

平成23年度東日本大震災千葉県調査検討専門委員会

---

第5回委員会資料（液状化）

平成24年3月19日

---

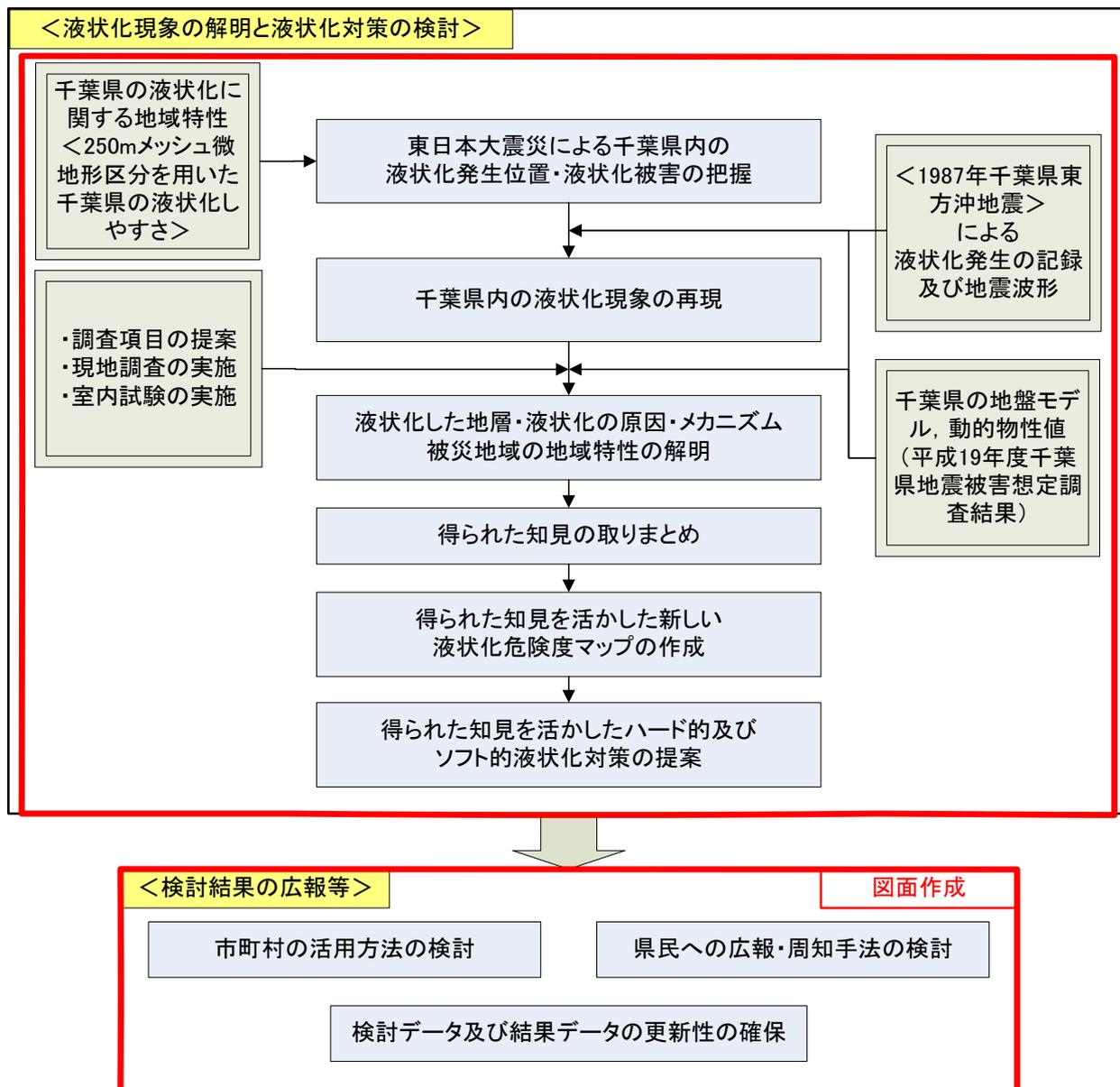


## 目 次

	頁
1. 全体フロー -----	1
2. 千葉県内で観測された地震動と地震動害 -----	3
2.1 地震波形収集状況, 及び, 地表最大加速度分布について -----	3
2.2 千葉県内の地震動の再現 -----	8
2.3 千葉県内の液状化発生地域について -----	19
2.4 千葉県内の液状化の再現 -----	30
3. 千葉県内の液状化被害の要因分析 -----	34
3.1 地域ごとの細粒分含有率 $F_c$ の設定 -----	34
3.2 PL 値分布図の比較 -----	38
3.3 各地域の FL 分布 -----	51
3.4 1987 年千葉県東方沖地震との比較 -----	70
3.5 室内繰返し三軸試験と液状化強度推定式について -----	72
3.6 再液状化の検討 -----	75
3.7 波形の継続時間に関する検討 -----	76
3.8 各地域の液状化の原因とメカニズム -----	81
4. 地震動の再現のための地盤モデルの修正 -----	85
4.1 ボーリングデータの収集 -----	85
4.2 地盤モデルの変更 -----	88
5. ゆれやすさマップの作成 -----	98
5.1 ゆれやすさ評価手法の検討 -----	98
5.2 ゆれやすさマップの作成 -----	98
6. 液状化しやすさマップの作成 -----	105
6.1 液状化想定手法の検討 -----	105
6.2 液状化しやすさマップの作成 -----	107
7. 液状化対策工法の考え方 -----	126
7.1 液状化対策工法について -----	126
7.2 液状化対策工法メニュー -----	127



1. 全体フロー





## 2. 千葉県内で観測された地震動

### 2.1 地震波形収集状況，及び，地表最大加速度分布について

本調査で収集した地震波形は，KKnet，K-NET，KiK-net，東京ガス（SUPREME），及び，千葉大学・中井教授提供による記録である．

図 2.1-1 と図 2.1-2 に，千葉県内の K-NET と KiK-net の観測点における NS 成分の加速度記録を示す．更に，図 2.1-3 と図 2.1-4 に，2011 年 3 月 11 日本震の最大加速度分布 (PGA 分布) を，図 2.1-5 に千葉県北西部の拡大図を示す．

