

2013年栃木県北部地震の概要

- 地震発生日時(気象庁他)
 - 発生日時:平成25年2月25日 16時23分頃
 - 地震規模: Mj6.3 (Mw5.8)
 - 震源深さ:約3km
 - 震源位置:北緯36.873°, 東経139.412°
- 各地の震度及び被害状況

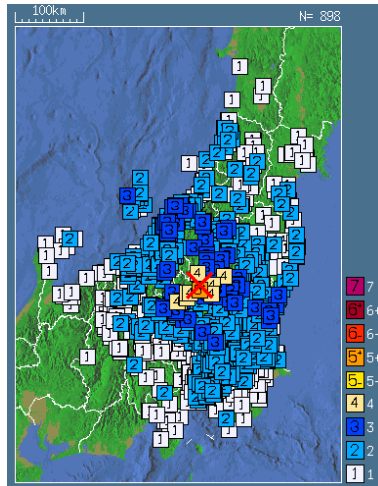
各地の震度(気象庁)は以下のとおり。

 - 震度5強:栃木県 日光市
 - 地震による津波の発生はなし

被害状況(消防庁)は以下のとおり。

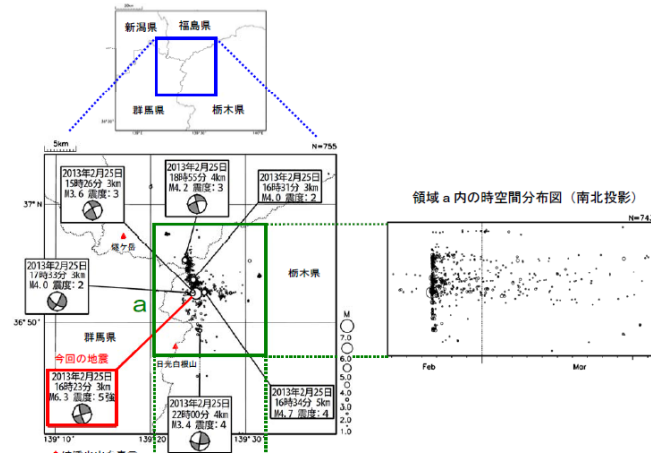
- 住家被害:被害なし
- 人的被害:被害なし
- その他被害:被害なし

- 地震発生メカニズム(気象庁)
 - 発震機構解より、西北西-東南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型の地震。
 - 震央付近(領域a)では、2月23日頃から地震活動が見られており、約1時間前の2月25日15時26分にもM3.6の地震(最大震度3)が発生。今回の地震の発生後、活発な余震活動が見られ、同日16時34分にM4.7の地震(最大震度4)が発生。

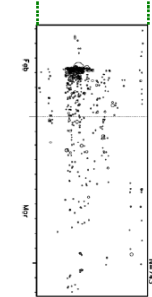


気象庁 震度データベースによる震度分布

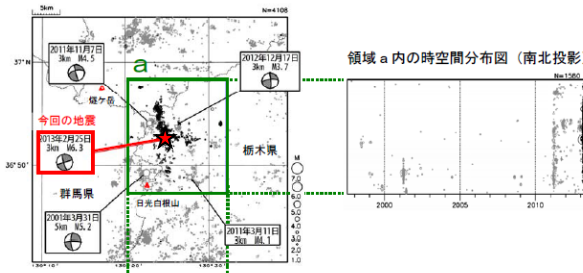
震央分布図
(2013年2月23日~2013年3月12日、深さ0~20km、M≥1.0)



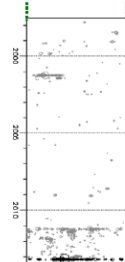
領域a内の時空間分布図(東西投影)



震央分布図
(1997年10月1日~2013年3月12日、深さ0~20km、M≥1.0)
2013年2月以降の地震を濃く表示



領域a内の時空間分布図(東西投影)



2013年栃木県北部地震の観測記録

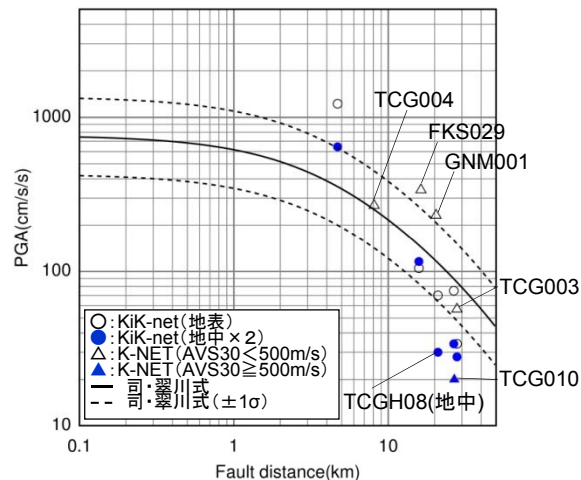
●断層最短距離30km以内の観測記録は下表の10記録であった。このうち震源近傍に位置するTCGH07観測点において、地表で最大加速度1224.3Galが観測されており、司・翠川(1999)の距離減衰式の+1σを上回る。

K-NETの最大加速度

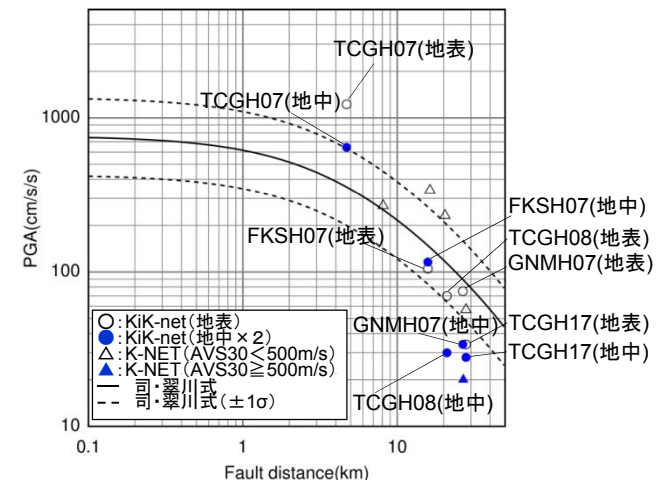
観測点		震源距離 (km)	AVS30 (m/s)	最大加速度 (Gal)		
				水平 (NS)	水平 (EW)	鉛直 (UD)
K-NET (地表)	TCG004	湯元	8.1	196.8	269.5	283.2
	FKS029	桧枝岐	16.3	199.8	339.2	146.0
	GNM001	片品	20.4	168.2	231.5	100.9
	TCG010	足尾	26.8	12.2	20.0	12.9
	TCG003	藤原	27.9	56.9	55.4	28.8

KiK-netの最大加速度

観測点		震源距離 (km)	AVS30 (m/s)	最大加速度 (Gal)		
				水平 (NS)	水平 (EW)	鉛直 (UD)
KiK-net (地表・地中)	TCGH07	栗山西	4.7	1224.3 (296.2)	835.0 (322.3)	736.5 (168.2)
	FKSH07	檜枝岐	15.8	91.7 (28.9)	105.3 (58.5)	74.1 (33.9)
	TCGH08	栗山東	21.0	69.8 (15.1)	62.2 (14.4)	42.8 (14.9)
	GNMH07	利根	26.6	74.6 (17.4)	69.0 (16.3)	54.2 (12.7)
	TCGH17	藤原2	27.9	34.2 (13.5)	30.3 (10.3)	17.4 (6.4)



