

2011/12/21

小堀鐸二研究所

長周期の揺れの尺度の検討

(1) 概要

長周期地震動の揺れに対する尺度としては、タンクのスロッシングなどのように固有周期で揺れるものについては、その周期に対する速度応答スペクトルが通常用いられる。一方、人間に対する揺れの尺度として震度がよく用いられている。ここでは、長周期帯域の体感（行動難度、不安度）の評価曲線を参考に、計測震度を算定する際に用いられるフィルタの振動数帯域を長周期側に変更したものを「長周期震度」として定義し、長周期の揺れの尺度として検討を行った。

(2) 長周期域での体感の周期特性について

長周期の揺れに対する行動難度および不安度に関する評価曲線について、被験者を振動台に載せた実験に基づいて求めた例を図1および図2に示す。長周期域では行動の難易度は概ね速度に比例して高くなり、また同じ速度でも周期が長くなる程低下していくという結果が得られている。これは、振幅については対数的な感度で、周期に対しては速度と加速度の中間的な特性となっている。これは計測震度を求める際に使われているフィルタの特性に近い。計測震度は長周期成分を除いて求められているが、ここでは逆に長周期成分を抽出して評価を行うこととする。

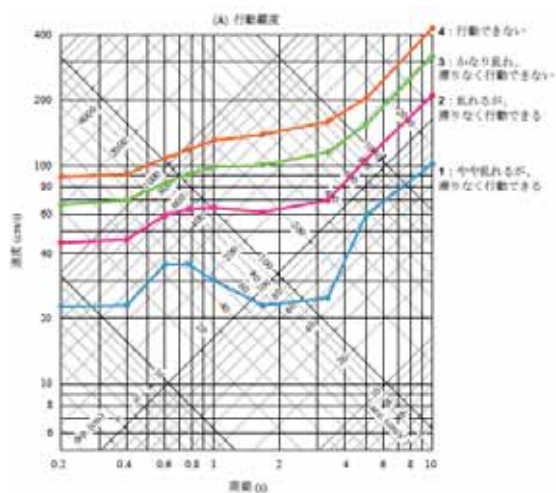


図3 単調加振に対する行動難度の評価曲線（平均値）

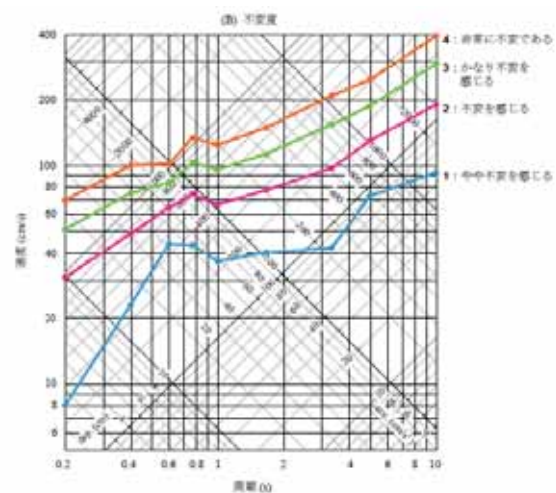


図4 単調加振に対する不安度の評価曲線（平均値）

図1 振動台に載せた被験者のアンケートに基づいて評価した揺れに対する評価曲線（高橋・他：長周期地震動を考慮した人間の避難行動限界評価曲線の提案、2007年 AIJ 大会）

