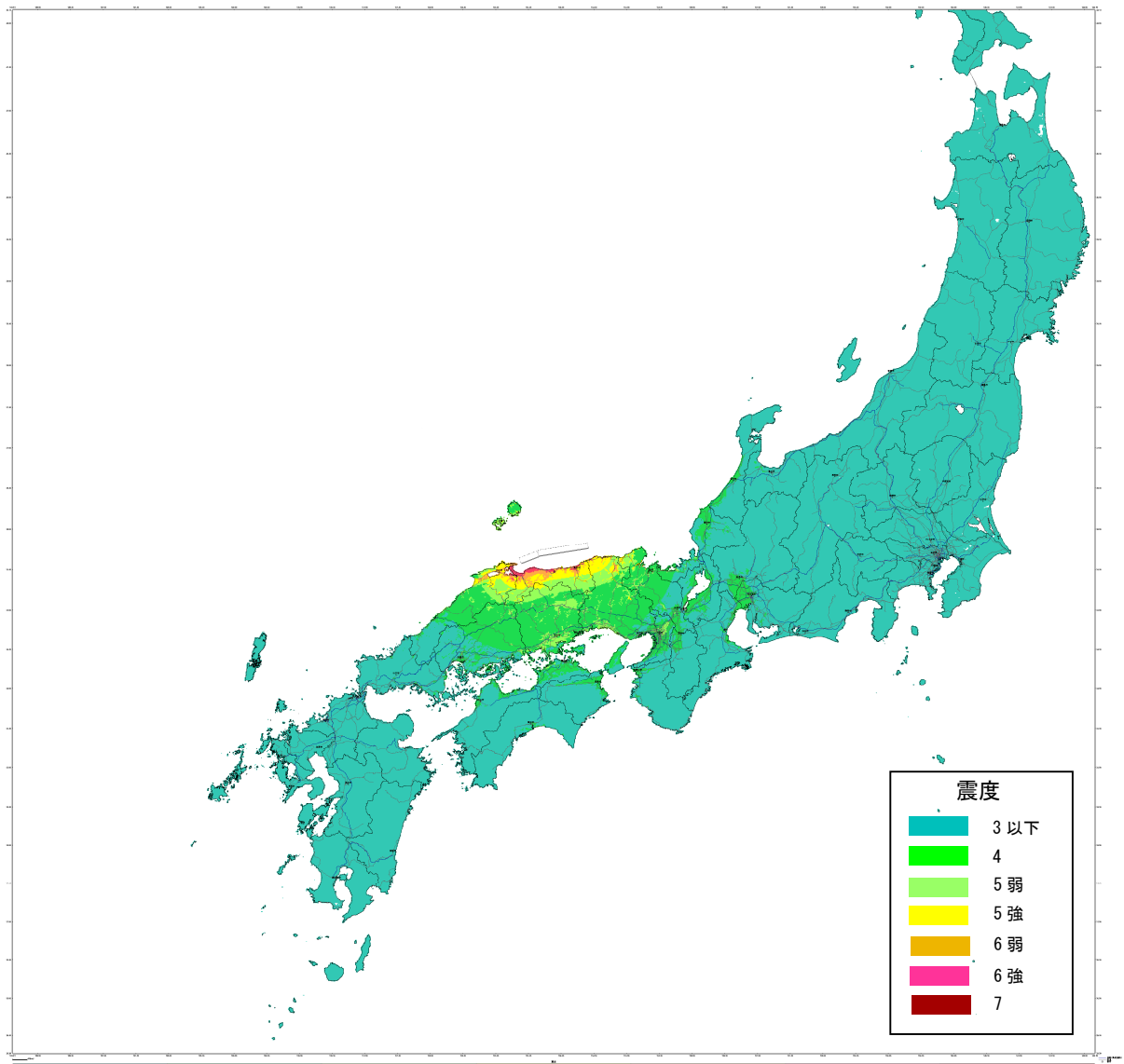


図 1.3.11 地表震度の算定結果(F55 断層、1km メッシュで広域を計算)