2011/03/11 14:47:03.000

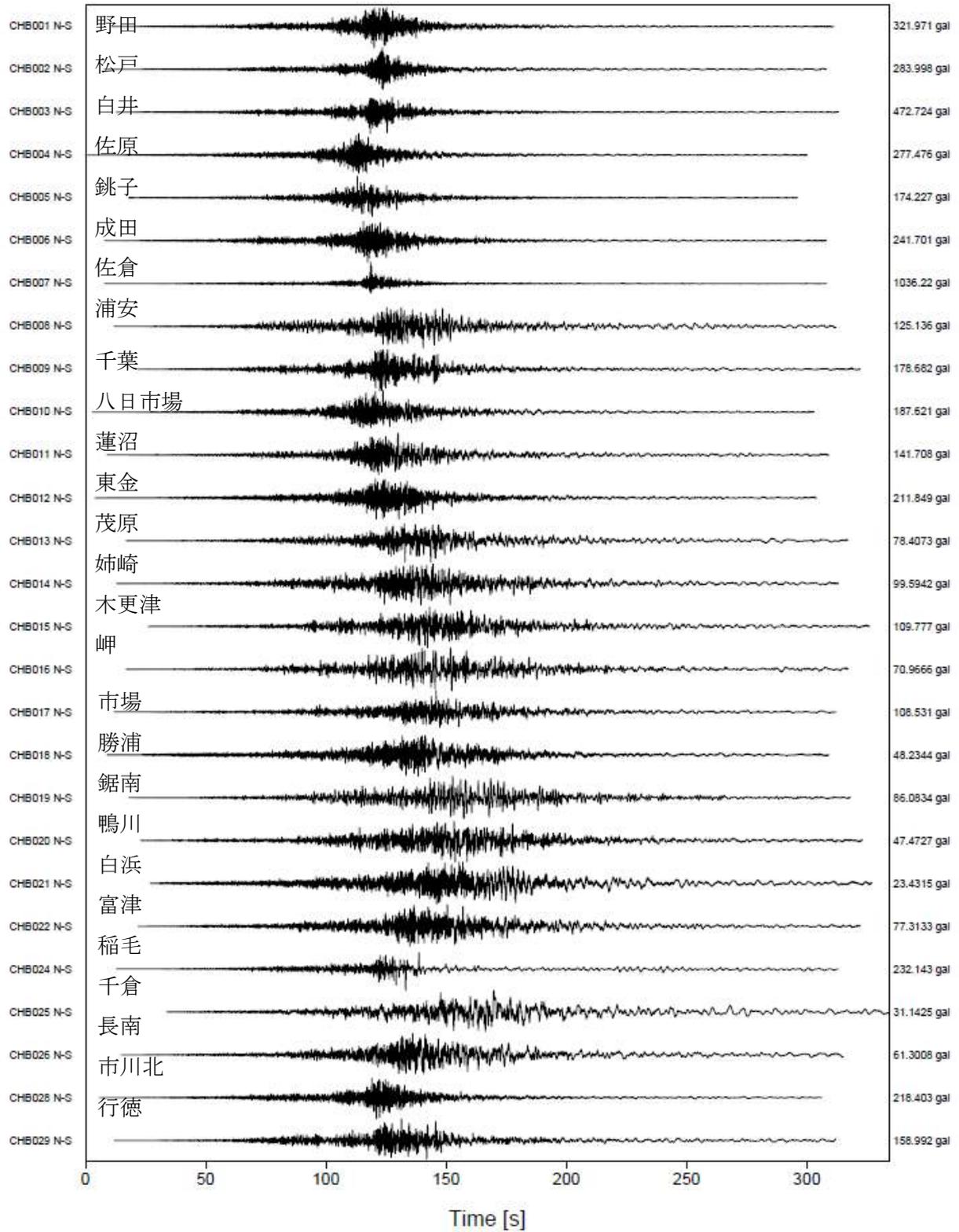


図 2.1-1 千葉県内の K-NET (NS 成分) の加速度記録

2011/03/11 14:47:02.000

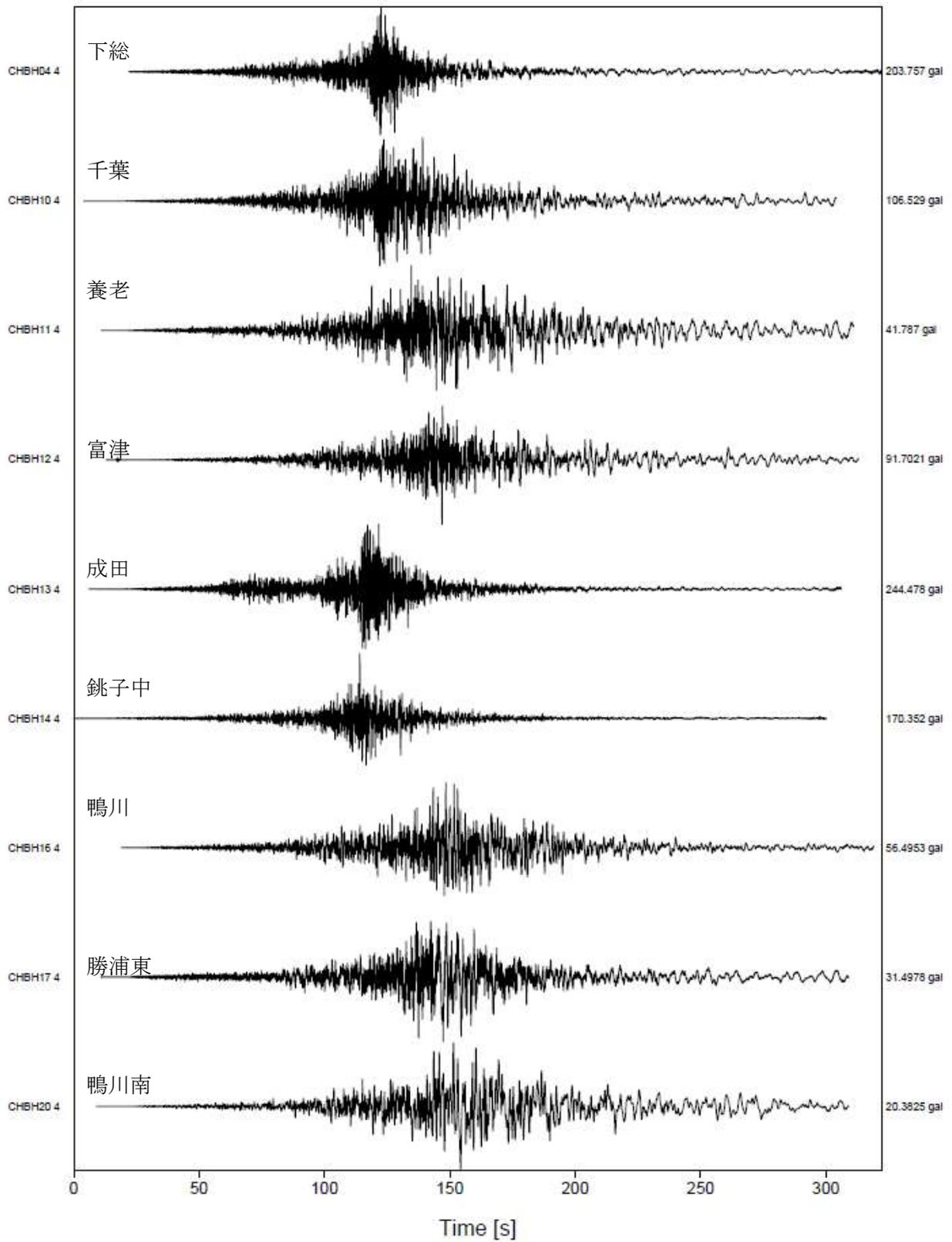


図 2.1-2 千葉県内の Kik-net (地表・NS 成分) の加速度記録

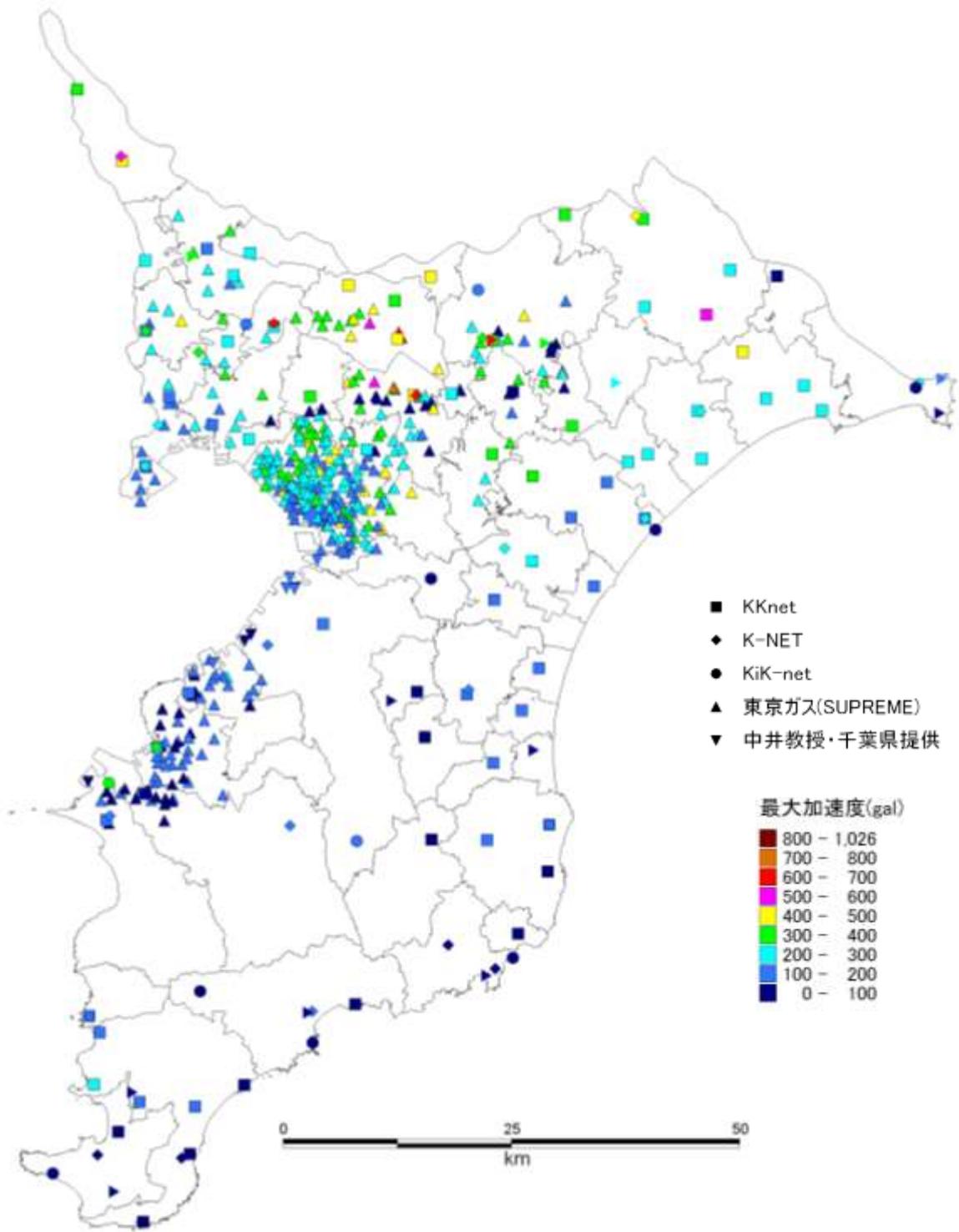


図 2.1-3 千葉県における KiK-net, K-NET, KKnet, 気象庁, 東京ガス(SUPREME),  
 及び, 千葉大学中井教授・千葉県提供による 3.11 本震の最大加速度(PGA)分

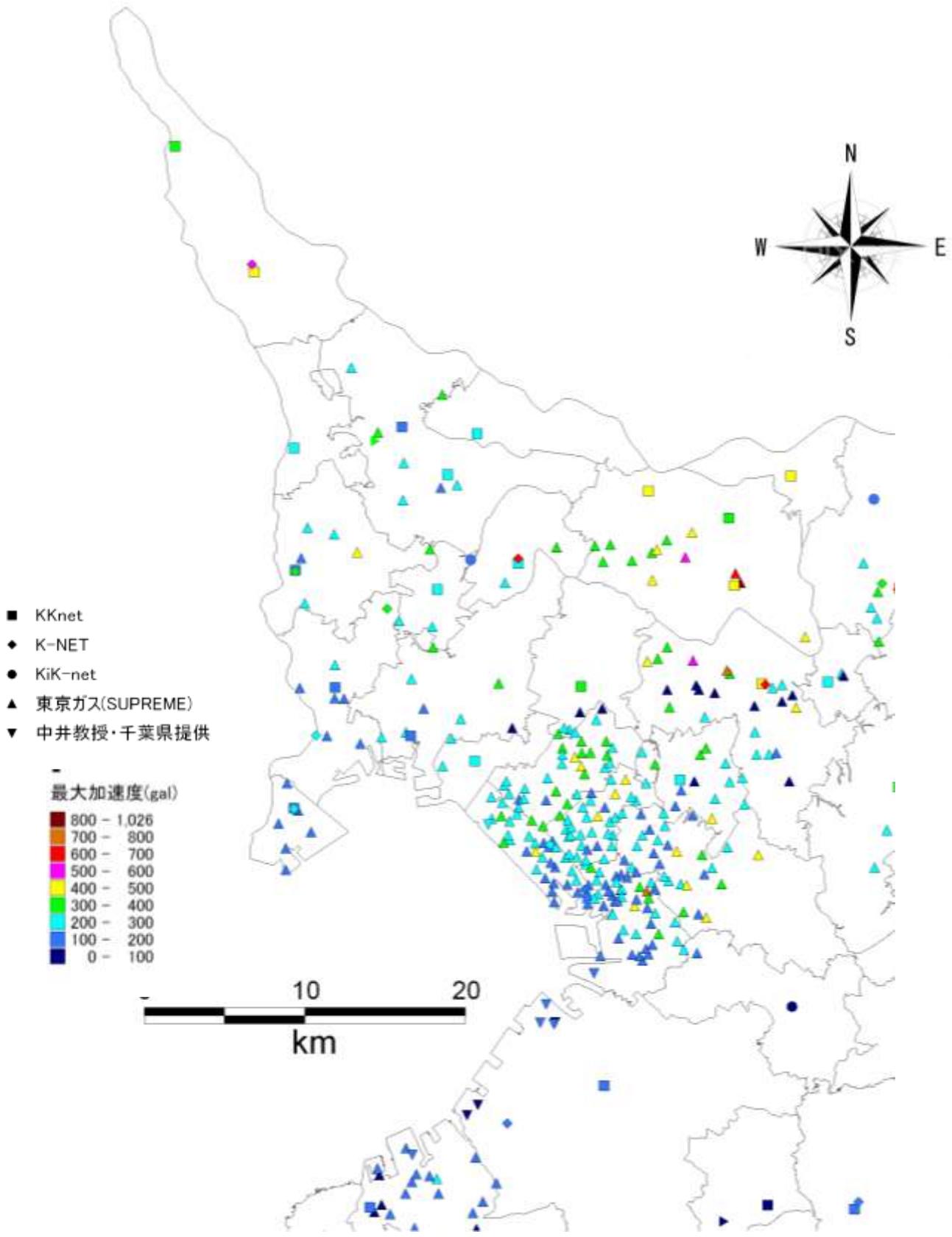


図 2.1-4 千葉県北西部における KiK-net, K-NET, KKnet, 気象庁, 東京ガス(SUPREME),  
 及び, 千葉大学中井教授・千葉県提供による 3.11 本震の最大加速度(PGA)分布