距離減衰式との関係

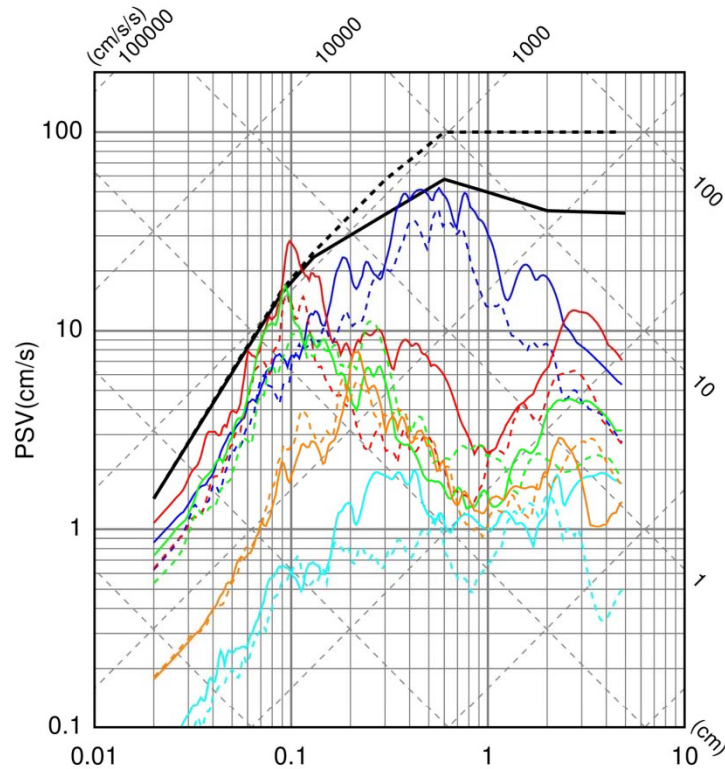


距離減衰式との関係

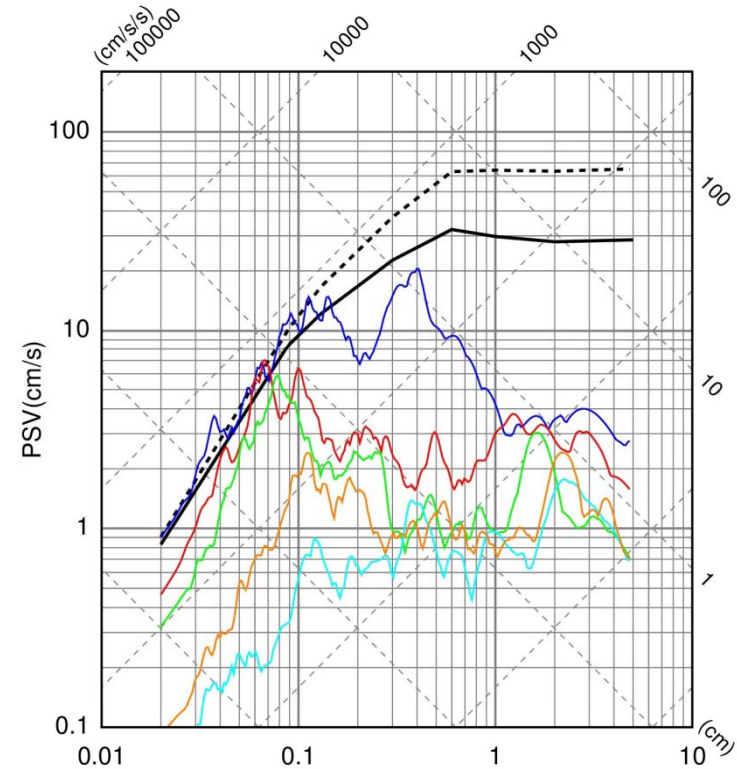
2013年栃木県北部地震の観測記録

●K-NET観測点の観測記録のうち、FKS029及びTCG004観測点では、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。

- | | | | |
|----------------------------|-------------------------|-----|------------------------|
| --- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s) | — GNM001(X=20.4km)_EW | --- | 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s) |
| — 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s) | --- GNM001(X=20.4km)_NS | — | 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s) |
| — TCG004(X=8.1km)_EW | --- TCG010(X=26.8km)_EW | — | TCG004(X=8.1km)_UD |
| --- TCG004(X=8.1km)_NS | --- TCG010(X=26.8km)_NS | — | FKS029(X=16.3km)_UD |
| — FKS029(X=16.3km)_EW | --- TCG003(X=27.9km)_EW | — | GNM001(X=20.4km)_UD |
| --- FKS029(X=16.3km)_NS | --- TCG003(X=27.9km)_NS | — | TCG010(X=26.8km)_UD |
| | | — | TCG003(X=27.9km)_UD |