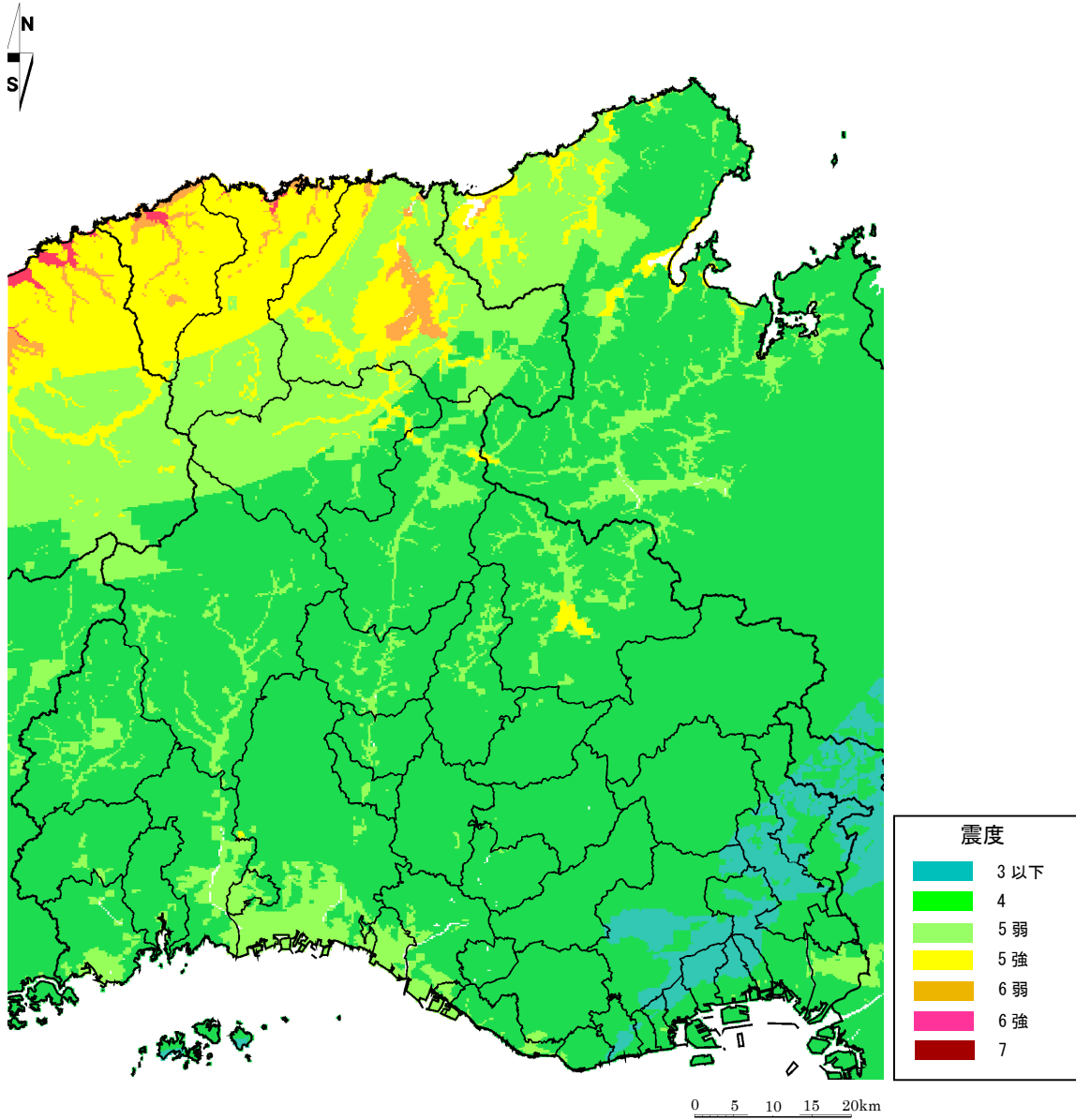


図 1.3.12 地表震度の算定結果(F55 断層、250m メッシュで兵庫県域を計算)

(2) 京都府の震度予測結果との比較

京都府が公開している「第2回京都府津波浸水想定検討委員会 資料4 震度の想定について」をもとに、京都府の断層最短距離を用いた距離減衰式による震度予測結果との比較を行う。京都府の震度予測結果が存在する F24、F49、F52、F54 の4断層について比較した結果を図 1.3.13～図 1.3.16 に示す。