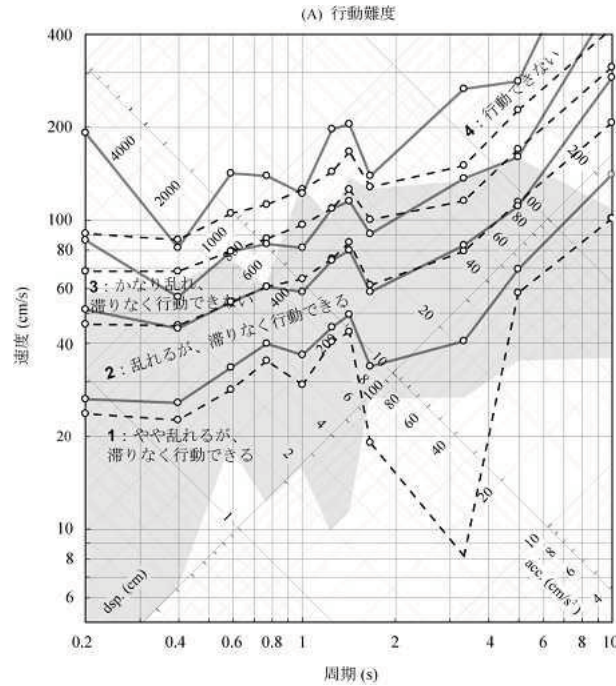


図2 行動難度についての床応答の評価曲線（鈴木・他：避難行動限界の周波数特性に関する研究、2009年 AIJ 大会）

(3) 震度の算定方法

計測震度は以下の手順で算定される。長周期震度についてもパラメータの値を変えて計測震度と同じ手順で算定する。

- 各成分の加速度記録をフーリエ変換し、スペクトルを計算する。
- 計算したスペクトルに次の三種類のフィルタを掛ける。

(ア) 周期に関係したフィルタ

$$(k/f)^{1/2} \quad (1)$$

(イ) ハイカットフィルタ

$$\left(1 + 0.694X^2 + 0.241X^4 + 0.0557X^6 + 0.009664X^8 + 0.00134X^{10} + 0.000155X^{12}\right)^{-1/2}$$

$$\text{ここで、} X = f/f_c \quad (2)$$

(ウ) ローカットフィルタ

$$\left(1 - \exp\left(-\left(f/f_0\right)^3\right)\right)^{1/2} \quad (3)$$

- フィルタを掛けたスペクトルを逆フーリエ変換し、加速度波形を求める。
- 得られた各成分の加速度波形をベクトル合成する。
- ベクトル波の絶対値があるレベル a 以上である時間の合計を $\tau(a)$ とすると、

ちょうど、 $\tau(a_0)=\tau_0$ となる a_0 を求める。

➤ 次式に a_0 を代入して計測震度 I を算定する。

$$I=2\log(a_0)+c \quad (4)$$

ここで、パラメータは表 1 に示すように与える。

表 1 震度計算のパラメータ

パラメータ	計測震度 (通常)	長周期震度 1	長周期震度 2	長周期震度 3
k	1.75	1.75	1.75	1.75
f_c (Hz)	10	10	1	0.25
f_0 (Hz)	0.5	0.05	0.05	0.05
τ_0 (秒)	0.3	3.0	3.0	3.0
c	0.7	1.2	1.5	2.0

ここで、 c の値は、震度 4 以上 (3.5 以上) の範囲がおおよそ対応するように震度が評価されるようにフィルタごとに設定した。それぞれの震度の計算に用いるフィルタの利得特性を図 3 に比較して示す。