Period(s)
水平方向

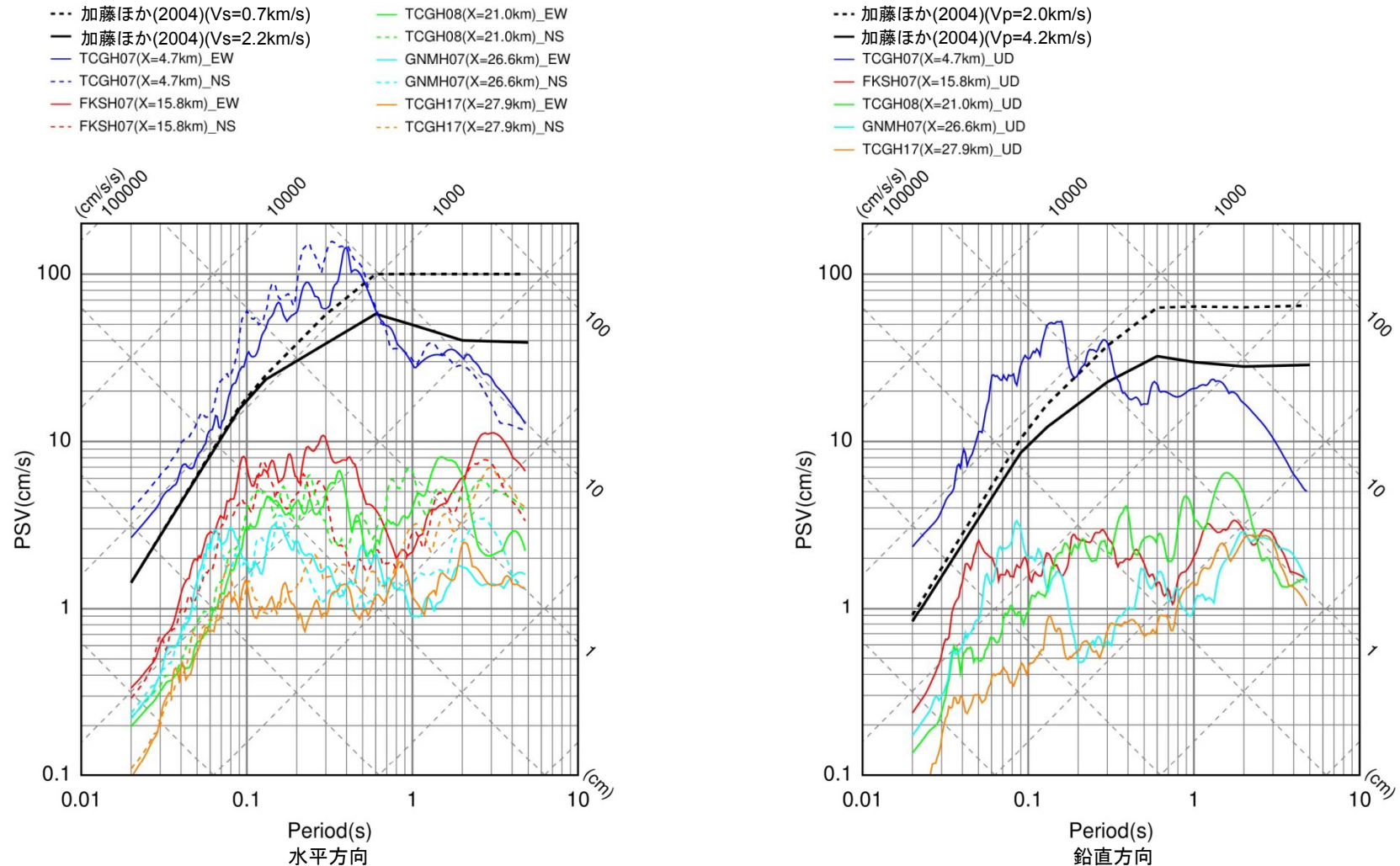


Period(s)
鉛直方向

K-NET各観測点による応答スペクトルと加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

2013年栃木県北部地震の観測記録

●KiK-net観測点の地表観測記録のうち、TCGH07観測点では、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る。

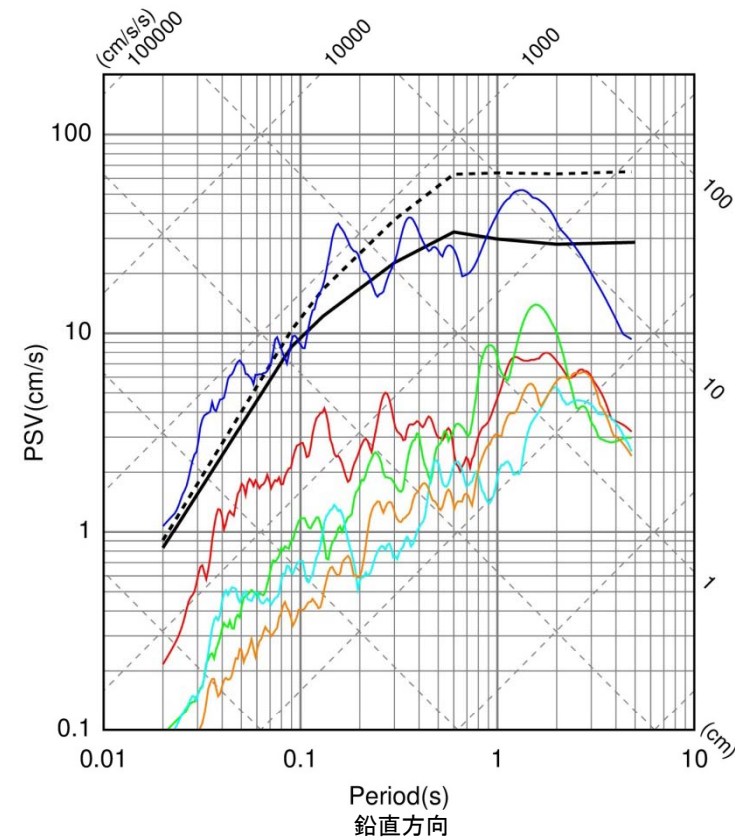
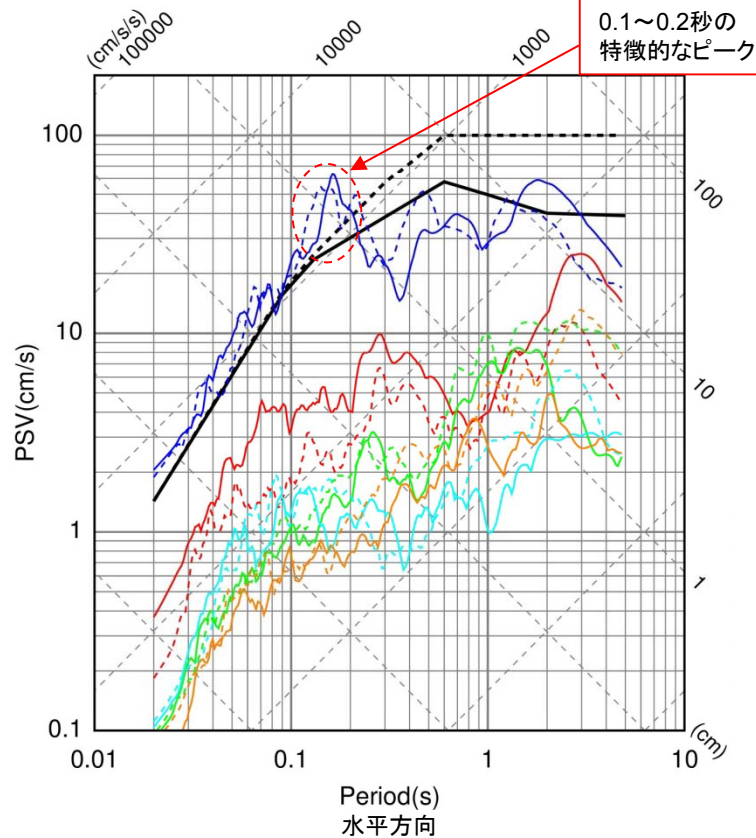


KiK-net各観測点による応答スペクトル(地表)と加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

2013年栃木県北部地震の観測記録

●KiK-net観測点の地中観測記録(地中×2)のうち, TCGH07観測点では, 加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。

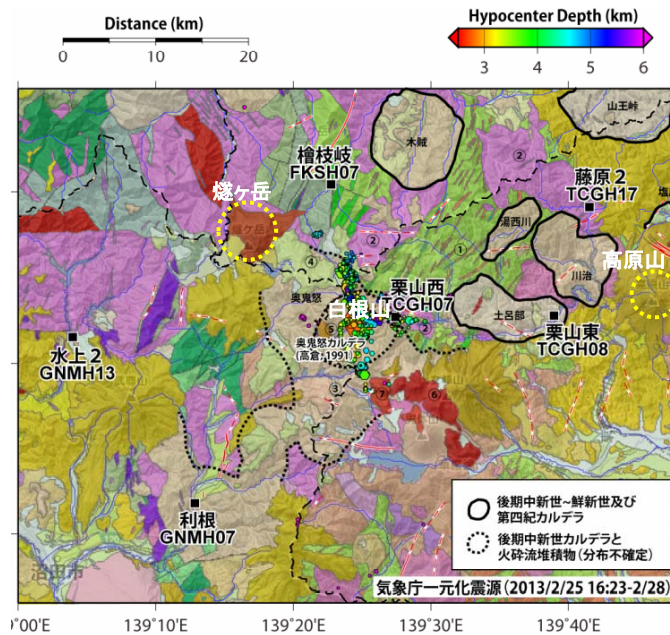
- | | | |
|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| --- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s) | — TCGH08(X=21.0km)_EW | --- 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s) |
| — 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s) | --- TCGH08(X=21.0km)_NS | — 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s) |
| — TCGH07(X=4.7km)_EW | — GNMH07(X=26.6km)_EW | — TCGH07(X=4.7km)_UD |
| --- TCGH07(X=4.7km)_NS | --- GNMH07(X=26.6km)_NS | — FKSH07(X=15.8km)_UD |
| — FKSH07(X=15.8km)_EW | — TCGH17(X=27.9km)_EW | — TCGH08(X=21.0km)_UD |
| --- FKSH07(X=15.8km)_NS | --- TCGH17(X=27.9km)_NS | — GNMH07(X=26.6km)_UD |
| | | — TCGH17(X=27.9km)_UD |



