

長周期地震動の指標に関する 研究事例を踏まえた調査結果

気象庁

検討会（第1回）で頂いたご意見

- ・ 情報は長周期地震動が起こるような地震があった、という大雑把なものとするべき
- ・ 一般利用者に対しては、周期別震度のような形とするべき
- ・ 観測体制と、どのタイミングで情報が出せるかの検討が必要



【気象庁における強震観測データ収集の現状】

気象庁震度観測点（約600点）については、平成23年度内にほぼリアルタイムでの加速度波形収集が可能となる。

【事務局の検討の方向性】

- ・ 気象庁震度観測点（約600点）を用いて、まずは、長周期地震動が起こるような地震であったかどうかを評価する指標について検討。
- ・ 特に、長周期地震動については計測震度では評価できないことを考慮し、過去の研究事例を参考に、周期別の指標について検討。

平成20年度「震度に関する検討会」報告

第1章

計測震度と被害等との関係について（抄）

倒壊など重大な建物被害と計測震度の相関は必ずしも良くない。境指標、清野指標など重大な建物被害にも対応する指標が提案されているが、まだデータが十分ではない。今後も倒壊など重大な建物被害と関係する指標の調査・検討を続ける必要がある。

なお、それまでの間、顕著な地震発生時には、地震の特徴や各地の揺れの特徴を示すためのものとして、気象庁は、報道発表の機会などを活用して地震波の特徴などについても、速やかに社会に示すことが重要である。

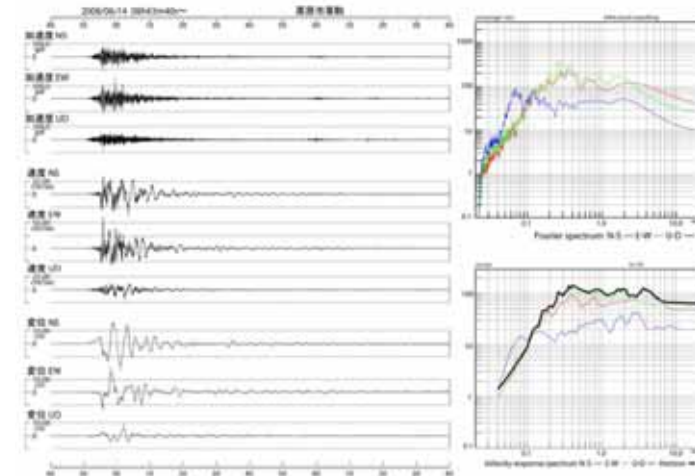
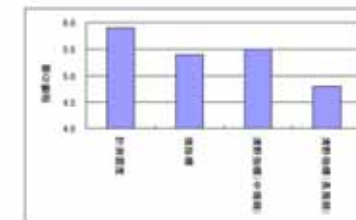


図 7-2(1) 取りまとめ例 <2008 年岩手・宮城内陸地震 奥原市奥駒>
(波形とフーリエスペクトル)



観測点名	計測震度	境指標	清野指標	
			中周期	長周期
奥原市奥駒	5.4	5.4	5.5	4.2

図 7-2(2) 取りまとめ例 <2008 年岩手・宮城内陸地震 奥原市奥駒観測点>

長周期地震動に対応した周期別震度に関する研究報告例

清野・藤江・太田（1998）：組み合わせ震度の提案・定式化とその応用について
土木学会論文集、No.612, I-46, pp.143-151

篠（2010）：1自由度系の速度応答に基づく震度の提案、
土木学会論文集A、Vol.66, No.4, pp.863-873

清野・藤江・太田（1998）による手法

2) 清野・藤江・太田(1999)による手法

清野ら(1999)の手法は、図2-1に示すように、加速度記録から積分して速度記録および変位記録を算出し、それぞれについて短周期震度、中周期震度および長周期震度の3種類を求めて、それぞれの特性に応じて用いることとしている。