## 2.2 千葉県内の地震動の再現

平成 23 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震による液状化の原因及びメカニズムを検討するための基礎資料として、前節で収集した地震観測記録及び千葉県全域について作成した層構造地盤モデルを用いて、千葉県全域について 250m メッシュ地震動の再現計算を試みた。

再現計算の手順は、以下の通りである。

- 1) 前節で収集した地震記録のうち加速度波形が得られている地点について、工学的基盤への引き戻し計算を行い、観測地点における工学的基盤での加速度波形を求めた。
- 2) 1)の計算結果を補間して、工学的基盤での 250m メッシュ地震動の分布を求めた。
- 3) 1)2)で得られた工学的基盤の地震動を 250m メッシュ地盤モデルに入射して、応答計算により地表地震動を求めた。

### 2.2.1 地震観測点における工学的基盤への引き戻し計算

収集した地震波形のうち、引き戻し計算に用いた地点を、表 2.2.1-1 及び図 2.2.1-1 に示した。

これらの波形を用いて、一次元等価線形応答計算プログラム DYNEQ により、工学的基盤への引き戻し計算を行った。等価線形計算については、平成 19 年度調査と同様に、吉田・末富（1996）による有効ひずみの周波数依存性を考慮した手法を用いた。

応答計算のための地盤モデルについては、観測点の地盤モデルが提供されている地点（K-NET、KiK-net 等）については、提供された地盤モデルを参照して、工学的基盤（S 波速度 400m/s）までのモデルを作成した。それ以外の地点については、観測点の位置する 250m メッシュの地盤モデルを、観測地点の地盤モデルとした。また、K-NET 等提供されている地盤モデルが工学的基盤に達していない場合については、提供されているモデルの下端深度以深については 250m メッシュ地盤モデルから層構造を求めた。

物性値及び動的変形特性曲線については、平成 19 年度調査での値を用いた。

工学的基盤への引き戻し計算の結果について、得られた最大加速度値を表 2.2.1-1 及び図 2.2.1-2 に示した。これらの結果を検討した結果、CHB003 及び CHB007 については加速度値が周囲の観測点の値と比べて著しく大きく、以降の検討では除外することとした。

### 2.2.2 工学的基盤の 250m メッシュ地震動分布

各観測点の基盤最大加速度より、空間補間により各メッシュの基盤最大加速度を推定した。空間補間の方法は、観測点が存在しない断層近傍でも地震動が大きくなるように、観測地点の基盤最大加速度より最小 2 乗法で推定した距離減衰式をトレンド成分とした simple Kriging 法を用いた。その際、相関距離は 20km として計算した（澤田・ほか、2007）。なお、simple Kriging 法の計算プログラムは、防災科学技術研究所川崎ラボラトリー（2006）による”rasmo”（前述の条件で計算できるように一部コードを修正）を使用した。Simple Kriging 法による地震動補間については、末富ら（2005）を参照した。

250m メッシュ最大加速度の分布を、図 2.2.2-1 に示した。

### 2.2.3 地表の 250m メッシュ地震動分布

これまでに求められた 250m メッシュ工学的基盤地震動を入射波として、一次元地震応答計算により地表の 250m メッシュ地震動の分布を求めた。

250m メッシュの入射波については、各メッシュから最も距離の近い地震観測点の地震波形を用いた（図 2.2.3-1）。その際、最大加速度振幅を前節で求めた工学的基盤の最大加速度振幅になるように調整した。

以上により求められた地表最大加速度分布図を図 2.2.3-2 に示した。また、地表の計算波形から求めた震度分布図を図 2.2.3-3 に、これを観測点の計測震度と比較して図 2.2.3-4 に示した。

表 2.2.1-1(1) 再現計算に用いた地震観測点の一覧 (1)

No	提供元	観測点 コード	観測点名	緯度	経度	250mメッシュ コード	地表加速度観測値		基盤加速度(2E)計算値		備考
							NS(gal)	EW(gal)	NS(gal)	EW(gal)	
1	K-NET	CHB001	野田	35.956298	139.876554	5339774033	322.0	374.1	191.5	239.2	
2		CHB002	松戸	35.783574	139.906348	5339574221	284.0	227.3	204.0	181.5	
3		CHB003	白井	35.791070	140.059665	5340504444	472.7	462.7	677.6	720.6	不採用
4		CHB004	佐原	35.897474	140.493809	5340637941	277.5	300.7	213.4	217.8	
5		CHB005	銚子	35.732544	140.833334	5340467643	174.2	176.1	171.9	173.2	
6		CHB006	成田	35.776863	140.309988	5340523422	241.7	230.1	155.5	150.4	
7		CHB007	佐倉	35.720159	140.229978	5340416814	1036.2	490.6	510.2	391.4	不採用
8		CHB008	浦安	35.650456	139.905544	5339378212	125.1	157.3	94.7	93.4	
9		CHB009	千葉	35.604948	140.105460	5340302832	178.7	139.7	350.4	182.0	
10		CHB010	八日市場	35.704447	140.571311	5340444541	187.6	187.6	136.7	145.6	
11		CHB011	蓮沼	35.598838	140.504698	5340341034	141.7	151.0	123.3	107.9	
12		CHB012	東金	35.569439	140.336580	5340228624	211.8	214.7	150.6	146.9	
13		CHB013	茂原	35.429424	140.293769	5340121341	78.4	80.3	68.4	65.4	
14		CHB014	姉崎	35.473635	140.052152	5340106433	99.6	129.6	68.2	70.9	
15		CHB015	木更津	35.370521	139.919139	5339074323	109.8	142.4	79.3	84.0	
16		CHB016	岬	35.296606	140.389977	5240735131	71.0	98.3	43.2	61.4	
17		CHB017	市場	35.295508	140.078751	5240705614	108.5	90.4	70.8	60.7	
18		CHB018	勝浦	35.154387	140.325471	5240528631	48.2	33.4	33.1	25.8	
19		CHB019	鋸南	35.107183	139.838327	5239562733	86.1	80.2	60.5	55.0	
20		CHB020	鴨川	35.112181	140.105451	5240503814	47.5	79.5	29.3	42.7	
21		CHB021	白浜	34.904956	139.901127	5239278231	23.4	31.3	22.7	30.6	
22		CHB022	富津	35.305012	139.863032	5239766931	77.3	96.1	59.1	66.2	
23		CHB024	稲毛	35.630253	140.081659	5340305641	232.1	203.3	176.8	166.5	
24		CHB025	千倉	34.967362	139.949133	5239376522	31.1	36.9	30.6	36.0	
25		CHB026	長南	35.383919	140.240263	5340016911	61.3	71.4	56.8	67.0	
26		CHB028	市川北	35.762770	139.969753	5339571741	218.4	244.4	141.4	155.5	
27		CHB029	行徳	35.691459	139.920847	5339472343	159.0	150.4	101.3	95.4	
28	KIK-net	CHBH04	下総	35.790171	140.027061	5340504233	203.8	234.2	183.9	178.9	
29		CHBH10	千葉	35.539239	140.248270	5340214942	106.5	131.4	89.9	83.4	
30		CHBH11	養老	35.280105	140.159457	5240713242	41.8	47.3	36.1	46.5	
31		CHBH12	富津	35.337917	139.861834	5339060842	91.7	74.5	83.7	70.7	
32		CHBH13	成田	35.824269	140.304589	5340528434	244.5	234.0	171.6	160.4	
33		CHBH14	銚子中	35.727643	140.829634	5340467614	170.4	122.3	84.8	67.9	
34		CHBH16	鴨川	35.131785	139.971339	5239575743	56.5	57.2	52.2	53.7	
35		CHBH20	鴨川南	35.081476	140.106150	5240409834	20.4	24.6	20.4	24.6	
36		KK-net	ABI	我孫子市	35.857890	140.034654	5340602244	155.3	176.1	134.6	156.6
37	ASH		旭市	35.713967	140.653320	5340455232	157.1	152.7	116.0	115.4	
38	CHK		千倉町	34.968052	139.962125	5239376622	32.7	48.9	29.4	44.5	
39	CHN		長南町	35.379778	140.243823	5340015941	61.5	64.1	54.6	58.8	
40	CHS		長生村	35.405888	140.360217	5340028842	73.8	88.8	63.6	58.4	
41	FUN		船橋市	35.688151	139.989082	5339472931	197.8	109.7	140.2	79.6	
42	FUT		富津市	35.297821	139.862122	5239765842	76.7	78.4	56.9	54.2	
43	HAS		蓮沼村	35.595637	140.507698	5340341023	143.1	123.6	125.3	105.3	
44	HIG		千漣町	35.759812	140.625259	5340551011	243.3	286.7	166.5	162.4	
45	HIK		光町	35.659243	140.511082	5340349022	160.9	170.1	121.3	167.3	
46	ICH		市原市	35.491454	140.122148	5340108944	91.1	122.2	74.4	100.4	
47	ICK		市川市	35.715373	139.937139	5339475444	107.6	129.1	77.3	83.5	
48	IIO		飯岡町	35.702304	140.720266	5340454723	202.4	206.3	154.8	139.9	
49	INB		印旛村	35.772595	140.211608	5340512642	288.3	349.8	244.4	304.8	
50	INZ		印西市	35.825664	140.152444	5340519211	303.9	293.2	228.4	267.4	
51	ISU		夷隅町	35.278094	140.318271	5240723514	74.6	77.2	61.3	70.7	
52	KAS		柏市	35.861782	139.982699	5339673823	112.1	98.0	77.0	64.4	
53	KIS		木更津市	35.369500	139.923240	5339074324	73.3	94.0	61.5	87.1	
54	KMT		君津市	35.323654	139.908517	5239778243	68.6	63.8	53.0	57.1	
55	KMY	鎌ヶ谷市	35.770380	140.007427	5340502023	216.6	206.2	144.4	134.9		