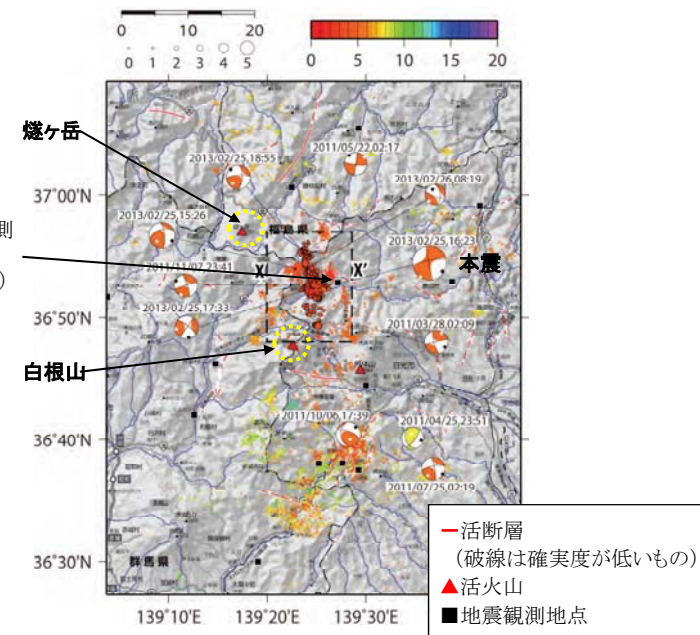
KiK-net各観測点による応答スペクトル(地中×2)と加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

2013年栃木県北部地震に関する震源周辺の地質構造

- 栃木県北部地震の震源域には、後期中新世の奥鬼怒カルデラ並びに同噴出物が分布する。
- 震源域周辺には、後期中新世～鮮新世に活動したカルデラ火山群があり、これらの近傍には前期～後期更新世に活動した第四紀火山が分布する。このうち高原山・白根山・燧ヶ岳(尾瀬)は、完新世に活動実績を持つ活火山であることから、この地域では火山活動が継続し、地殻浅部～深部の地質構造に様々な制約を与えていると想定される。
- 栃木県北部地震は、西北西－東南東方向に圧縮軸を持つ、横ずれ断層型である。余震分布は、南北方向からやや反時計回りに並んでおり、震源断層は南北系と想定される。
- 震源域周辺には、確実度が低い活断層が分布しているが、東西系の走向に近いことから、震源断層は活断層と無関係と見られている。



地質・カルデラと震央の分布図

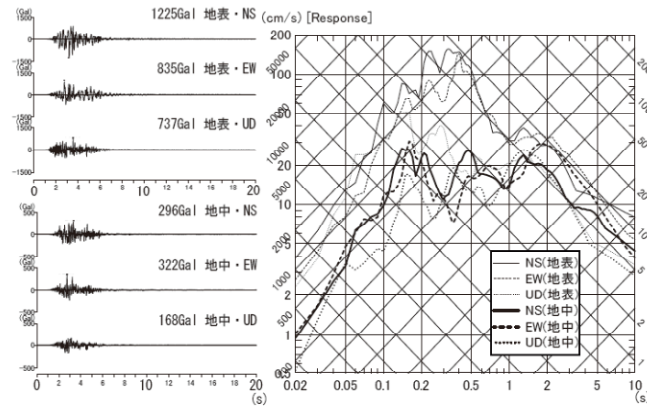

 栃木県北部地震とその周辺の地震活動
 (2011.3.11～2013.2.25の地震活動)

(地震速報)2013年2月15日栃木県北部の地震(電力中央研究所提供, 2013)に加筆

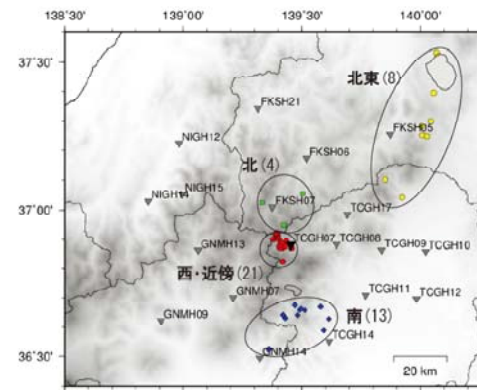
2013年栃木県北部地震に関する既往の知見

●引間(2013b)では、2013年栃木県北部地震のスペクトルインバージョンによりTCGH07観測点の観測記録を分析しており、TCGH07観測点の地中記録は周期0.2、0.4秒付近で卓越するとしている。また、増幅特性の要因が震源～観測点の伝播特性にあるか、TCGH07観測点の地盤特性にあるのかを分離することは難しいとしている。

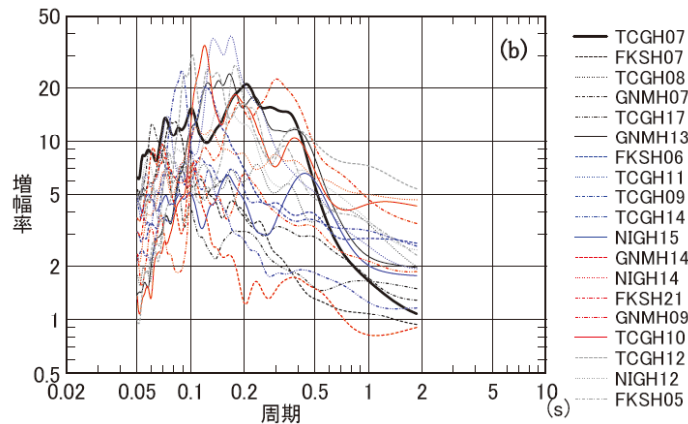
引間(2013)