図2-1 組合せ震度決定の手順

$$\text{短周期震度: } I_j = 2.00 \log(a_0) + 0.94 \quad (10)$$

$$\text{中周期震度: } I_m = 1.91 \log(v_0) + 2.50 \quad (11)$$

$$\text{長周期震度: } I_l = 1.94 \log(d_0) + 3.20 \quad (12)$$

図2-3 短周期震度、中周期震度および長周期震度の算出式

表2-1 継続時間を変化させた場合の振幅と震度の相関係数

	$\tau=0.1$	$\tau=0.3$	$\tau=0.5$	$\tau=1.0$	$\tau=1.5$	$\tau=2.0$
加速度	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99
変位	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98

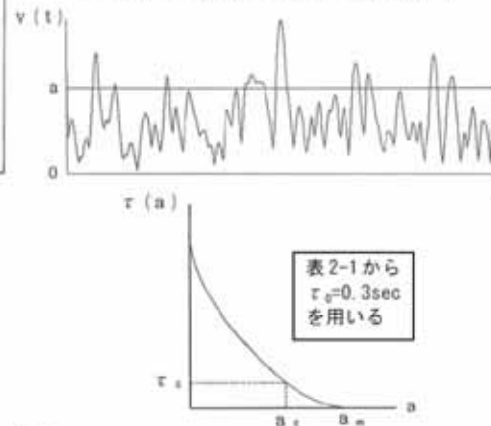


図2-2 a_0 , v_0 , d_0 の決定手順

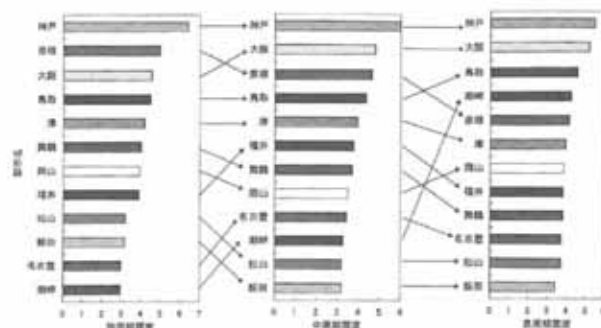


図2-4 1995年兵庫県南部地震における各観測点ごとの組合せ震度の比較

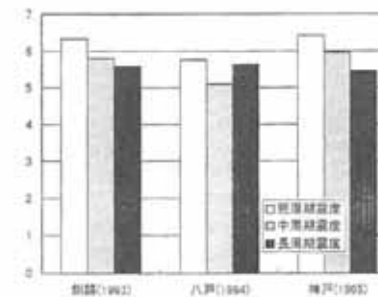


図2-5 震度VIが観測された3つの地震に対する組合せ震度の比較（1993年釧路沖地震、1994年三陸はるか沖地震、1995年兵庫県南部地震）

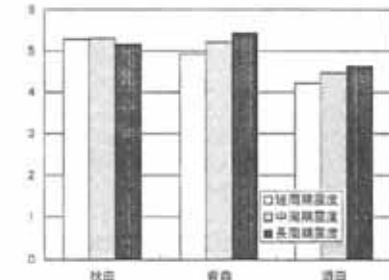


図2-6 1993年日本海中部地震の際の秋田・青森・酒田観測波から求めた組合せ震度

【清野指標】

中周期(I_m):

免震建物や高層建物を対象として、0.7秒～5秒程度の周期区分で設定

長周期(I_l):

石油タンクのスロッシングや頂戴構造物を対象として、5秒程度以上の周期区分で設定

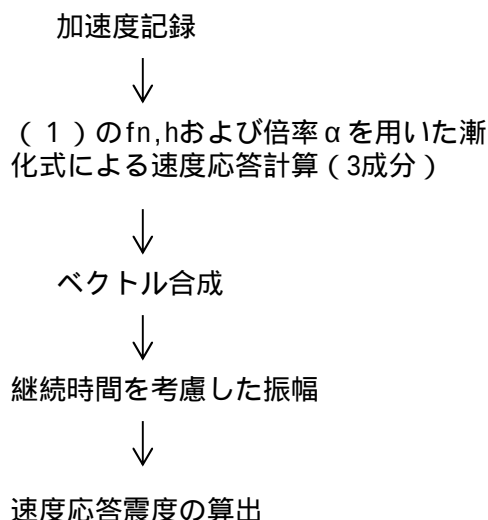
篠（2010）による手法

篠（2010）の手法は、3.333Hz、0.7Hz、0.1666Hzの各固有振動数について1質点減衰系の速度応答の力積応答関数の振幅特性として減衰定数と倍率を考慮して加速度記録から速度応答を求め、それぞれについて、短周期速度応答震度、速度応答震度、長周期速度応答震度として算出するものである。