F24、F49、F52 の3断層については、京都府の震度予測結果とほぼよく似た震度分布となっている。F54断層についても、震源に近い京丹後市、宮津市、伊根町で若干違いが見られるものの、日本海に近い兵庫県境付近では震度5強と同様であり、概ね京都府の震度予測結果とよく似た震度分布となっている。

(3) 地表震度のまとめ

各断層の新温泉町、香美町、豊岡市における地表震度について、表 1.3.2 に整理する。

表 1.3.2 各市町における地表震度のまとめ

市町	断層				
	F24	F49	F52	F54	F55
新温泉町	全域で震度3以下	全域で震度4以上	ほぼ全域で震度3以下、沿岸部や河川沿い等の地域で震度4以上	全域で震度4以上	全域で震度4以上
香美町	全域で震度3以下	全域で震度4以上	ほぼ全域で震度3以下、沿岸部や河川沿い等の地域で震度4以上	全域で震度4以上	全域で震度4以上
豊岡市	全域で震度3以下	南部の一部地域を除いて震度4以上	中心から東部にかけて震度4以上	全域で震度4以上	全域で震度4以上

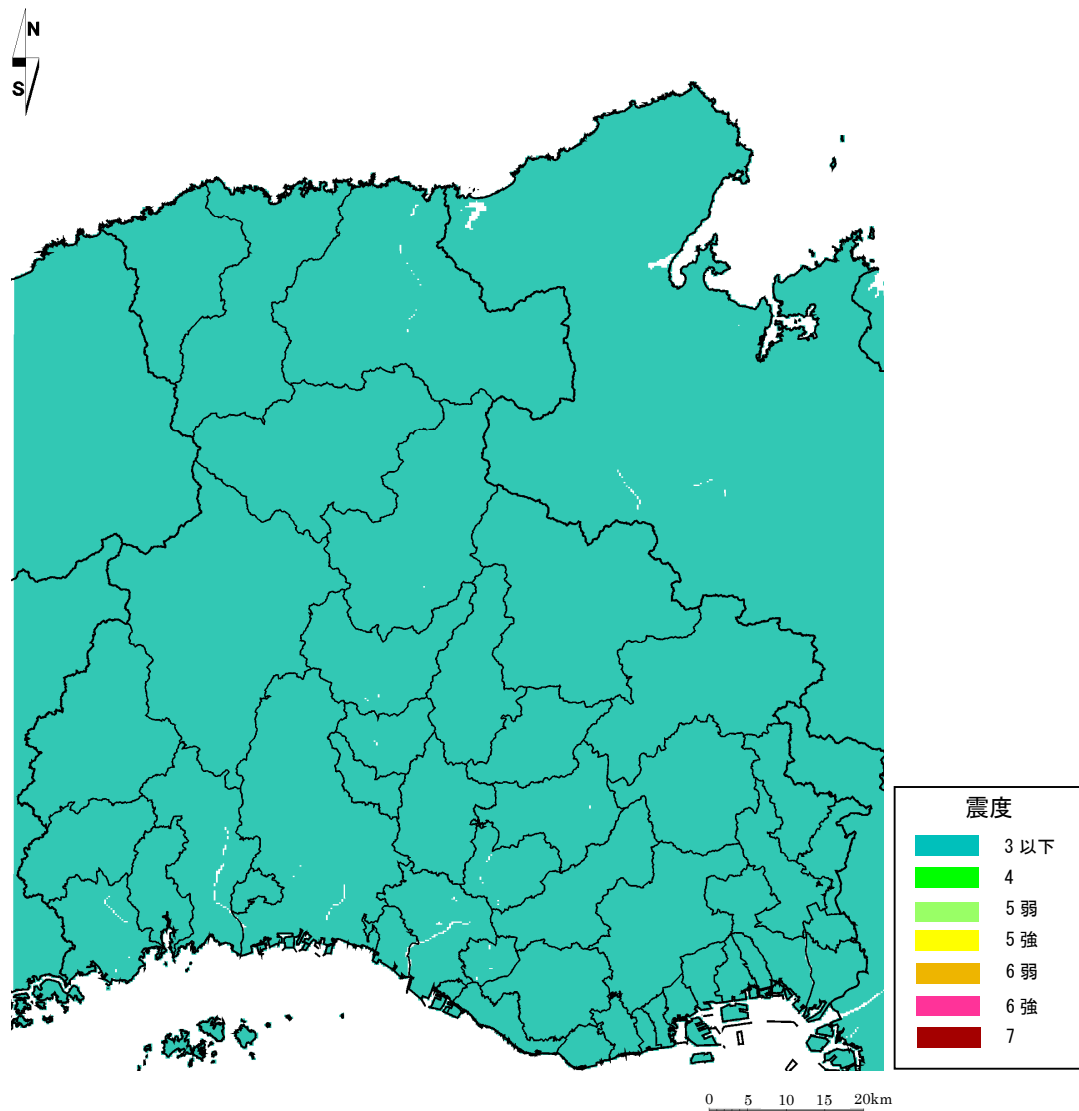
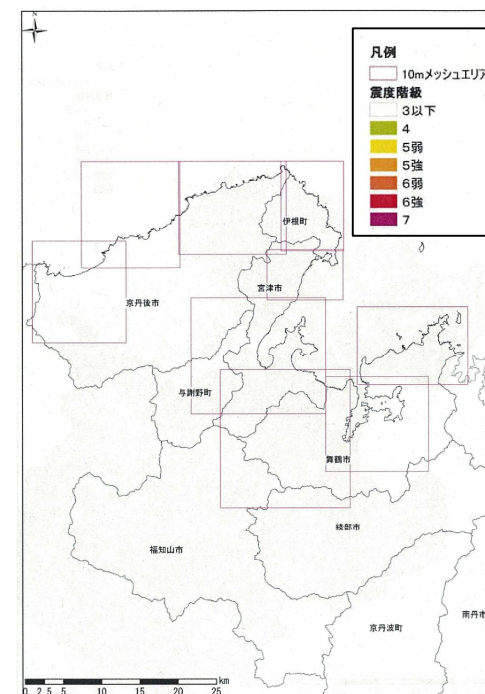