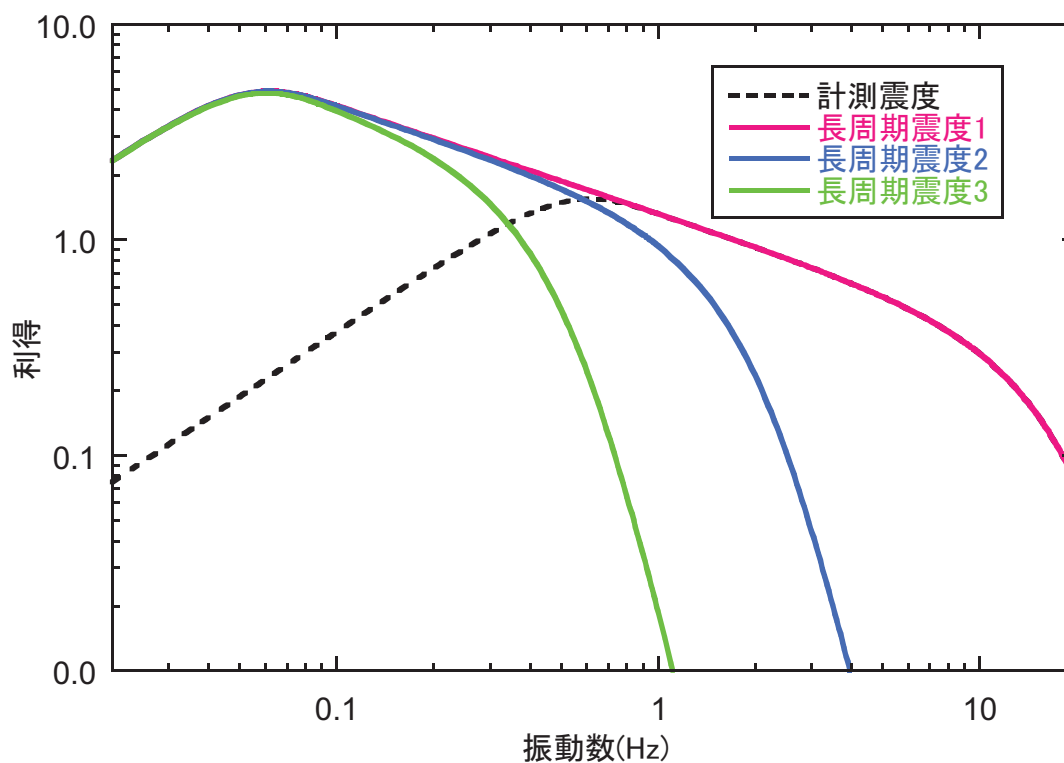


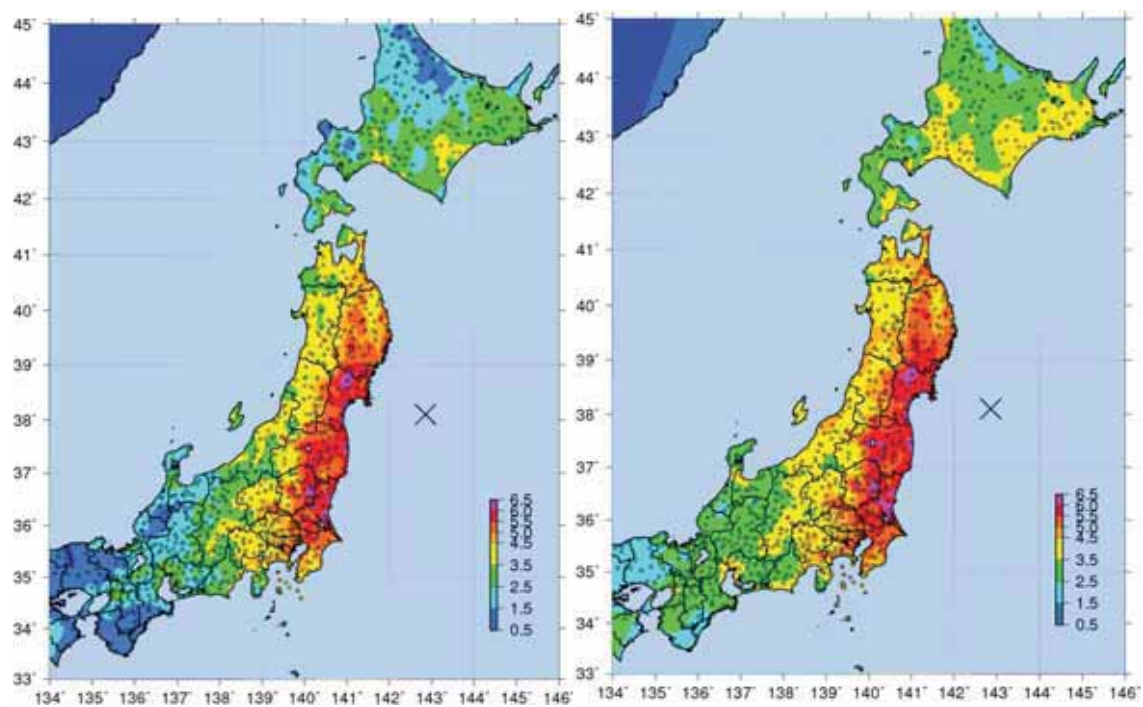
図 3 フィルタの総合特性に比較

(4) 観測記録の震度評価

長周期地震動が観測された 2011 年東北地方太平洋沖地震、2000 年鳥取県西部地震、2003 年十勝沖地震、2004 年新潟県中越地震および 2004 年紀伊半島沖の地震（前震と本震）について、K-NET および KiK-net の観測記録を用いて、それぞれの震度分布を評価し、それぞれ図 4~図 9 に示す。長周期震度は、一般的には平野や盆地で大きくなる傾向が見られ、平野や盆地での長周期成分の増幅が現れている。それぞれの地震での特徴を以下に分析する。