【1質点減衰系の速度応答の力積応答関数の振幅特性】

$$|H_V(\omega)| = \frac{\omega}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + 4h^2\omega_n^2\omega^2}} \quad (1)$$

【速度応答震度の算出】



$$I_{VR} = a \log(Sv_0) + K$$

I_{VR} : 速度応答震度

I_{VRS} : 短周期速度応答震度

I_{VRL} : 長周期速度応答震度

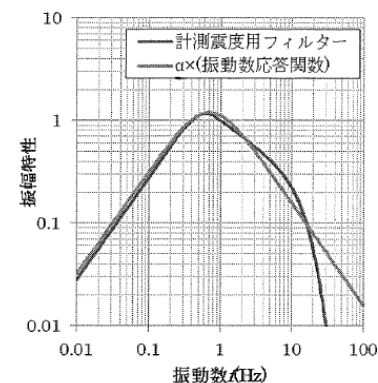


図3 調整後の振動数応答関数の振幅特性

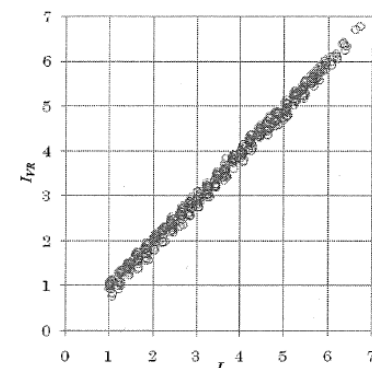


図4 計測震度と速度応答震度 (515 記録)

表-1 各種速度応答震度の計算時パラメータ

震度の種類	f_n (Hz)	h	α	z_0
I_{VR}	0.7	0.95	10.0	0.3
I_{VRS}	3.333	0.95	47.6	0.0630
I_{VRL}	0.1666	0.95	238	1.26

$$I_{VR} = 2 \cdot \log(v_0) + 0.94 \quad (11)$$

$$I_{VRS} = 2 \cdot \log(v_{s0}) + 0.18 \quad (12)$$

$$I_{VRL} = 2 \cdot \log(v_{l0}) + 2.26 \quad (13)$$

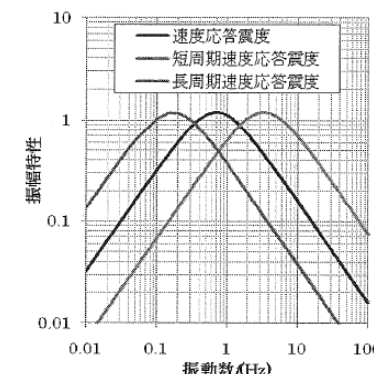


図-7 各種速度応答震度における振動数応答関数の振幅特性 (αを乗じたもの)

表-7 新潟県中越地震時の東京の超高層ビル近傍における各種速度応答震度と50%応答継続時間 D_{50}

観測点コード	I_{VR}	D_{50} (s)	I_{VRS}	D_{50} (s)	I_{VRL}	D_{50} (s)
TKY007	2.71	60.0	2.62	19.9	3.91	68.6
TKY015	3.51	6.6	3.43	3.0	3.65	84.9
TKY016	3.10	46.3	2.97	2.3	3.91	98.3
TKY021	3.54	16.0	3.01	15.0	3.69	95.8
TKY022	3.29	45.2	2.89	9.6	3.60	99.1
TKY028	3.17	24.7	2.87	11.7	3.70	96.3