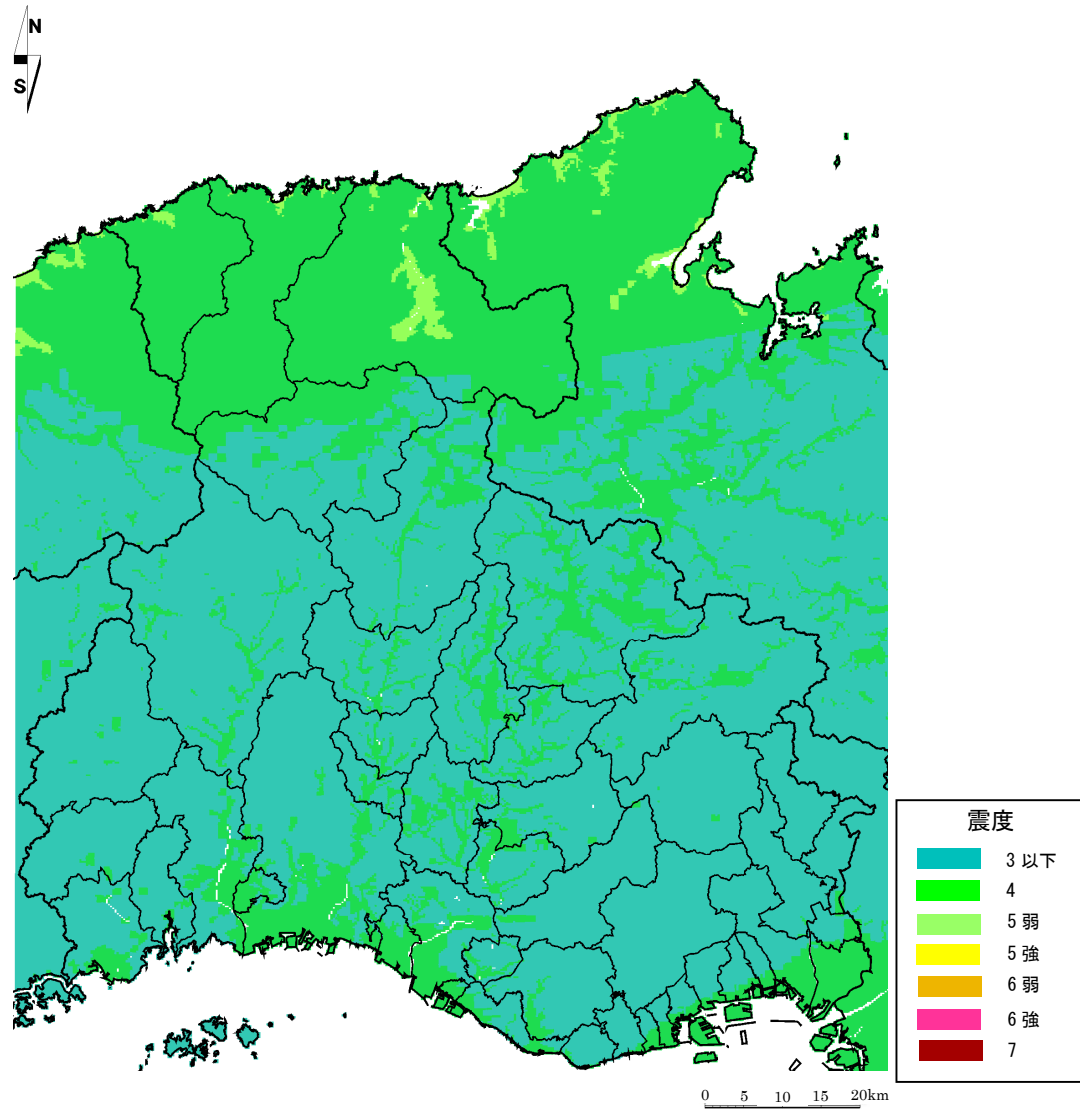
図 1.3.13 地表震度の算定結果の比較(F24 断層)