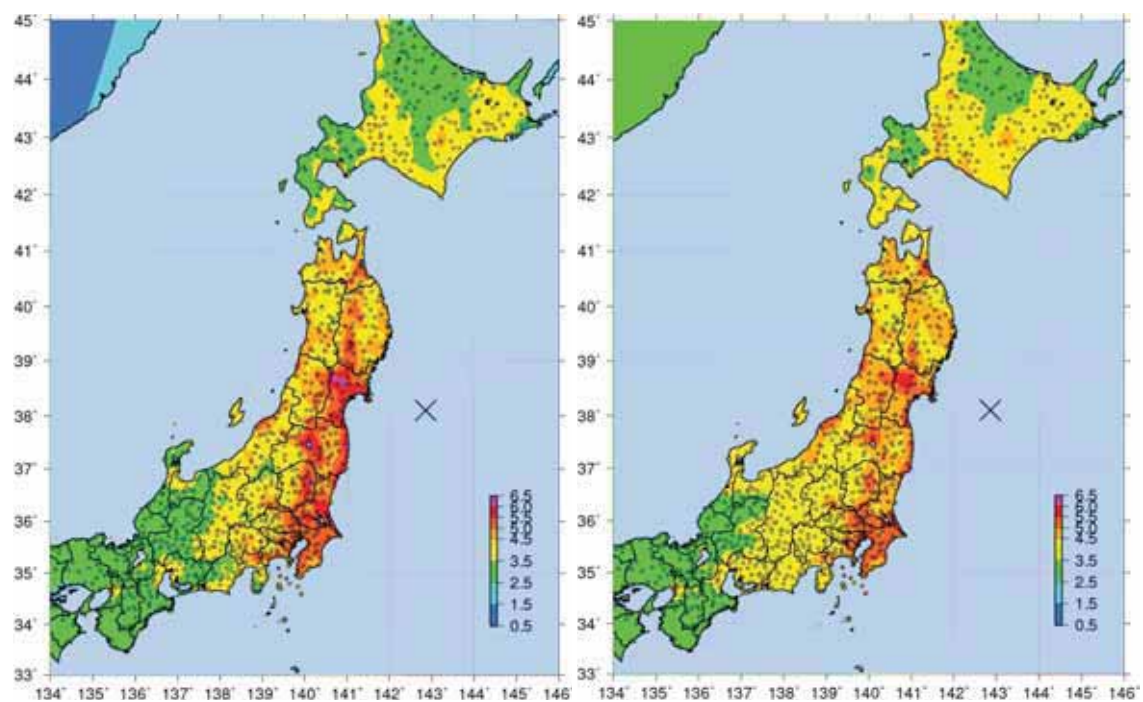
- ・ 図 4 に示す 2011 年東北地方太平洋沖地震では、計測震度は奥羽山脈の火山フロントを挟んで減衰している様子が見られるが、長周期震度は顕著な減衰は見られず、庄内平野（酒田）や新潟平野などの日本海側の平野部で大きくなっている。
- ・ 図 5 に示す 2000 年鳥取県西部地震では、長周期震度は大阪や名古屋での平野部で大きくなっている。
- ・ 図 6 に示す 2003 年十勝沖地震では、長周期震度は勇払平野から石狩平野での平野部で大きくなっている。
- ・ 図 7 に示す 2004 年新潟県中越地震の場合は、長周期震度は東京で若干大きくなり平野での増幅の影響が現れているが、全体的には計測震度の分布との差があまり見られない。地震規模が M6.8 と大きくないため平野での増幅は短周期と同等であったためと考えられる。
- ・ 図 8 および図 9 に示す 2004 年紀伊半島沖（三重県南東沖）の地震の前震と本震については、計測震度が大きい近傍の紀伊半島では長周期震度は小さくなるが、大阪や名古屋の平野部は変わらず、東京や千葉の平野部では逆に長周期震度の方が大きくなる傾向がみられる。

以上のように、長周期震度は、遠地の平野部で大きくなるという長周期地震動の特徴を表しており、人間の体感と対応した長周期の揺れを表す一つの尺度として有効と考えられる。



(a)計測震度 (10Hz~0.5Hz)

(b) 長周期震度 1 (10Hz~20 秒)



(c)長周期震度 2 (1 秒~20 秒)

(d)長周期震度 3 (4 秒~20 秒)