表-8 新潟県中越沖地震時の東京の超高層ビル近傍における各種速度応答震度と50%応答継続時間 D_{50}

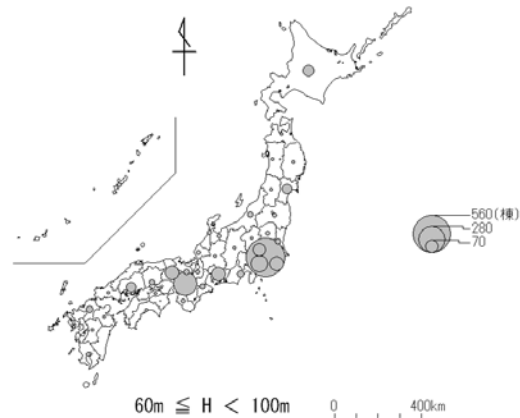
観測点コード	I_{VR}	D_{50} (s)	I_{VRS}	D_{50} (s)	I_{VRL}	D_{50} (s)
TKY007	2.52	86.8	1.47	46.3	3.54	98.2
TKY015	2.88	59.4	1.92	28.8	3.67	97.5
TKY016	2.84	74.3	1.68	66.3	3.65	89.7
TKY021	2.81	67.2	1.88	48.2	3.54	124.0
TKY022	2.74	78.7	2.00	15.1	3.50	126.0
TKY028	2.83	50.1	1.75	50.6	3.55	106.3

清野指標（中周期、長周期）による 長周期地震動の評価

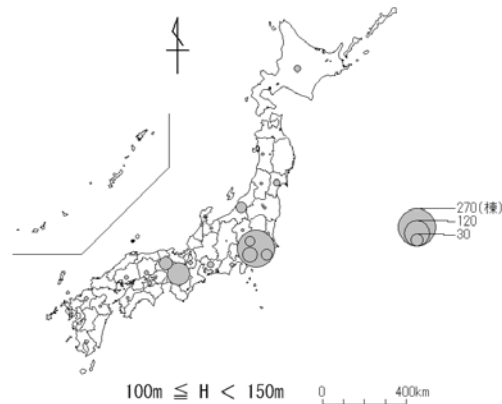
対象とすべき構造物の分布

高さ60m以上の高層建築物の棟数分布（全国）

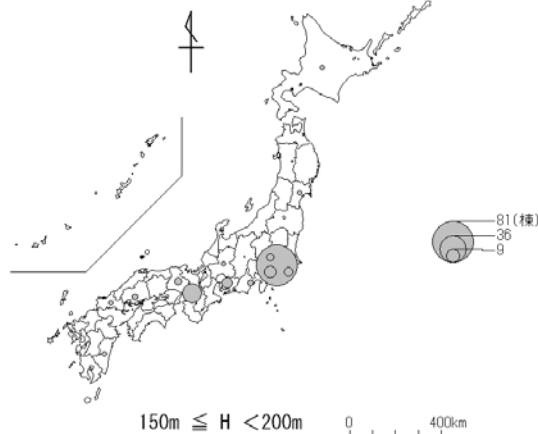
概ね固有周期 3 秒以下



概ね固有周期 4 秒以下



概ね固有周期 5 秒以下

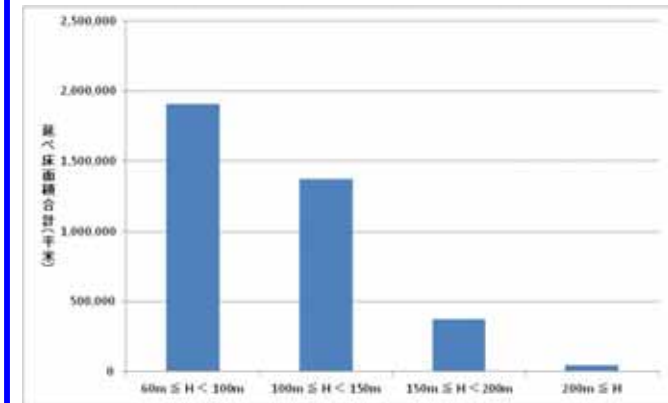
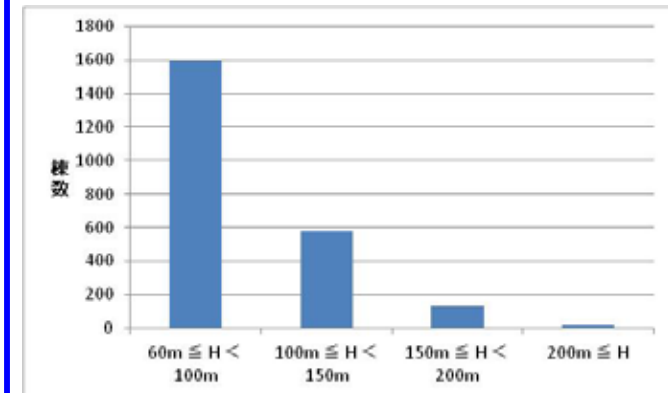