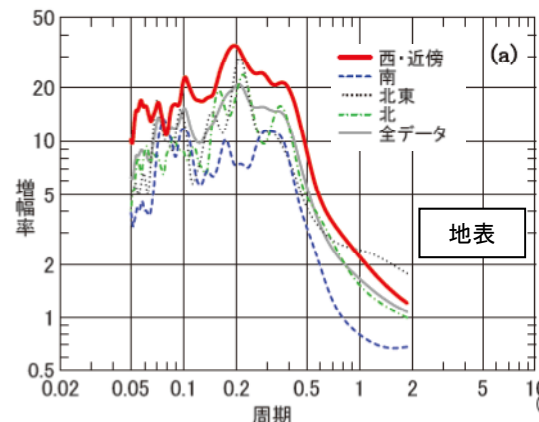
TCGH07(栗山西)での観測波形と疑似速度応答スペクトル



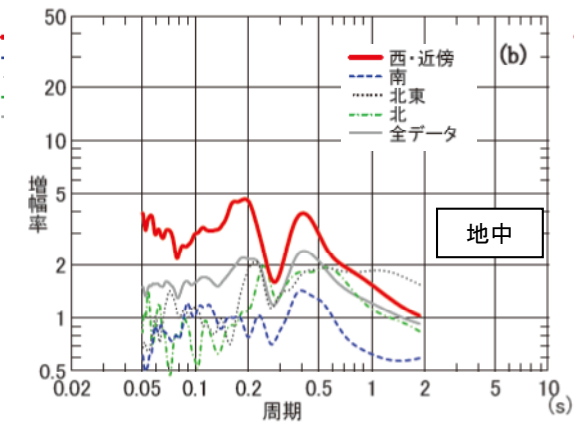
解析に用いた観測点と震央



解析により求めた地表観測点の増幅率



TCGH07観測点での地震発生領域別の増幅率



2013年栃木県北部地震 TCGH07(栗山西)のはざとり解析

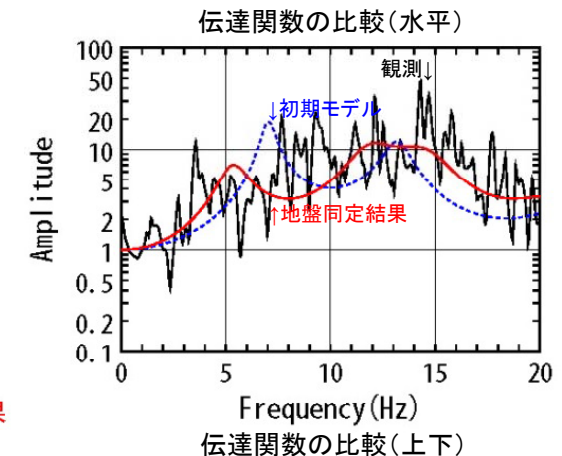
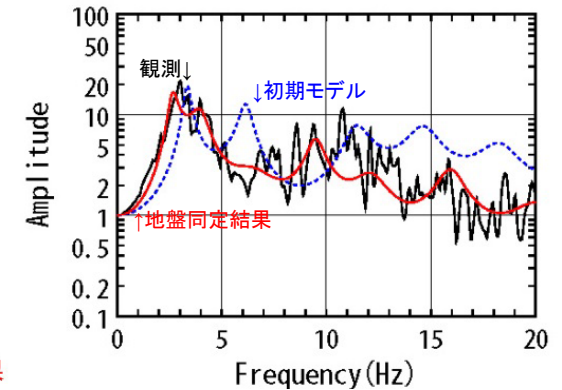
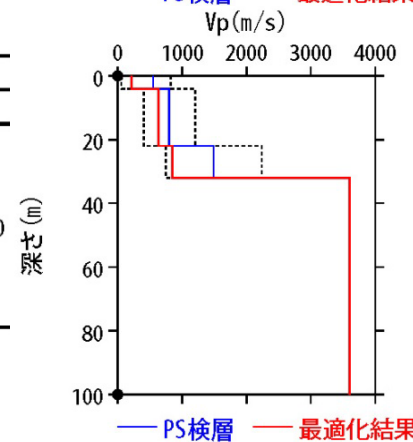
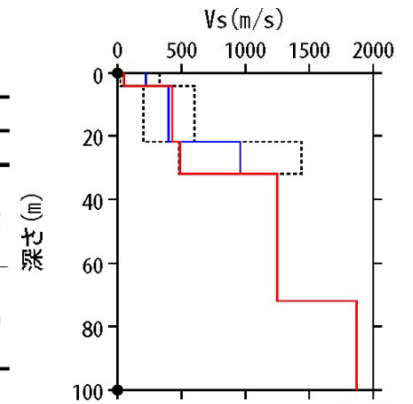
●TCGH07(栗山西)の観測記録について、KiK-netボーリングデータを初期値として、観測記録の伝達関数を再現できるように地盤同定を実施。

地盤同定結果(水平)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	S波速度 (m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	α
1	4	0	1.64	220	22	330	51	0.23		
2	18	4	1.64	400	200	600	428	1.07	0.081	0.312
3	10	22	1.64	960	480	1440	487	0.51		
4	40	32	2.33	1250	1250	1250	1250	1.00		
5	28	72	2.33	1870	1870	1870	1870	1.00	0.266	0.000
6	—	100	2.33	1870	1870	1870	1870	1.00		

地盤同定結果(上下)

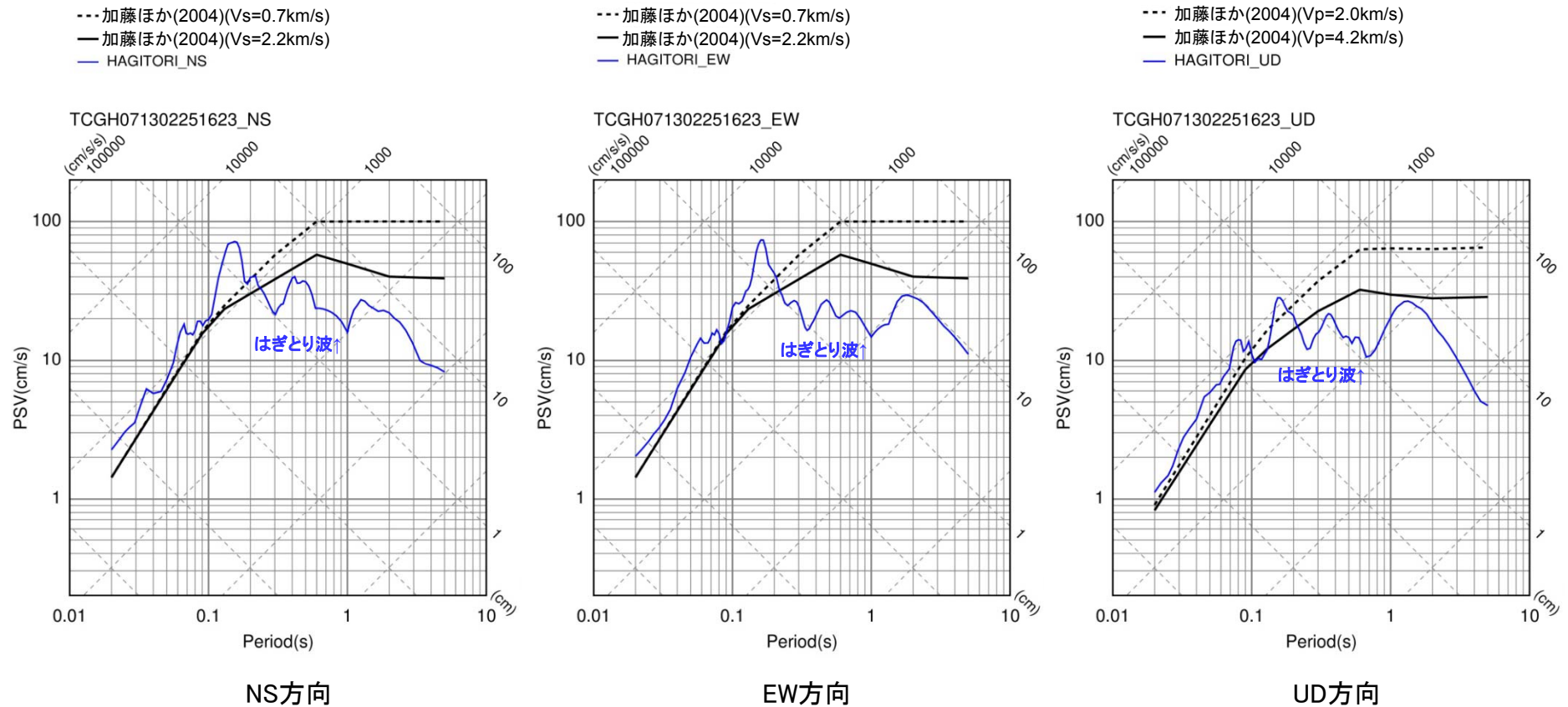
No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	P波速度 (m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	α
1	4	0	1.64	550	55	825	216	0.39		
2	18	4	1.64	800	400	1200	630	0.79		
3	10	22	1.64	1490	745	2235	844	0.57		
4	40	32	2.33	3600	3600	3600	3600	1.00	0.232	0.350
5	28	72	2.33	3600	3600	3600	3600	1.00		
6	—	100	2.33	3600	3600	3600	3600	1.00		