図 4 2011/3/11 東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の尺度比較

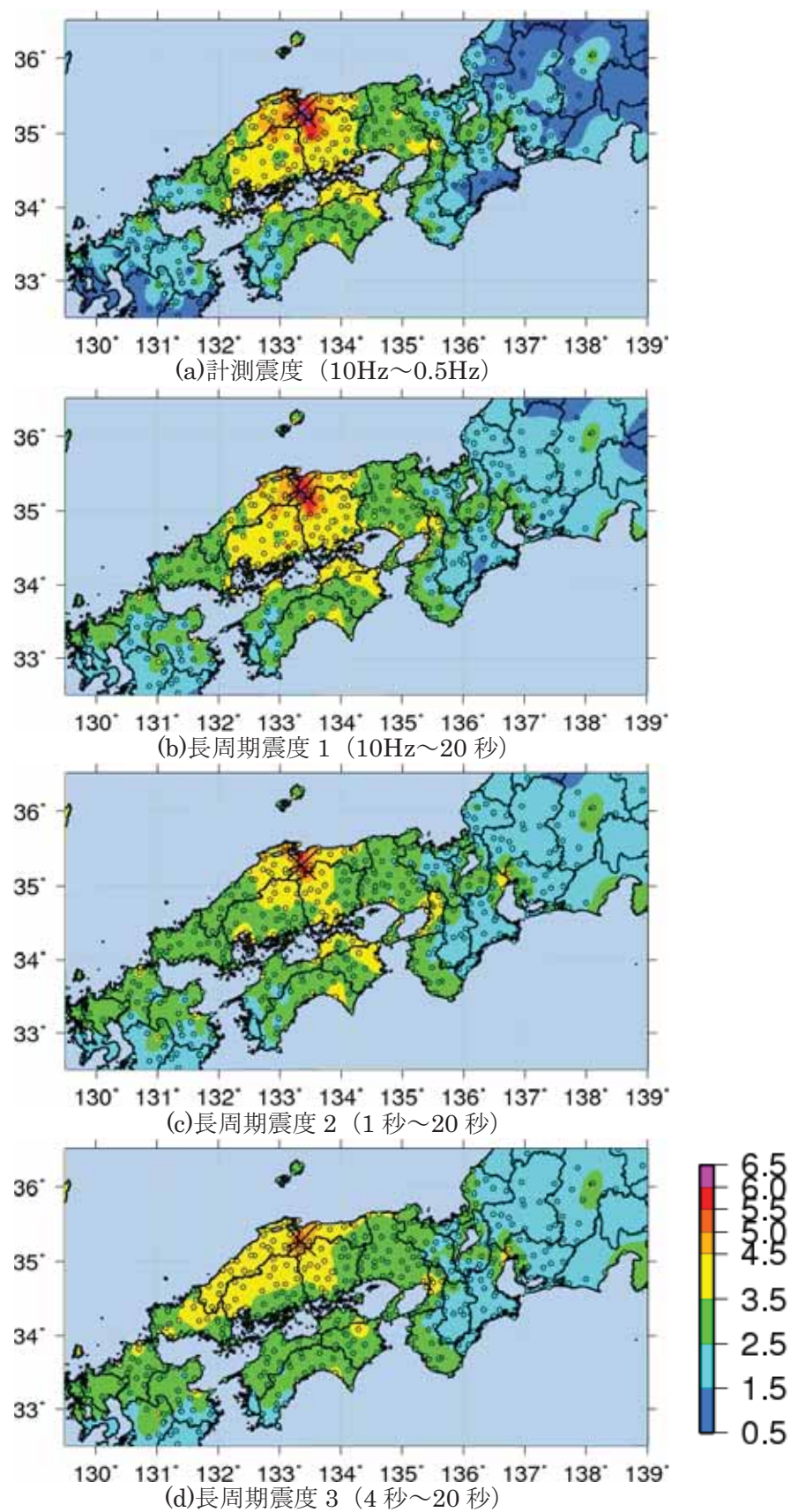