概ね固有周期 5 秒以上



総務省消防庁資料より気象庁調べ

高さ60m以上の高層建築物の高さ別棟数と延べ床面積合計（全国）



総務省消防庁資料より気象庁調べ

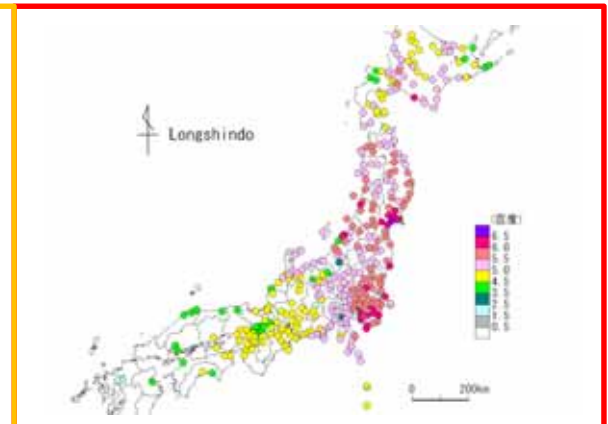
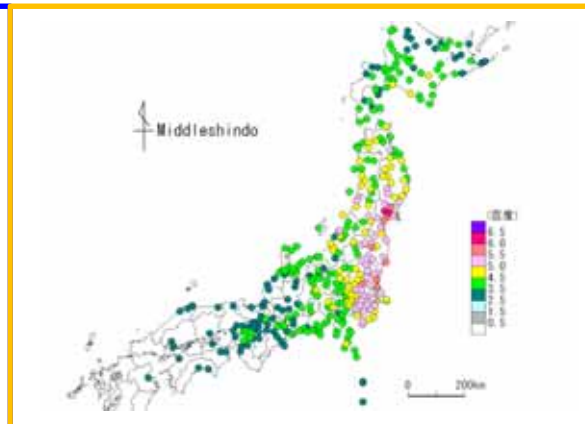
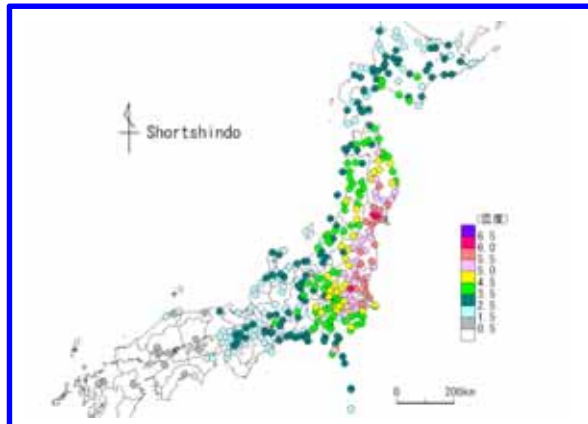
清野ほか（1998）の手法による広域的な長周期地震動の評価