表 2.2.1-1(2) 再現計算に用いた地震観測点の一覧(2)

No	提供元	観測点 コード	観測点名	緯度	経度	250mメッシュ コード	地表加速度観測値		基盤加速度(2E)計算値		備考	
							NS(gal)	EW(gal)	NS(gal)	EW(gal)		
56	KK-net	KOZ	神崎町	35.895105	140.411912	5340637224	235.9	221.4	104.9	83.4		
57		KUJ	九十九里町	35.528673	140.446902	5340233524	186.1	131.8	53.8	46.1		
58		KUR	栗源町	35.804262	140.507748	5340546041	171.3	221.5	66.2	78.4		
59		KYO	鋸南町	35.104182	139.901832	5239572231	99.7	107.2	49.0	53.0		
60		MAR	丸山町	35.014999	139.968517	5239471734	77.1	111.5	31.2	44.4		
61		MAT	松戸市	35.781214	139.909639	5339573242	152.5	132.7	47.4	49.4		
62		MIS	岬町	35.293406	140.393278	5240735112	79.0	108.5	26.9	39.2		
63		MIY	三芳村	35.019450	139.901561	5239472213	106.5	79.0	51.1	37.2		
64		MOB	茂原市	35.422022	140.294368	5340120341	84.7	71.4	35.8	30.9		
65		MOT	本埜村	35.810380	140.207998	5340517621	367.8	215.2	108.9	68.5		
66		MTO	松尾町	35.631184	140.462187	5340335642	110.7	97.2	39.1	37.4		
67		MUT	睦沢町	35.354492	140.326052	5340022631	79.2	89.3	38.0	41.0		
68		NAR	成田市	35.770932	140.325229	5340522631	297.9	267.9	107.2	102.9		
69		NGR	長柄町	35.424505	140.234653	5340110844	71.3	68.3	33.4	31.1		
70		NGY	流山市	35.849842	139.908812	5339671243	103.9	144.3	45.5	51.9		
71		NOD	野田市	35.949017	139.881034	5339773034	217.3	302.0	73.0	111.8		
72		NOS	野栄町	35.654241	140.575809	5340348631	150.9	157.9	45.5	55.3		
73		NRS	習志野市	35.673979	140.033255	5340400243	226.4	202.4	68.6	63.9		
74		NRU	成東町	35.596742	140.419402	5340331341	121.5	128.2	49.1	50.4		
75		OHA	大原町	35.247261	140.391058	5240639132	50.7	46.5	18.8	17.7		
76		OMI	小見川町	35.840935	140.609989	5340640844	166.5	157.5	58.8	57.0		
77		ONJ	御宿町	35.185581	140.356055	5240622814	41.8	30.7	19.4	14.3		
78		OOA	大網白里町	35.515064	140.327166	5340221633	114.2	90.7	45.3	33.0		
79		OOT	大多喜町	35.278373	140.252155	5240723013	47.2	43.9	21.6	18.6		
80		SAW	佐原市	35.890943	140.505530	5340646034	238.9	251.1	124.2	127.0		
81		SEK	野田市	36.019306	139.827141	5439062613	339.1	259.4	132.6	83.7		
82		SHB	芝山町	35.686470	140.420795	5340432323	237.7	220.8	74.2	81.0		
83		SHI	酒々井町	35.718146	140.275782	5340426211	173.2	175.0	62.4	68.4		
84		SHO	柏市	35.834838	140.014372	5340600111	180.4	210.5	76.9	78.9		
85		SHR	白井市	35.785099	140.062985	5340504511	193.0	188.8	74.9	76.1		
86		SIR	白子町	35.447833	140.380501	5340133032	95.9	111.9	37.0	39.8		
87		SKE	栄町	35.834272	140.250504	5340620011	245.9	313.8	92.6	122.1		
88		SKR	佐倉市	35.726359	140.230478	5340417812	308.8	303.9	131.7	109.2		
89		SNB	山武町	35.637305	140.373288	5340326924	257.8	273.4	120.6	114.4		
90		SOD	袖ヶ浦市	35.423118	139.961023	5339170644	68.2	68.4	29.0	30.6		
91		SRH	白浜町	34.901355	139.906328	5239278221	29.6	31.8	12.6	15.0		
92		TAT	館山市	34.989996	139.876557	5239378033	63.3	67.4	26.0	27.1		
93		TMU	富浦町	35.036673	139.846835	5239464723	60.5	56.7	25.8	24.9		
94		TMY	富山町	35.088070	139.854057	5239560832	30.0	20.6	13.3	8.7		
95		TOG	東金市	35.553407	140.372724	5340226924	156.4	144.5	53.8	59.3		
96		TOM	富里市	35.720366	140.349680	5340426724	207.2	225.5	75.6	83.1		
97		TON	東庄町	35.834821	140.666384	5340650312	132.6	125.3	46.3	57.5		
98		UNA	海上町	35.726747	140.698325	5340457522	158.5	147.1	51.7	48.3		
99		URA	浦安市	35.647585	139.908524	5339377241	141.5	124.4	61.2	61.9		
100		WAD	和田町	35.036390	140.027413	5240404213	29.6	34.0	14.3	16.5		
101		YAM	山田町	35.796479	140.581925	5340545641	334.1	398.7	115.3	157.7		
102		YCM	八街市	35.658970	140.324394	5340329522	189.2	262.3	77.0	92.8		
103		YCY	八千代市	35.715932	140.106324	5340405843	219.8	235.7	67.8	72.0		
104		YKI	八日市場市	35.701447	140.570811	5340444521	141.0	171.4	53.8	56.2		
105		YOK	横芝町	35.651184	140.488019	5340338911	140.6	148.5	62.6	71.3		
106		YOT	四街道市	35.663423	140.174378	5340319342	185.0	184.1	58.6	58.6		
107		ab	我孫子市	35.865881	140.037164	5340603244	224.8	213.4	77.4	72.9		
108		gy	市川市	35.680058	139.924747	5339471342	144.2	144.9	124.6	81.4		
109		it	市原市	35.516639	140.074855	5340201544	129.7	95.7	50.3	38.6		
110		so	袖ヶ浦市	35.441831	139.986946	5339173822	151.5	99.3	42.9	37.7		
111		中井研	MAK	海浜幕張	35.644722	140.036111	5340307224	244.0	274.1	102.0	83.3	