図 5 2000/10/6 鳥取県西部地震(Mj7.3)の尺度比較

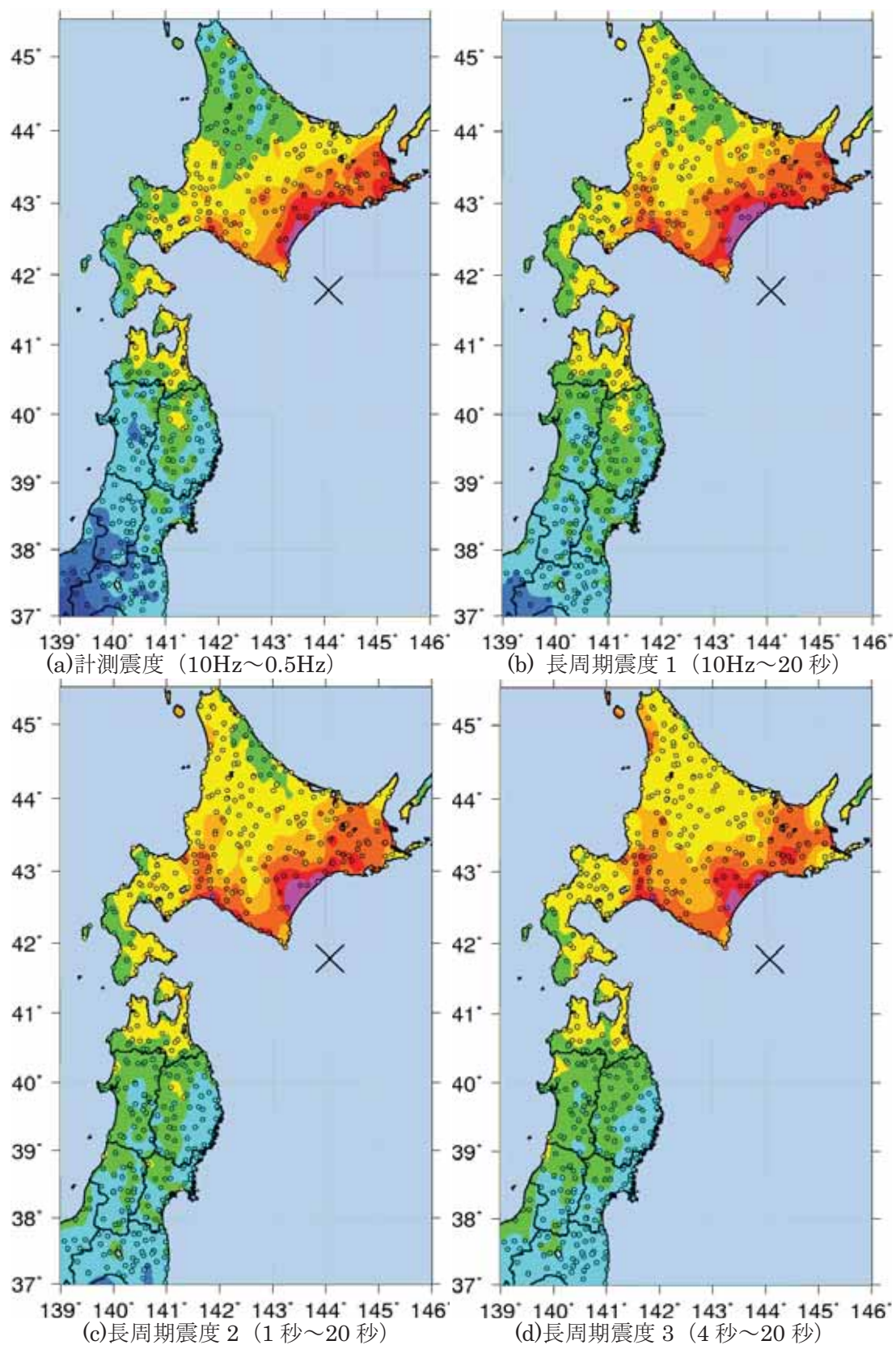


図 6 2003/9/26 十勝沖地震(M_J8.0)の尺度比較