計測震度

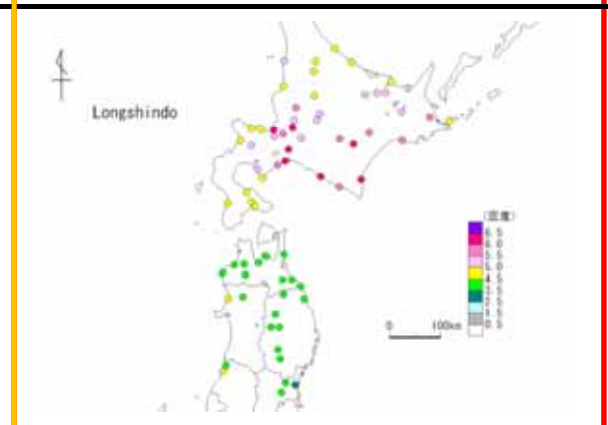
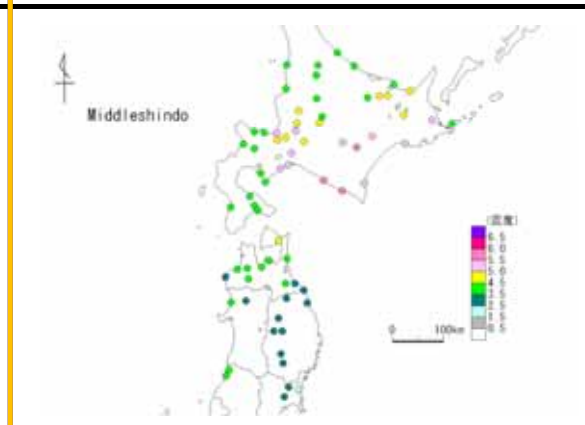
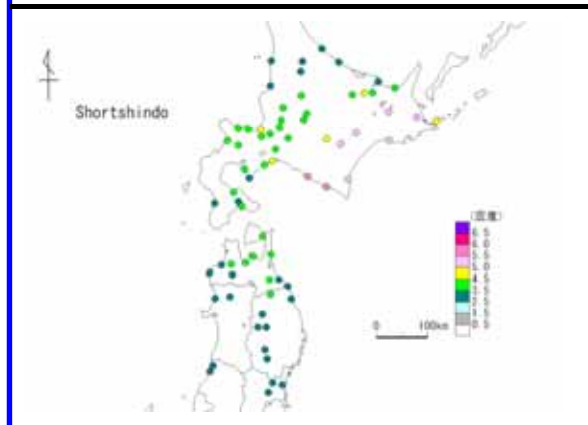
清野指標（中周期）

清野指標（長周期）

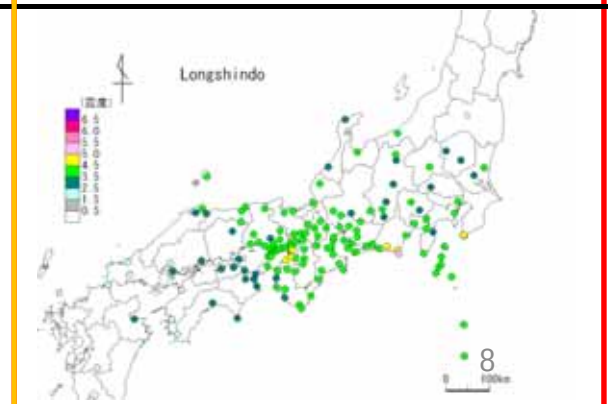
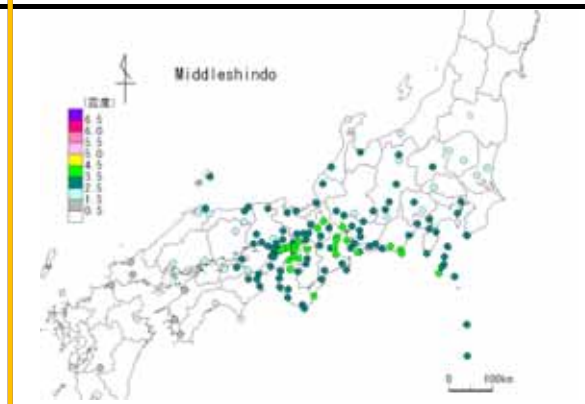
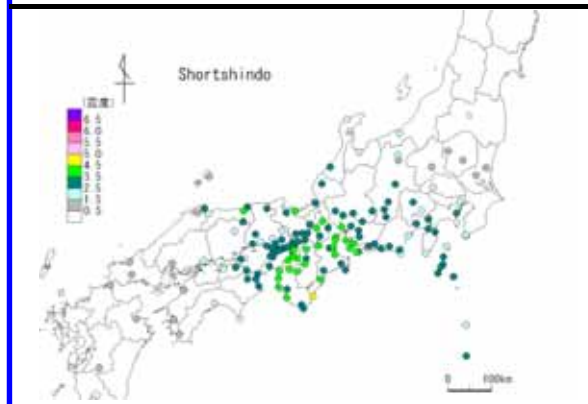
平成23年
東北地方太平洋沖地震