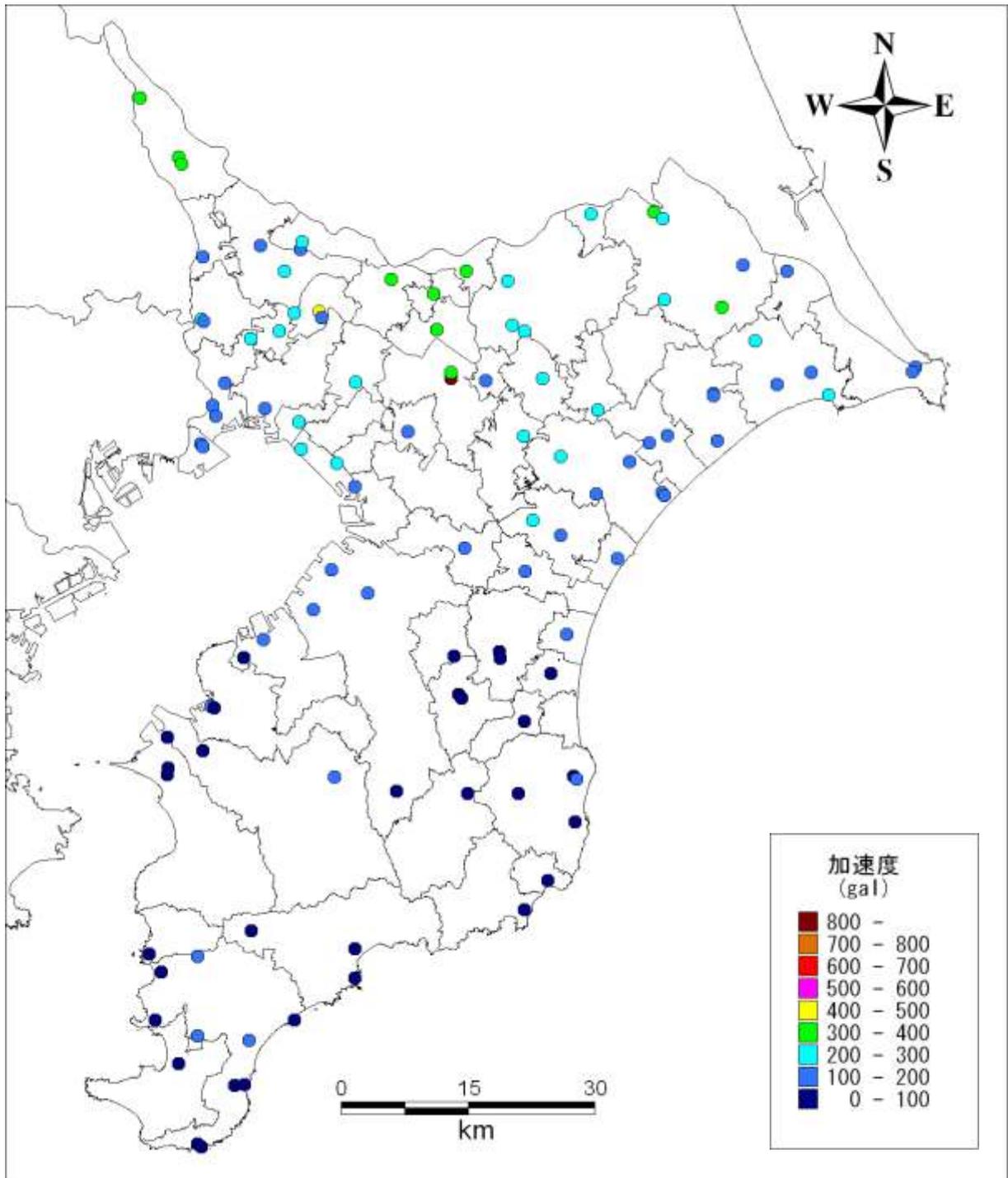


図 2.2.1-1 地震観測点の観測最大加速度分布

精査中

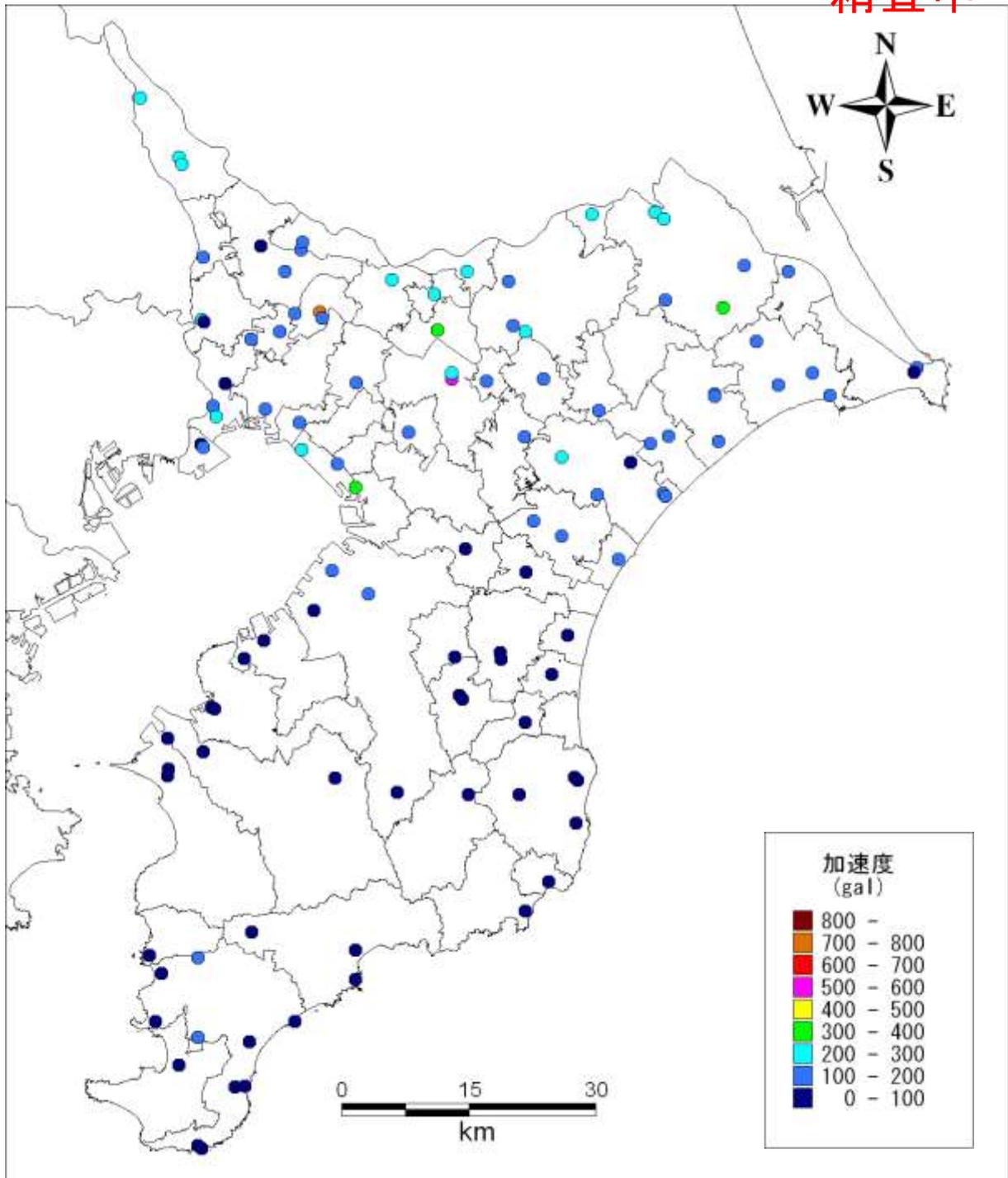


図 2.2.1-2 引き戻し計算により求めた地震観測点の工学的基盤最大加速度分布

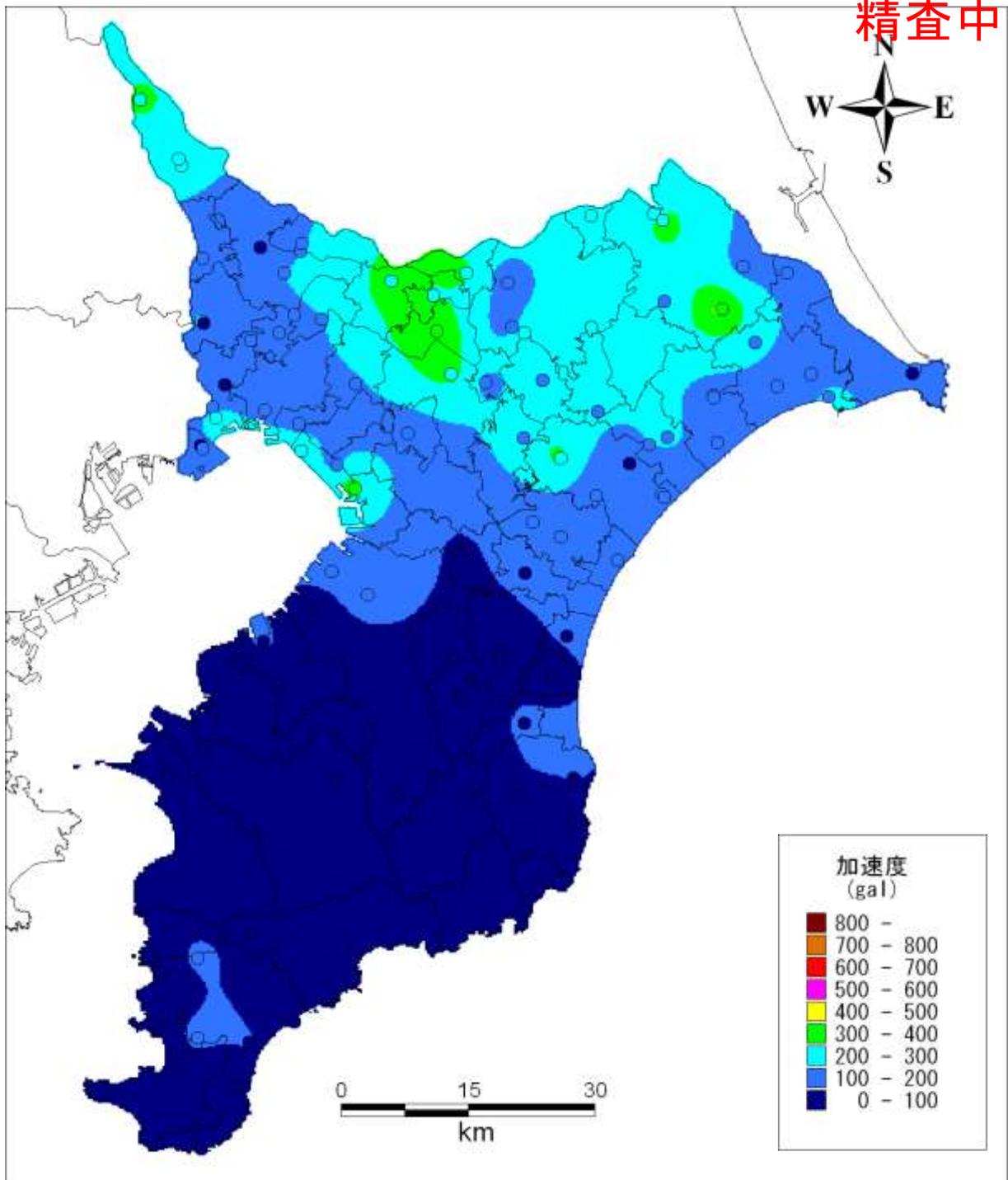


図 2.2.2-1 各観測点のデータを補間して求めた  
東北地方太平洋沖地震の工学的基盤最大加速度分布

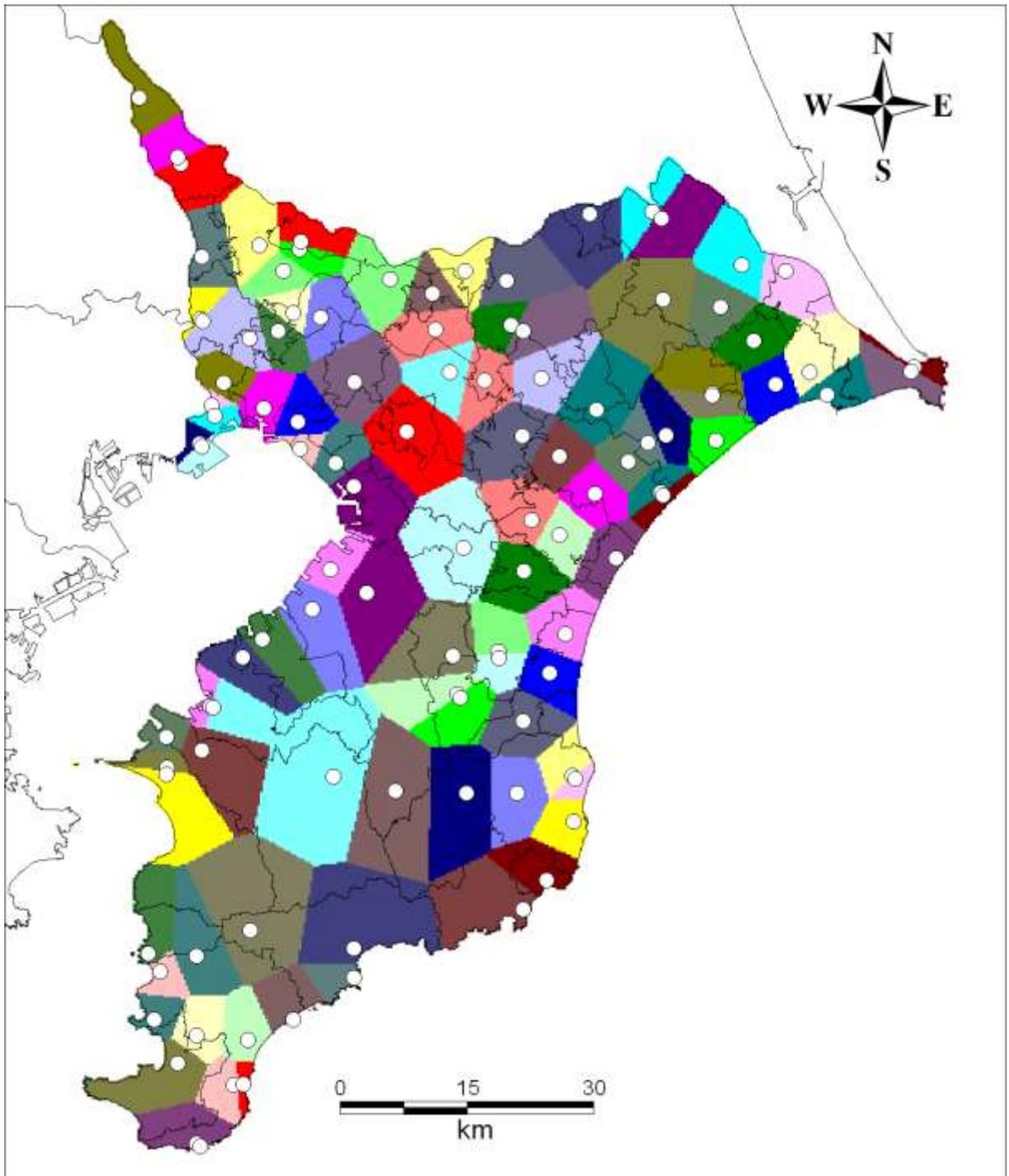


図 2.2.3-1 250m メッシュの地震動計算に用いた地震観測点の受け持ち範囲

精査中

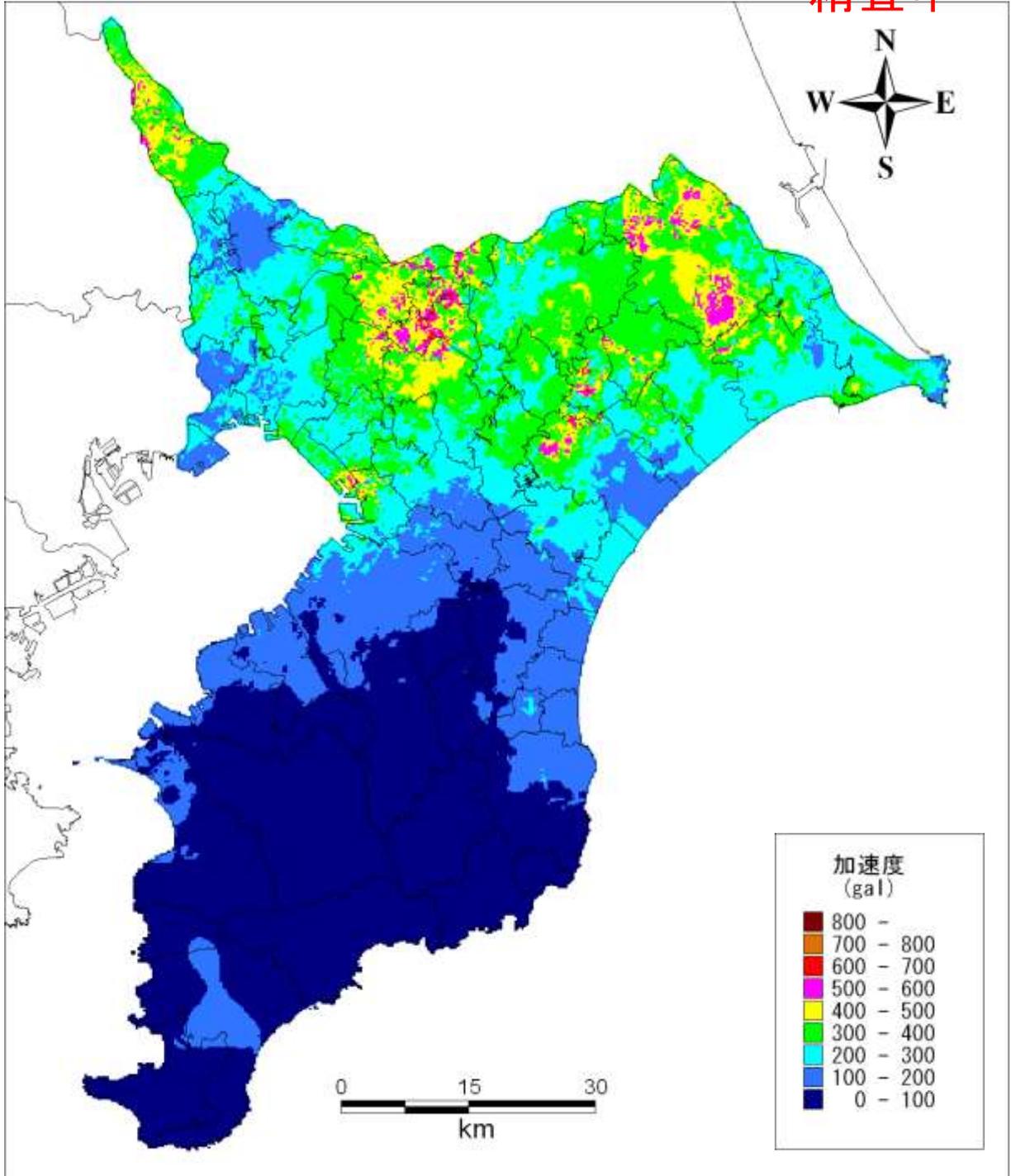


図 2.2.3-2 地震応答計算により求めた東北地方太平洋沖地震の地表最大加速度分布

精査中

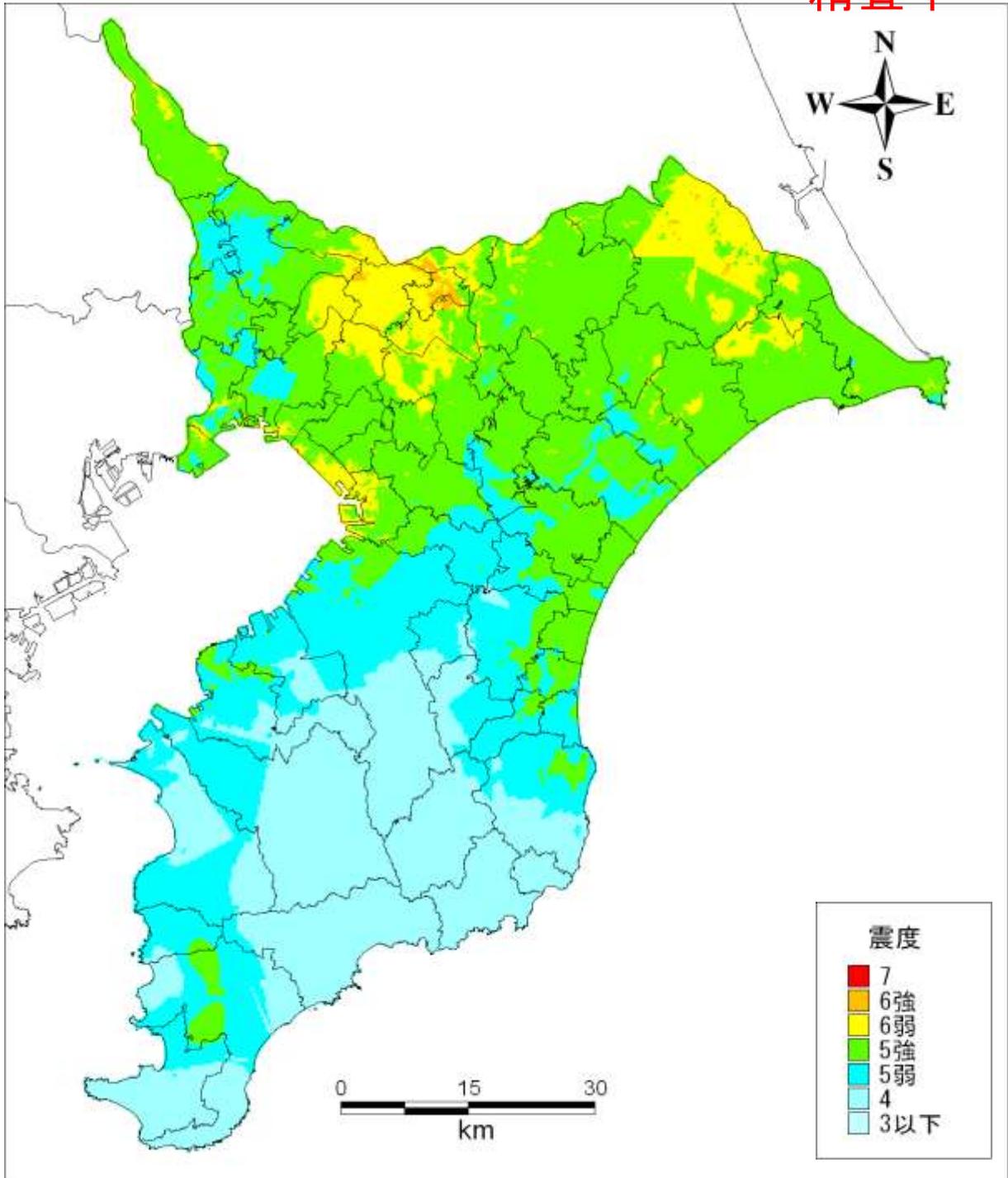