京都府の震度予測結果

(断層最短距離を用いた距離減衰式)

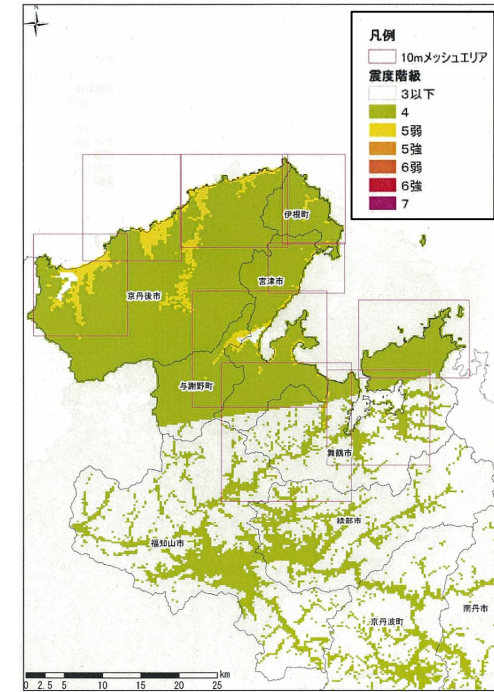


出典：第2回京都府津波浸水想定検討委員会
資料4 震度の想定について



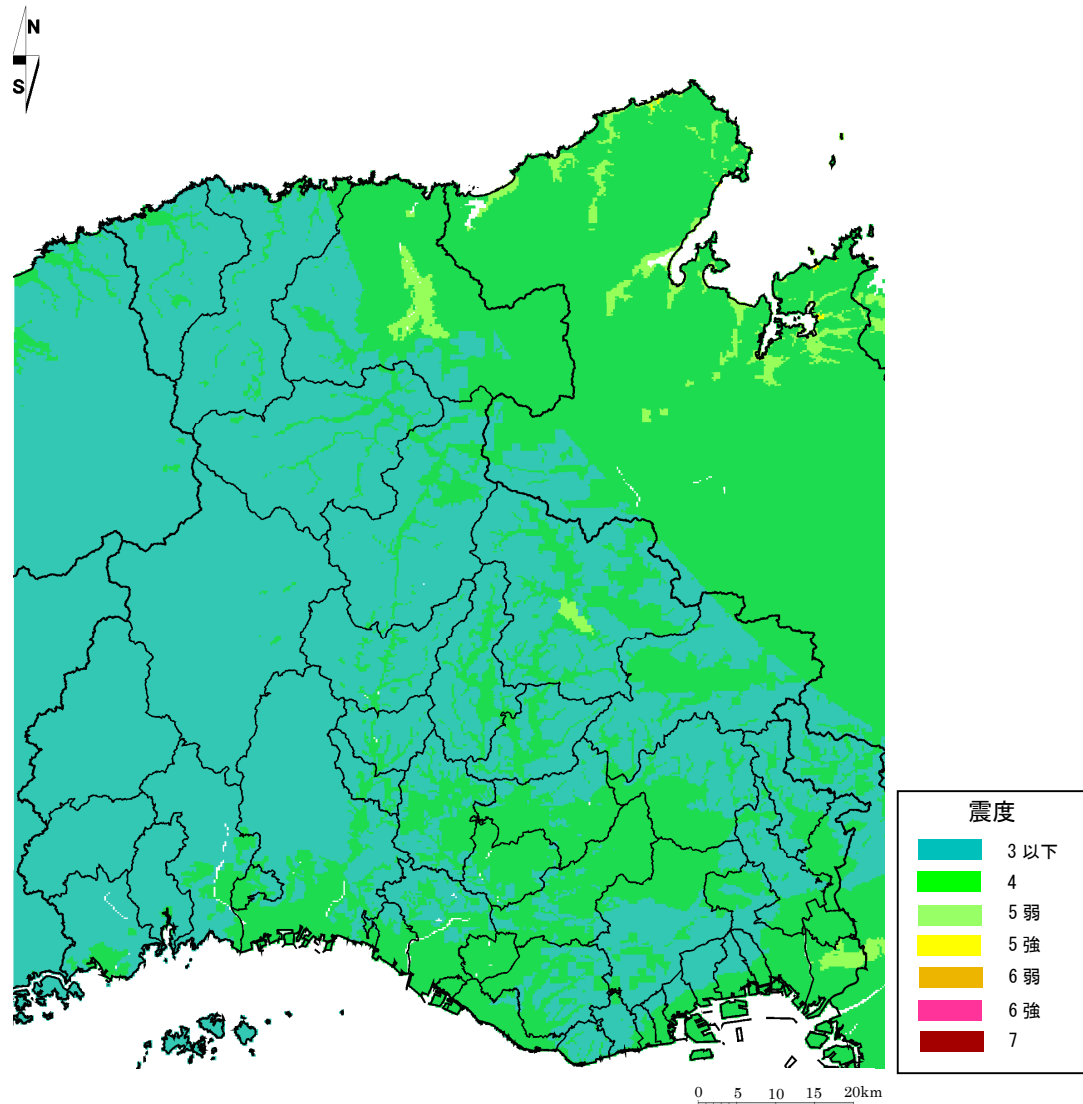