平成15年
十勝沖地震

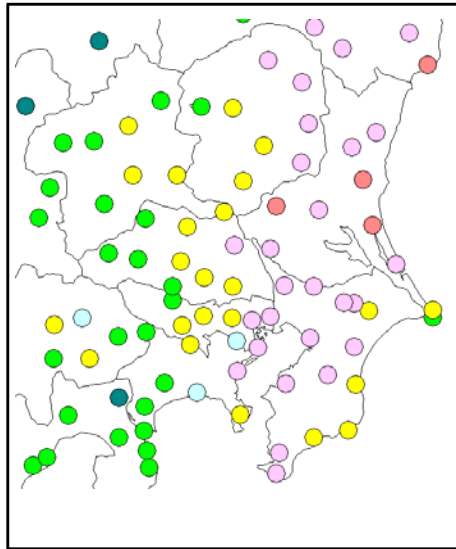


平成16年9月5日の
東海道沖の地震



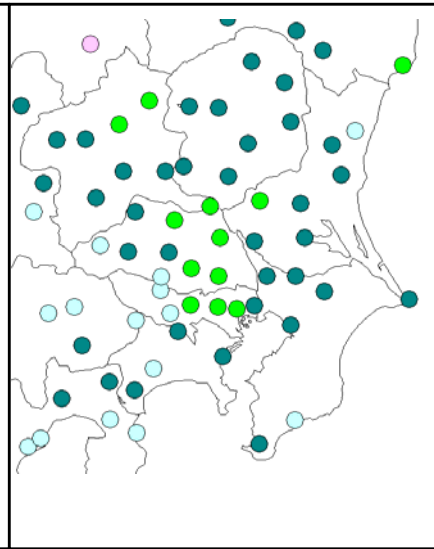
清野ほか（1998）の手法による地域的な長周期地震動の評価

平成23年東北地方太平洋沖地震



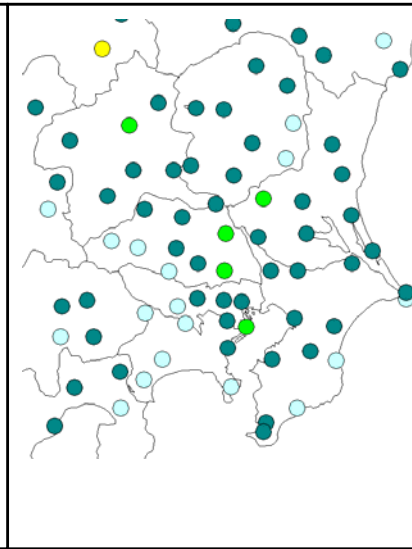
首都圏の広い範囲で
高層ビルが大きな揺れ

平成16年新潟県中越地震



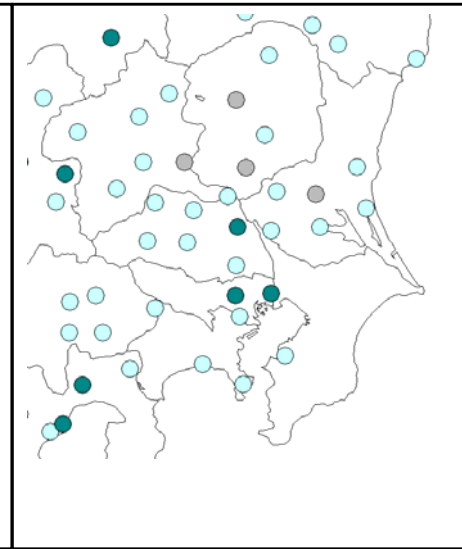
東京都内の一部の
高層ビルで揺れ

平成19年新潟県中越沖地震



東京都内の一部の