図 2.2.3-3 地震応答計算により求めた東北地方太平洋沖地震の地表震度分布

精査中

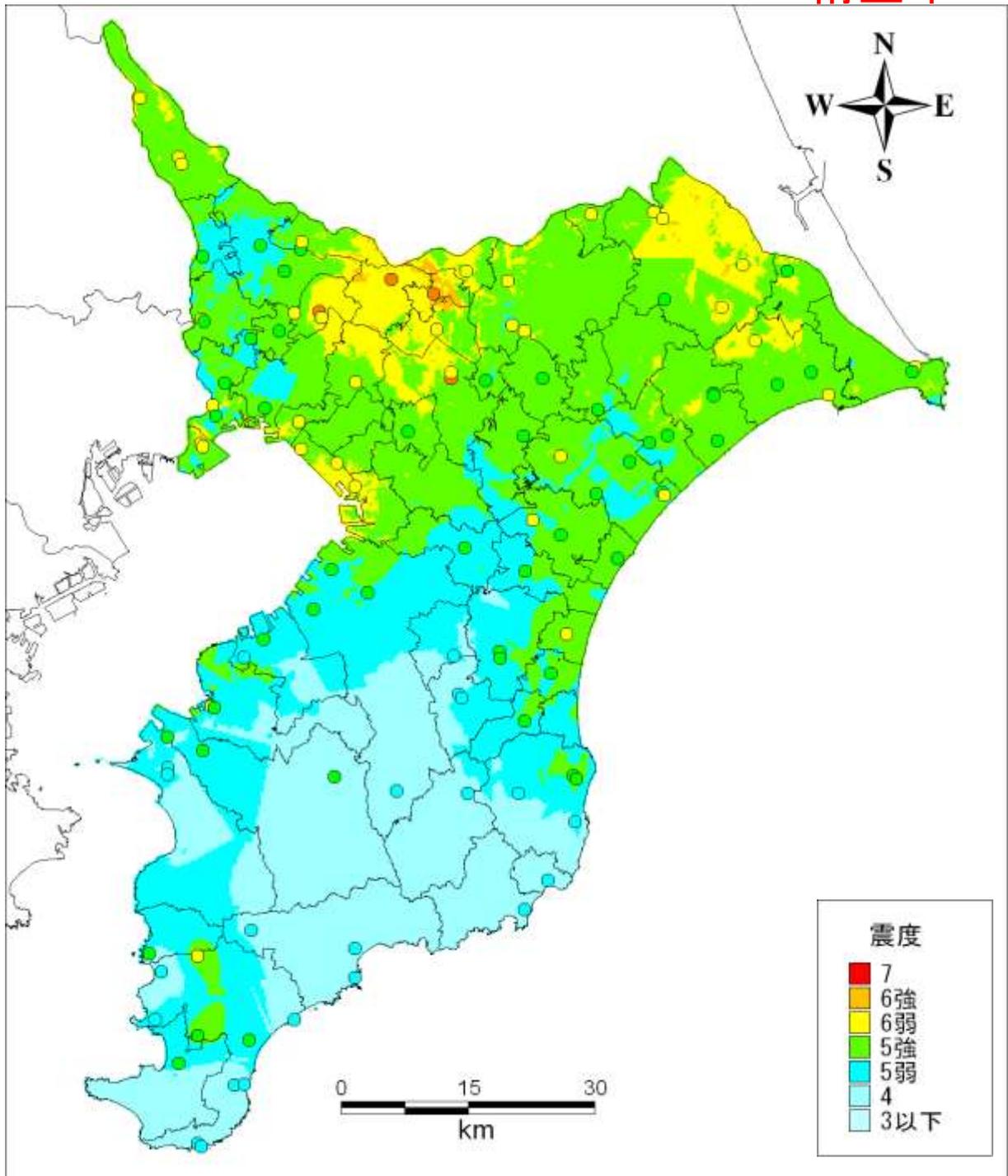


図 2.2.3-4 地震応答計算により求めた東北地方太平洋沖地震の地表震度分布と地震観測点の震度分布との比較

## 2.3 千葉県内の液状化発生地域について

2011年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)によって、関東地方で液状化した都道府県と市町村をまとめたのが表2.3-1である。千葉県で液状化が発生した市町村数は25市町村で、茨城県の36市町村の次に多い。

本章で示す図は、国土交通省関東地方整備局・公益社団法人地盤工学会による、東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明<sup>1)</sup>と千葉県環境研究センター液状化報告第1報～第4報<sup>2)</sup>からの抜粋、及び、加筆修正したものである。

表 2.3-1 関東地方で液状化した都道府県と市区町村数