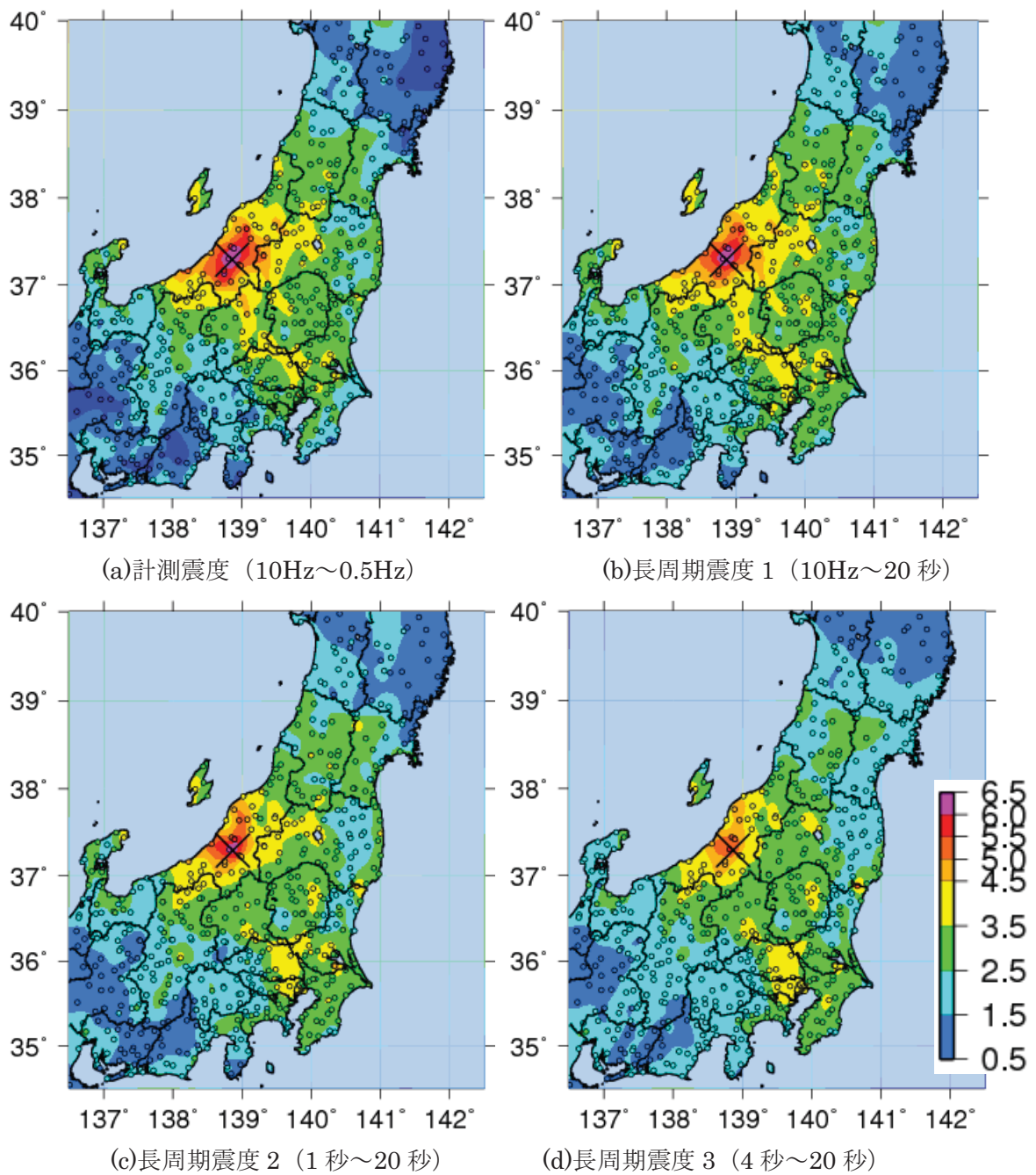


図 7 2004/10/23 新潟県中越地震(Mj6.8)の尺度比較

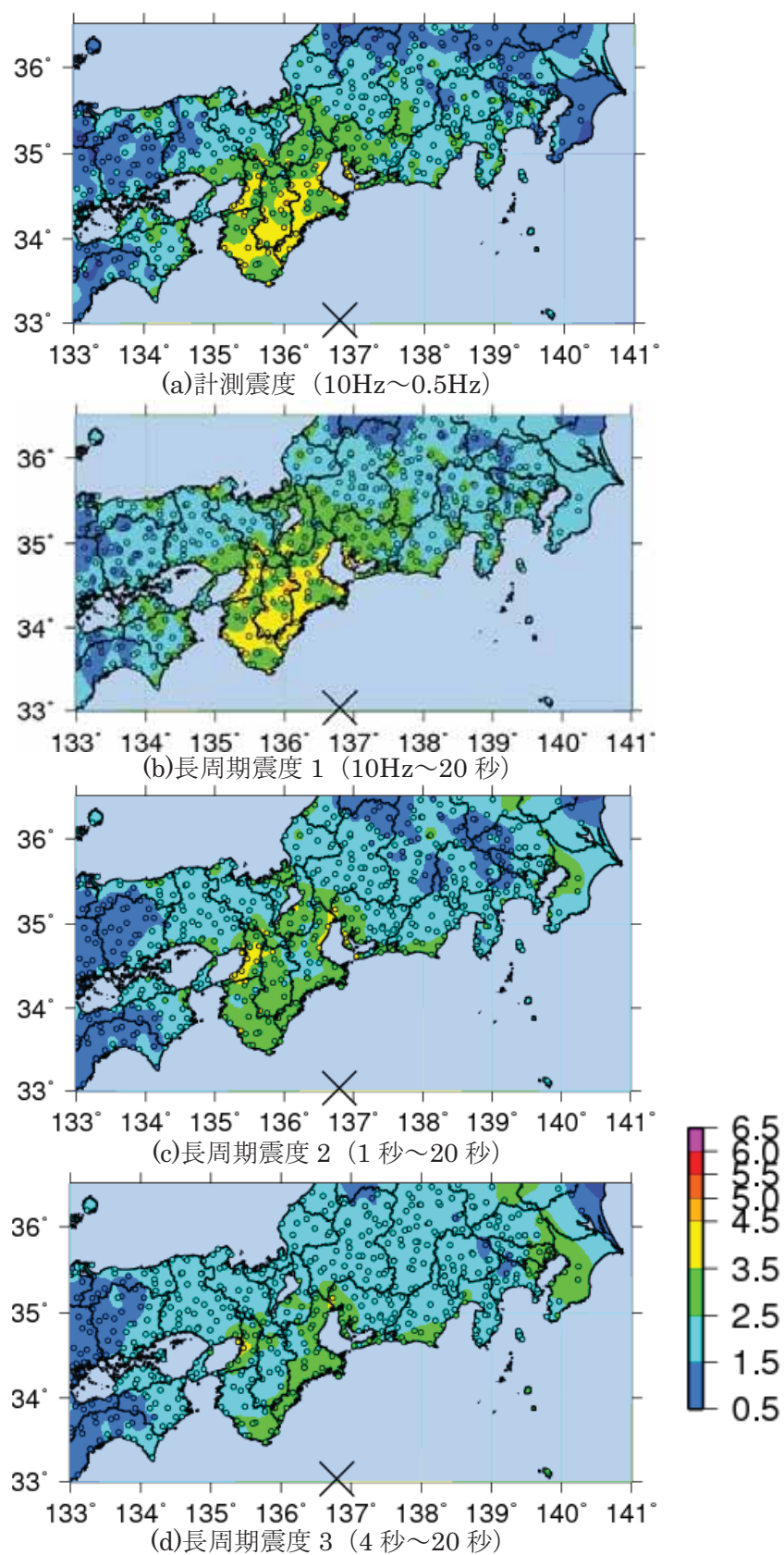