高層ビルで揺れ

平成19年能登半島沖地震



長周期地震動による顕著な
揺れの報告・報道確認されず



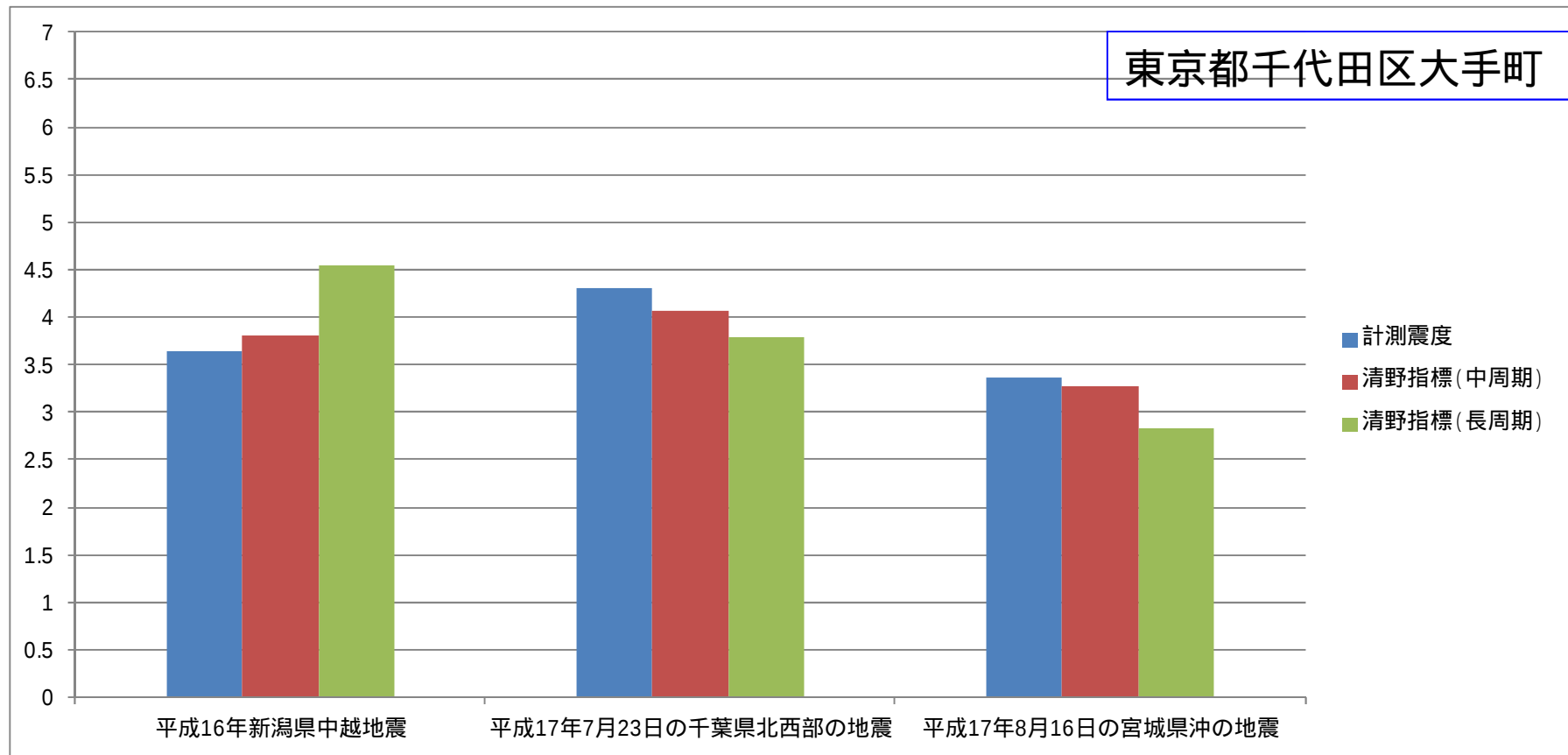
長周期地震動
による影響大



長周期地震動
による影響小

長周期地震動による高層ビルの揺れの地域的な広がり、観測点毎の清野指標（中周期）の分布と整合する

清野ほか（1998）の手法による観測点毎の長周期地震動の評価



計測震度で震度 3 ～ 4 であっても、長周期地震動の大きさが異なることが、清野指標では評価できる。

計測震度が低くても長周期地震動による影響が発生した地震の評価

震度3や4以下でも長周期地震動による顕著な被害の報道・報告があった地震