都道府県	市区町村	液状化が発生した市区町村数
茨城県	水戸市、日立市、土浦市、古河市、石岡市、結城市、龍ヶ崎市 下妻市、常総市、常陸太田市、北茨城市、取手市、つくば市 ひたちなか市、鹿嶋市、潮来市、守谷市、那珂市、筑西市、坂東市 稲敷市、かすみがうら市、神栖市、行方市、銚田市、つくばみらい市 茨城町、大洗町、東海村、美浦村、阿見町、河内町、八千代町 五霞町、境町、利根町	36
栃木県	栃木市、真岡市、大田原市	3
群馬県	館林市、板倉町、邑楽町	3
埼玉県	さいたま市、熊谷市、川口市、行田市、加須市、春日部市、羽生市 越谷市、戸田市、鳩ヶ谷市、和光市、久喜市、八潮市、幸手市 吉川市、宮代町	16
千葉県	千葉市、銚子市、市川市、船橋市、木更津市、松戸市、野田市 成田市、東金市、旭市、習志野市、柏市、八千代市、我孫子市 浦安市、袖ヶ浦市、印西市、南房総市、匝瑳市、香取市、山武市 栄町、神崎町、東庄町、九十九里町、	25
東京都	中央区、港区、墨田区、江東区、品川区、大田区、北区、板橋区 足立区、葛飾区、江戸川区	11
神奈川県	横浜市、川崎市	2
	総 計	96