京都府の震度予測結果

(断層最短距離を用いた距離減衰式)



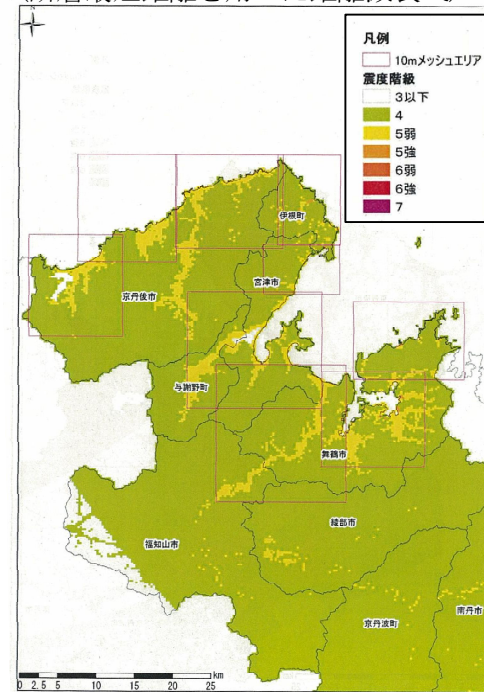
出典：第2回京都府津波浸水想定検討委員会
資料4 震度の想定について

図 1.3.14 地表震度の算定結果の比較(F49断層)