※電力共通研究「東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震動評価手法の高度化に関する研究」にて検討を実施

2013年栃木県北部地震 TCGH07(栗山西)のはぎとり解析

●地盤同定により得られた地盤モデルを用いて、TCGH07観測点のはぎとり解析を実施。
 ⇒得られた地盤モデルは、PS検層結果から大きく乖離しているため、1次元波動論によるはぎとり解析の適用は困難と考えられる。



3. Mw6.5未満の地震について

3.5 2011年茨城県北部地震

第59回審査会合
資料3に加筆修正

2011年茨城県北部地震の概要

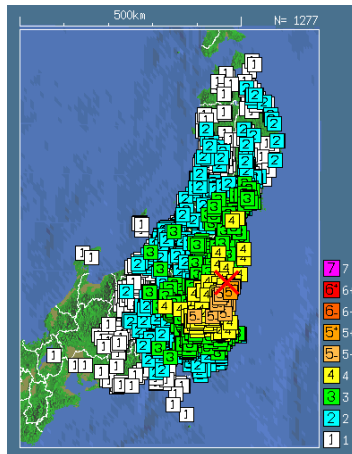
1. 地震発生日時(気象庁他)
- 発生日時: 平成23年3月19日 18時56分頃
 - 地震規模: Mj6.1 (Mw5.8)
 - 震源深さ: 約5km
 - 震源位置: 北緯36.783°, 東経140.57°

2. 各地の震度及び被害状況
- 各地の震度(気象庁)は以下のとおり。
- 震度5強: 茨城県 日立市
 - 震度5弱: 茨城県 常陸太田市, 高萩市, 笠間市, ひたちなか市, 常陸大宮市, 那珂市, 城里町, 土浦市, 五霞町
 - 地震による津波の発生はなし

被害状況についての資料なし。

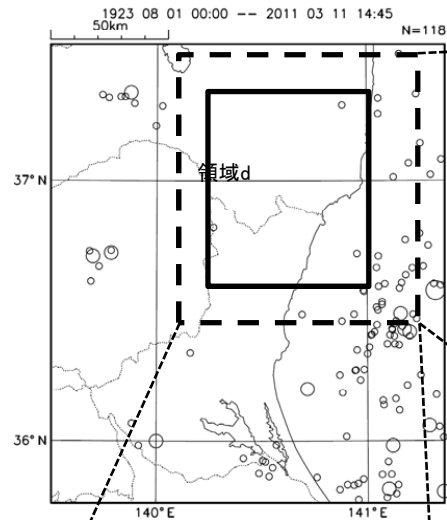
- 消防庁資料なし
- 気象庁資料なし

3. 地震発生メカニズム(気象庁)
- 発震機構解より, 北東-南西方向に張力軸を持つ正断層型の地震。
 - 1923年8月以降の活動を見ると, 今回の地震の震源付近(領域d)では, 「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」が発生する前までの間, M5.0以上の浅い地震はほとんど観測されていない。

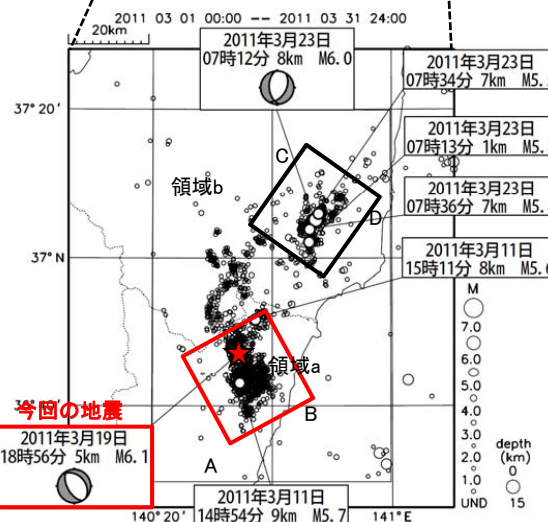
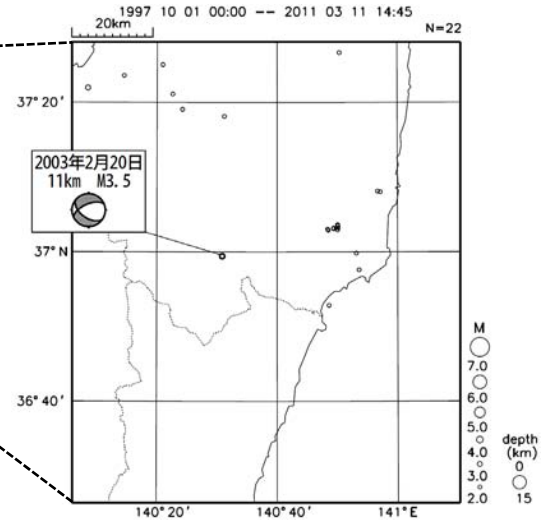


気象庁 震度データベースによる震度分布

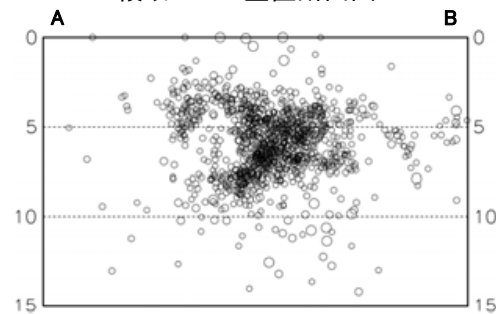
震央分布図
(1923年8月1日~2011年3月11日14時45分,
深さ0~40km, M≥5.0)



震央分布図
(1997年10月1日~2011年3月11日14時45分,
深さ0~15km, M≥2.0)



領域aのAB垂直断面図※



震央分布図※(2011年3月1日~年3月31日)

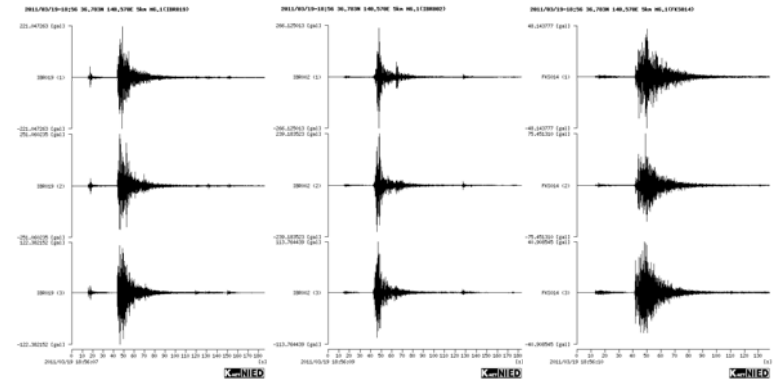
深さ0~15km, Mすべて)

※2011年3月11日以降は未処理のデータがある

気象庁 平成23年3月 地震・火山月報(防災編)