図 8 2004/9/5 19:05 三重県南東沖の地震(M_J7.1)の尺度比較

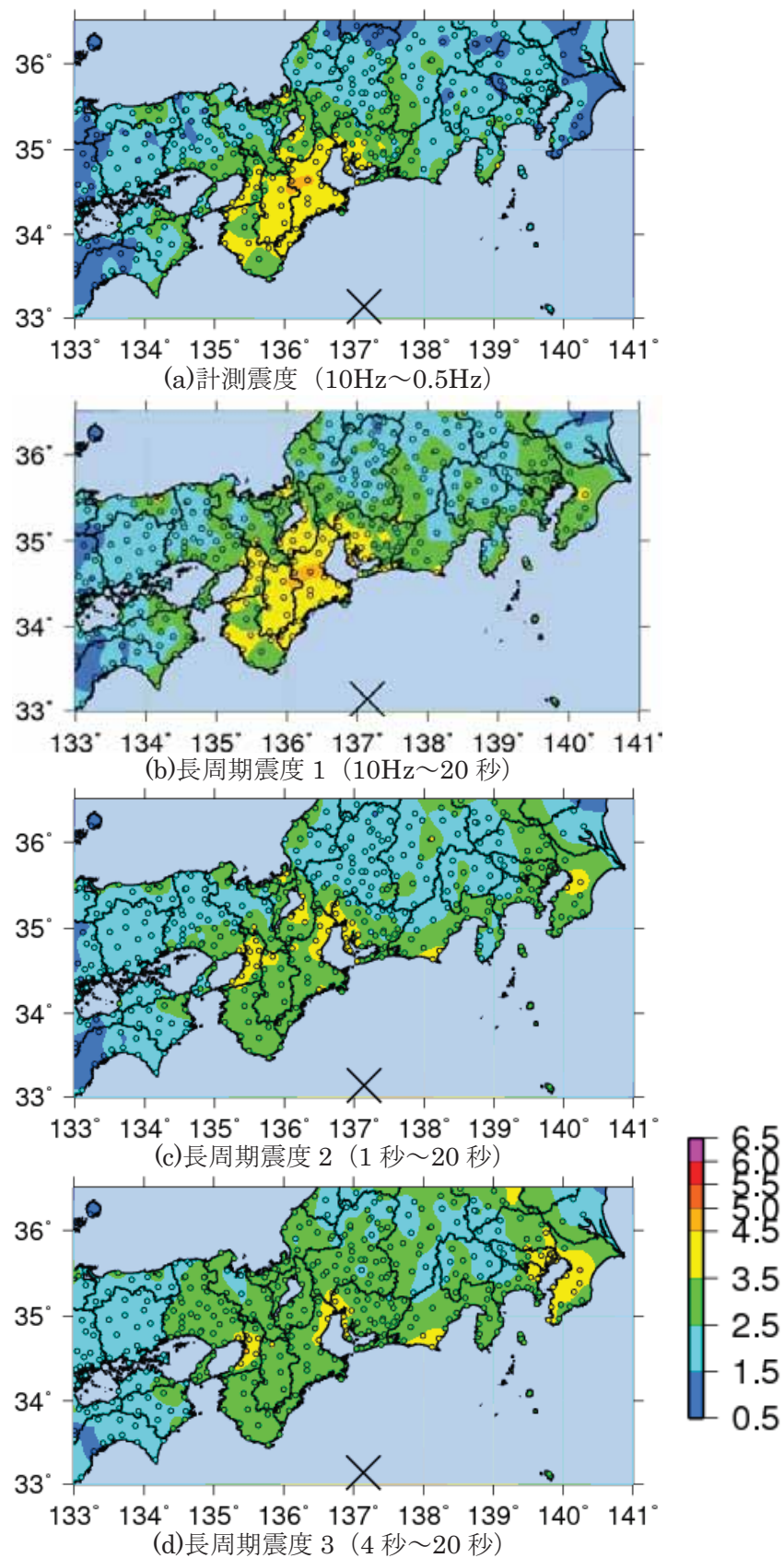


図9 2004/9/5 23:56 三重県南東沖の地震(M_J7.4)の尺度比較