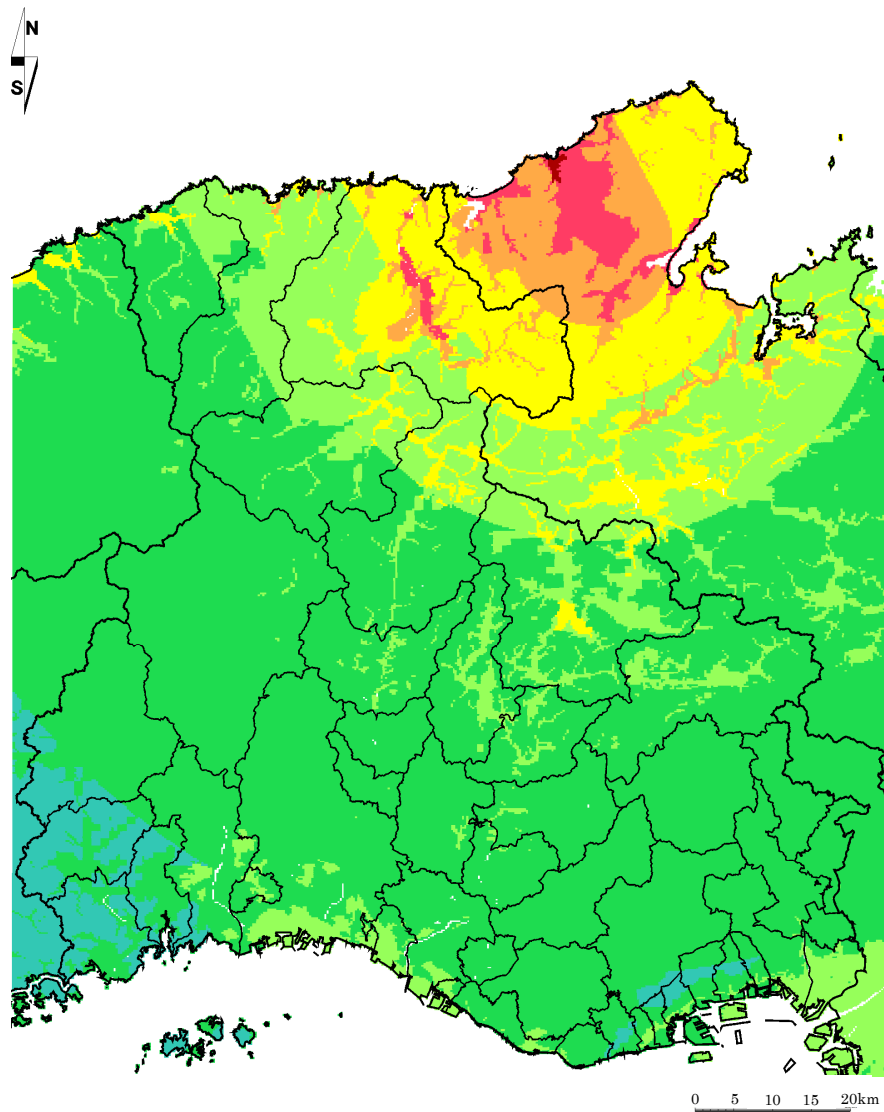
京都府の震度予測結果

(断層最短距離を用いた距離減衰式)



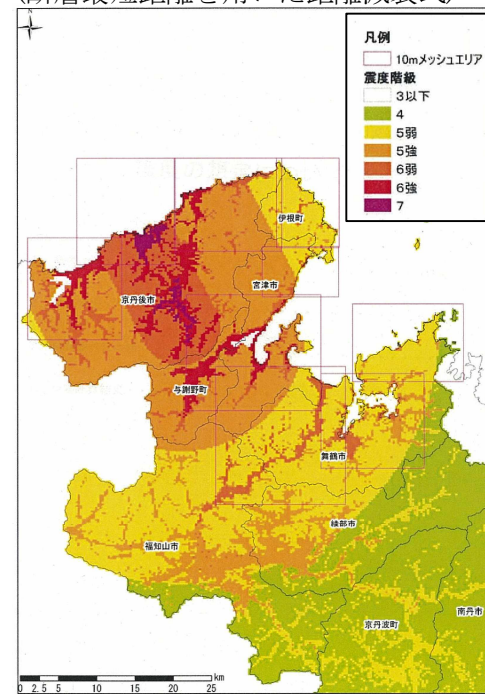
出典：第2回京都府津波浸水想定検討委員会
資料4 震度の想定について

図 1.3.15 地表震度の算定結果の比較(F52 断層)



京都府の震度予測結果

(断層最短距離を用いた距離減衰式)



出典：第2回京都府津波浸水想定検討委員会
資料4 震度の想定について

図 1.3.16 地表震度の算定結果の比較(F54 断層)