2011年茨城県北部地震の観測記録

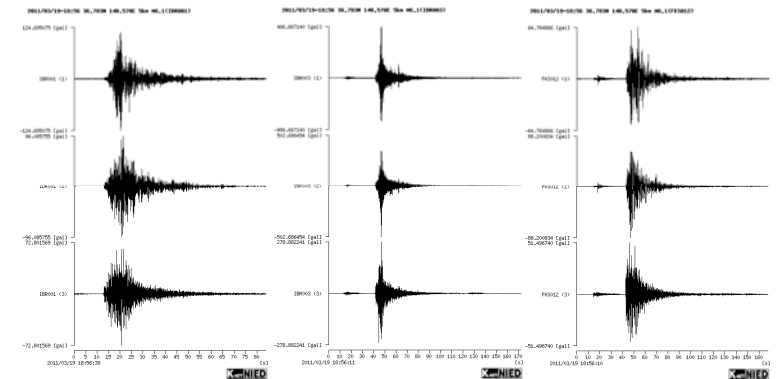
- K-NET観測点のうち、震源距離20kmを超えるIBR003及びIBR004観測点は、司・翠川(1999)の距離減衰式の+1σを上回るが、AVS30が300m/s程度の軟らかい地盤である。
- K-NET観測点は、震源近傍の観測点がなく、加速度波形の形状は概ね一致している。



IBR019(地表)

IBR002(地表)

FKS014(地表)



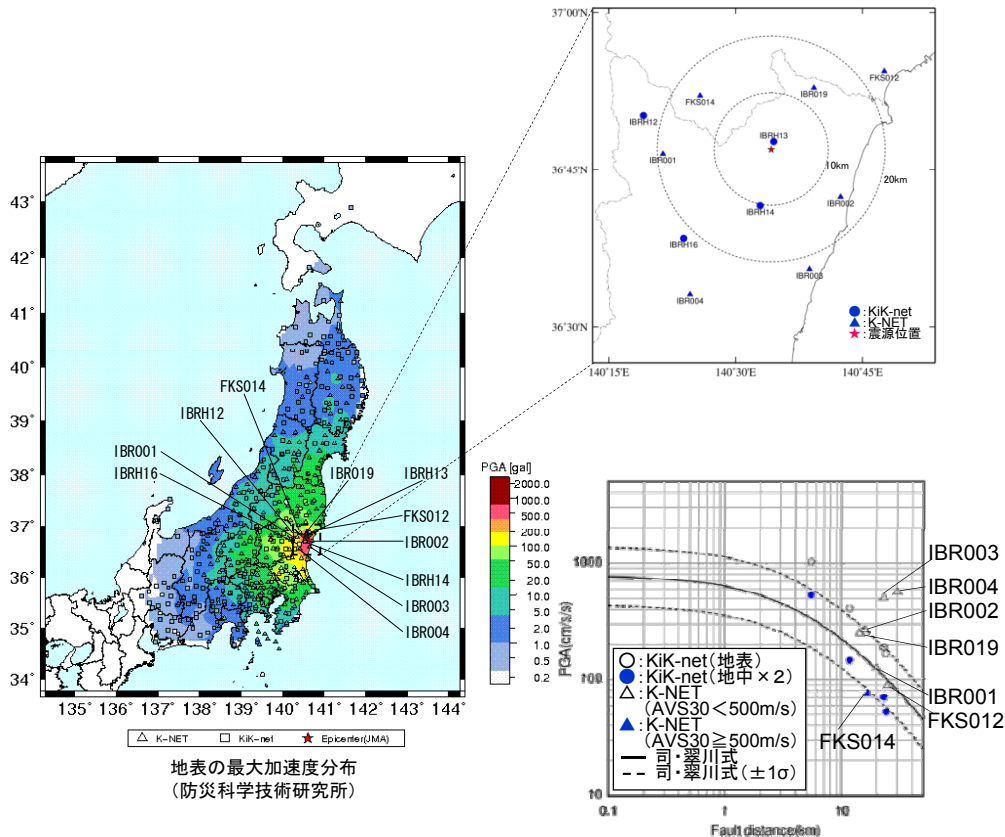
IBR001(地表)

IBR003(地表)

FKS012(地表)

K-NETの最大加速度

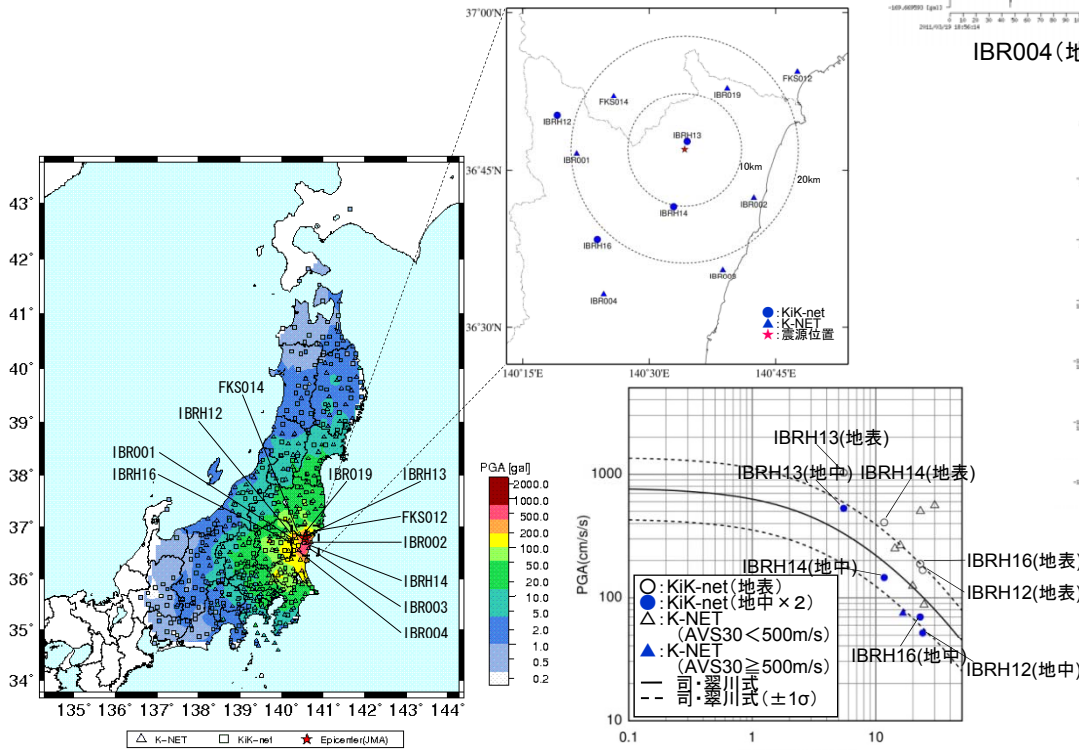
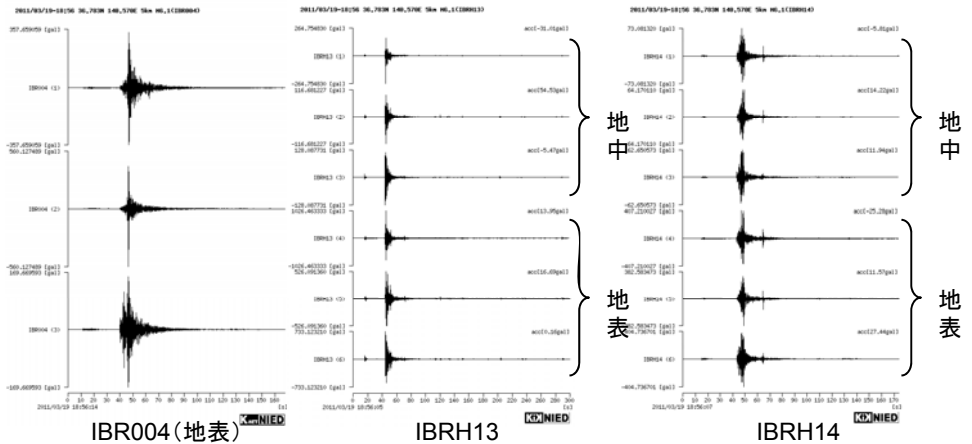
観測点	震源距離 (km)	AVS30 (m/s)	最大加速度 (Gal)				
			水平(NS)	水平(EW)	鉛直(UD)		
K-NET (地表)	IBR019	北茨城	14.3	—	221.0	251.1	122.4
	IBR002	高萩	15.8	344.8	266.1	239.2	113.8
	FKS014	矢祭	16.6	506.1	48.1	75.5	40.9
	IBR001	大子	19.9	208.4	124.7	96.1	72.8
	IBR003	日立	23.0	292.2	486.7	502.7	278.9
	FKS012	勿来	24.6	202.8	64.8	88.2	51.5
	IBR004	大宮	30.0	325.0	357.7	560.1	169.7