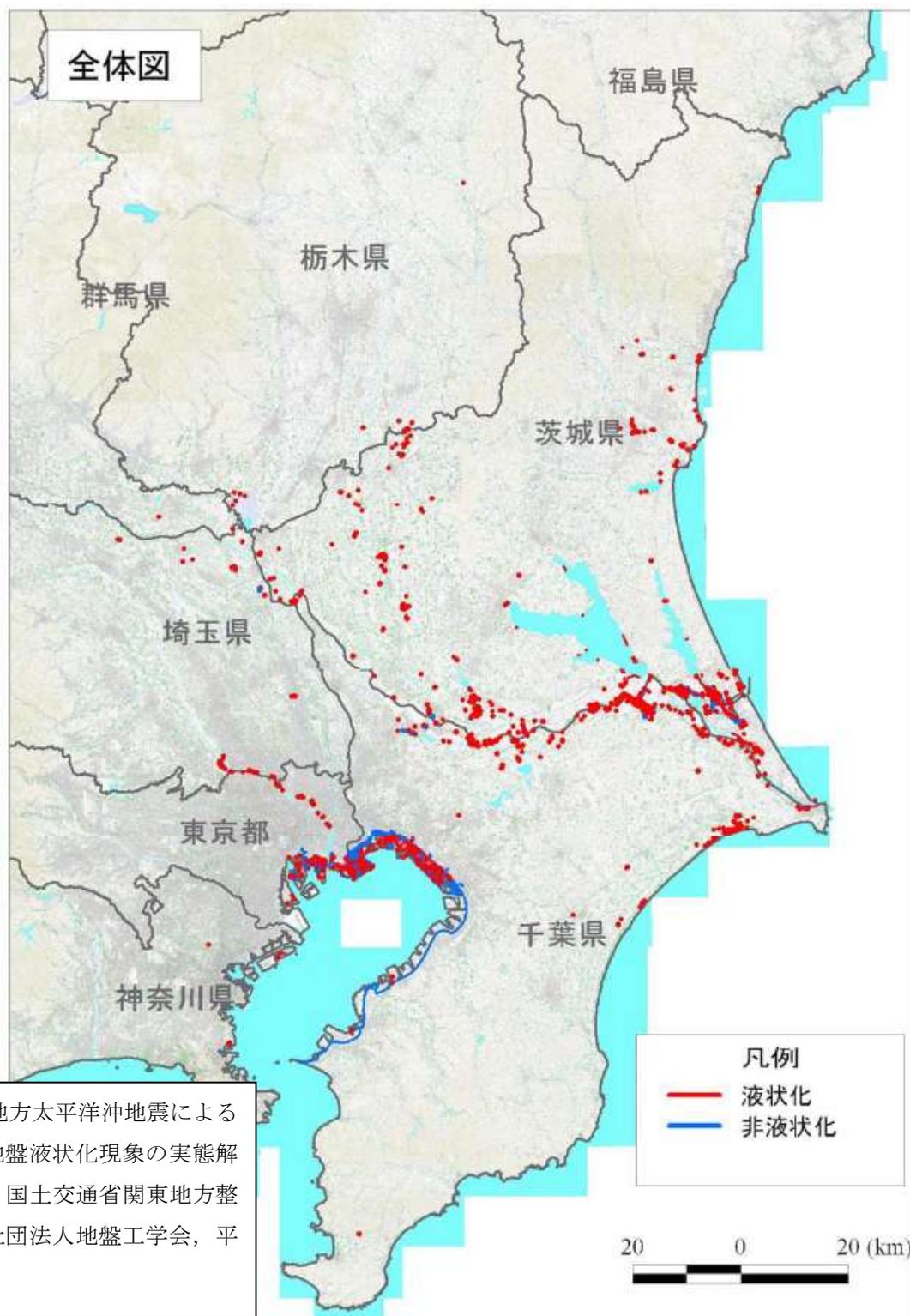


図 2.3-1 関東地方で液状化現象が認められた地点，及び地域

図 2.3-1 のうち千葉県内の調査範囲は、図 2.3-2 に示す黄色の範囲である。

各調査範囲の拡大図を、図 2.3-3 から図 2.3-9 に示す。また、千葉県東方沖地震の液状化地点の比較を図 2.3-10 に示す。

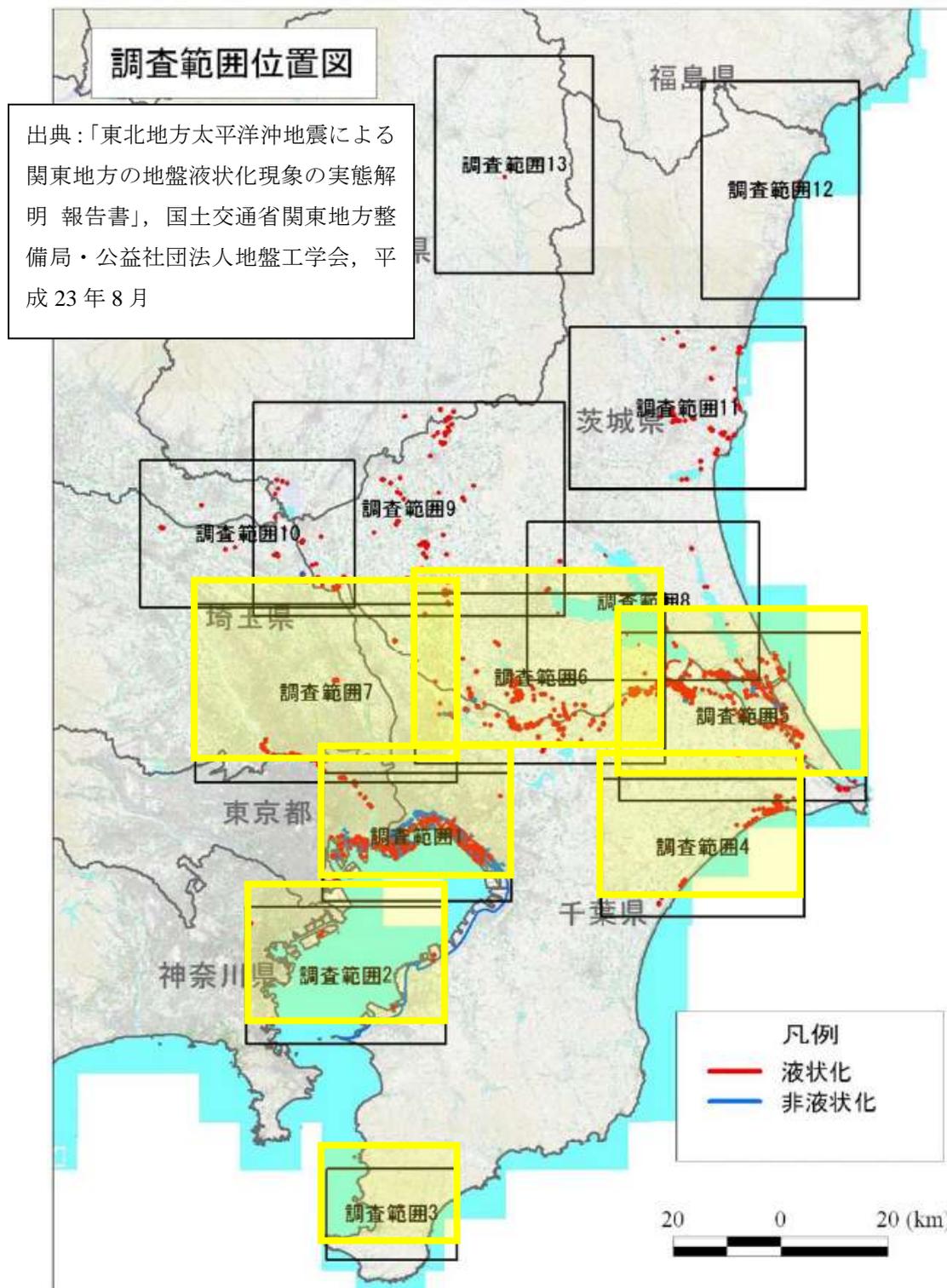


図 2.3-2 千葉県で液状化現象が認められた地点，及び地域（黄色で囲われた調査範囲 1 から 7）



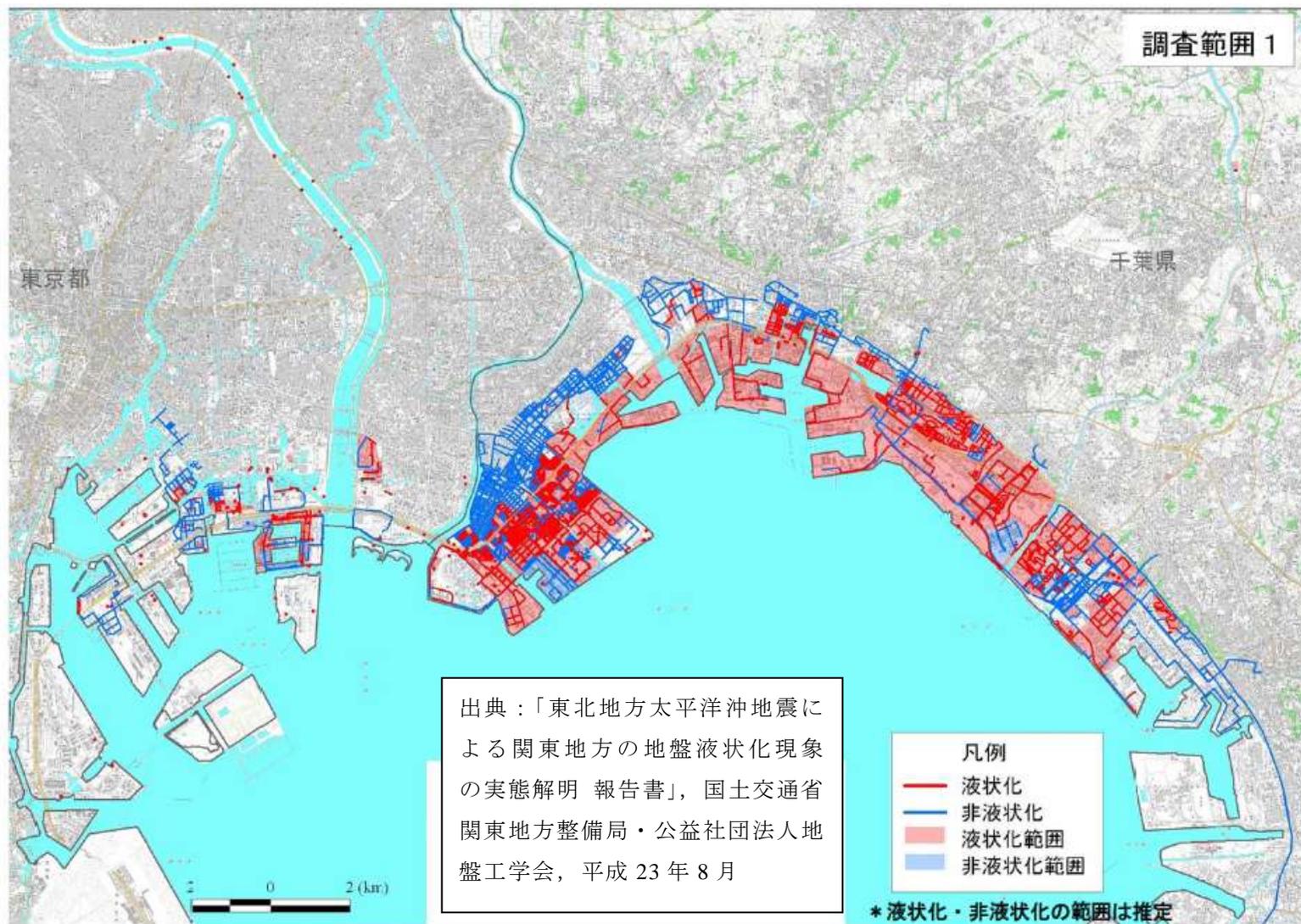


図 2.3-3 液状化調査範囲位置図その 1 (東京湾岸北部)



図 2.3-4 液状化調査範囲位置図その 2 (東京湾岸南部)

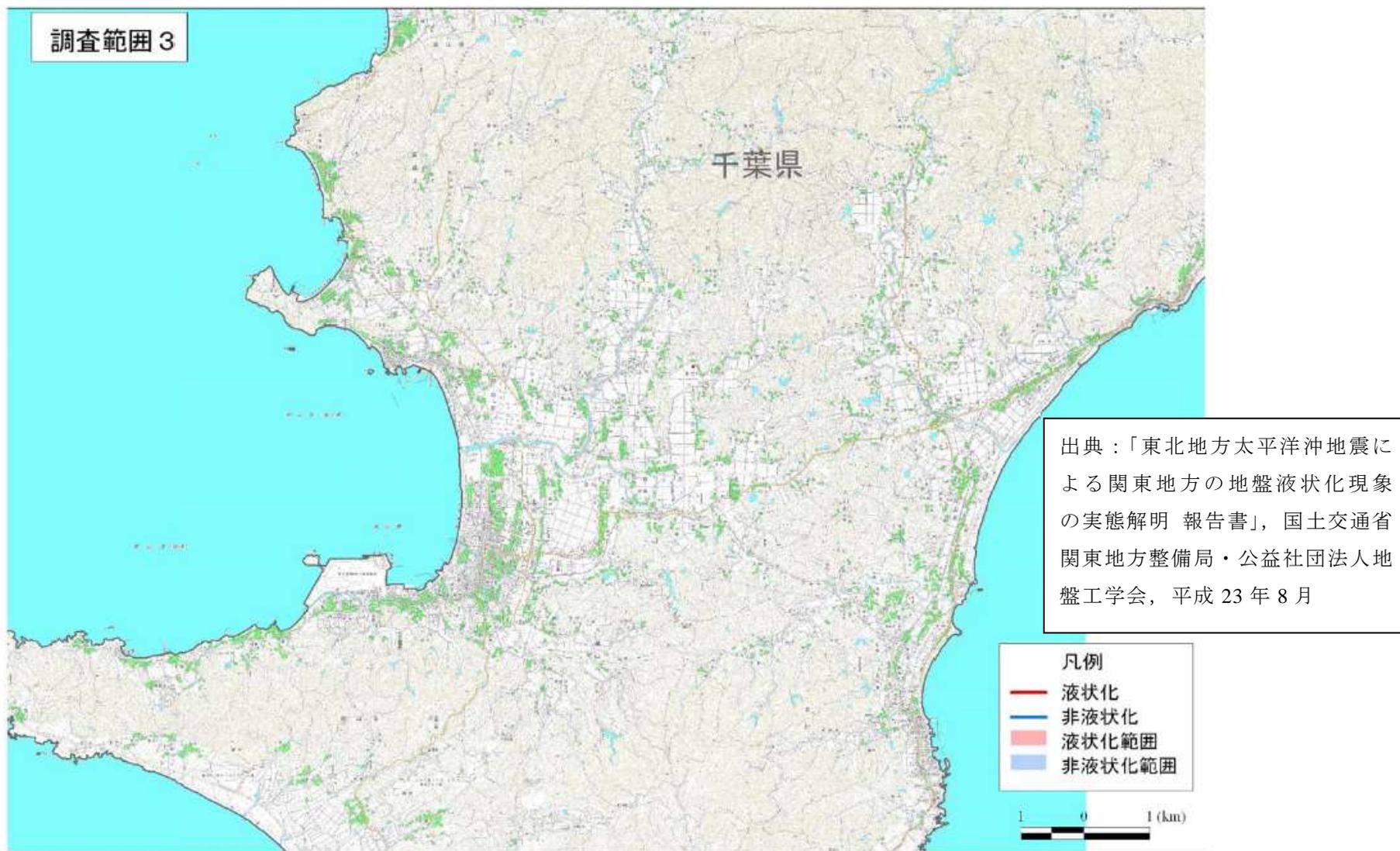


図 2.3-5 液状化調査範囲位置図その 3 (南房総)



図 2.3-6 液状化調査範囲位置図その 4 (九十九里沿岸)