距離減衰式との関係

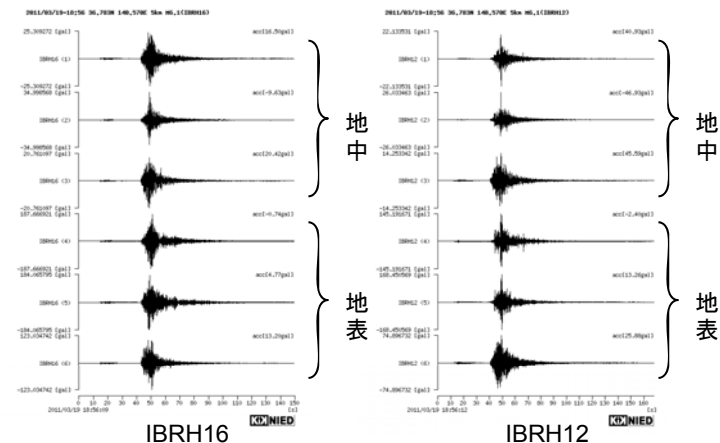
2011年茨城県北部地震の観測記録

- KiK-net観測点のうち、IBRH13(高萩)の地表観測記録は、司・翠川(1999)の距離減衰式の+1σを上回るが、地中×2では、+1σ相当である。EW方向はNS方向の1/2程度の最大加速度。水平方向に対し、鉛直方向が相対的に大きい。
- 震源近傍の観測点であるIBRH13(高萩)の加速度波形を見ると、他の観測点に比べ継続時間が短い傾向にある。



地表の最大加速度分布

距離減衰式との関係

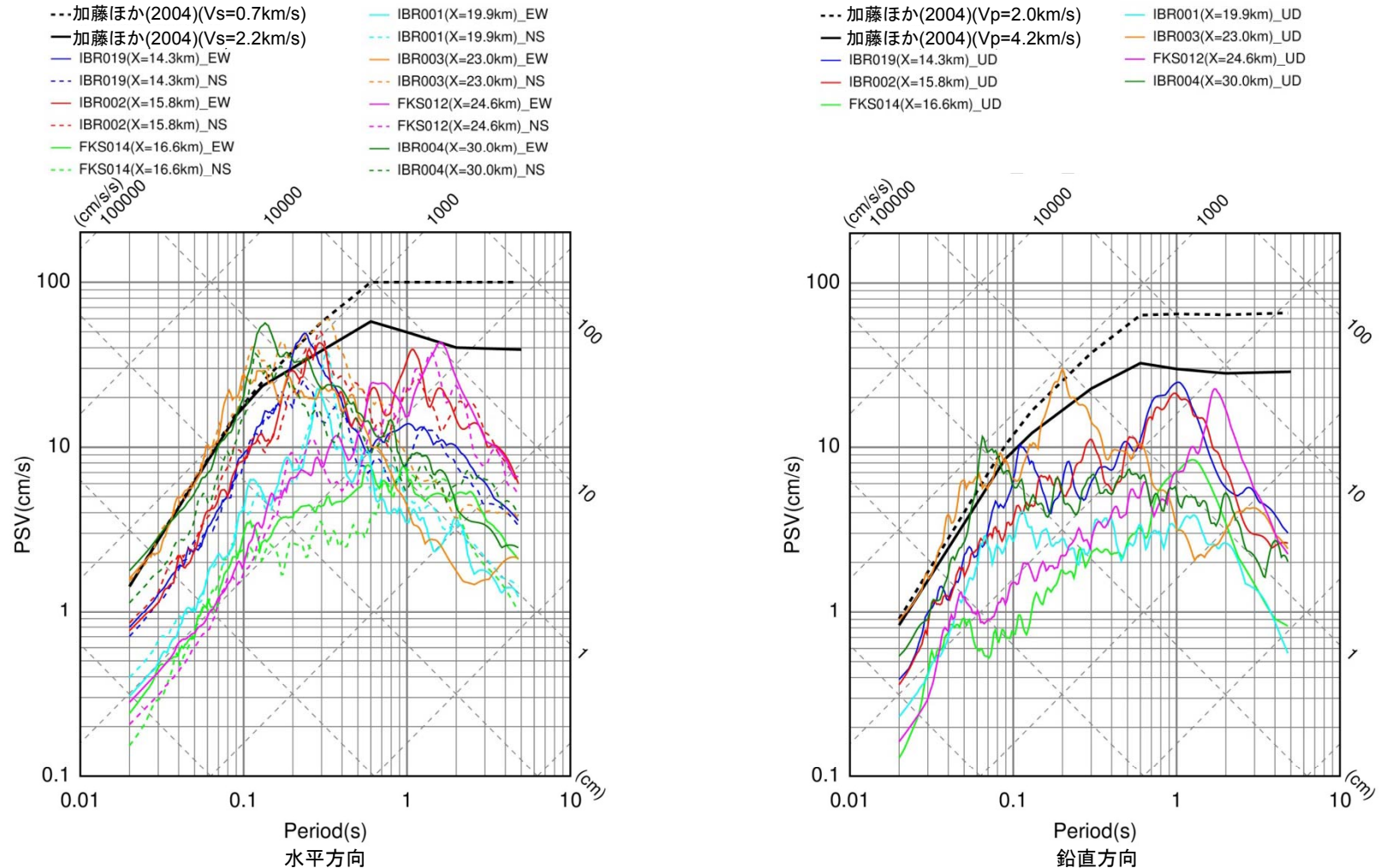


KiK-netの最大加速度

観測点	震源距離 (km)	AVS30 (m/s)	最大加速度 (Gal)		
			水平(NS)	水平(EW)	鉛直(UD)
KiK-net (地表・地中)	IBRH13 高萩	5.5	1026.5 (264.8)	526.1 (116.7)	733.1 (128.1)
	IBRH14 十王	11.7	407.2 (73.1)	382.6 (64.2)	404.7 (62.7)
	IBRH16 山方	22.9	187.7 (25.3)	184.1 (35.0)	123.0 (20.8)
	IBRH12 大子	24.0	145.2 (22.1)	168.5 (26.0)	74.9 (14.3)

2011年茨城県北部地震の観測記録

●K-NET観測点の観測記録のうち、IBR003及びIBR004観測点では、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。

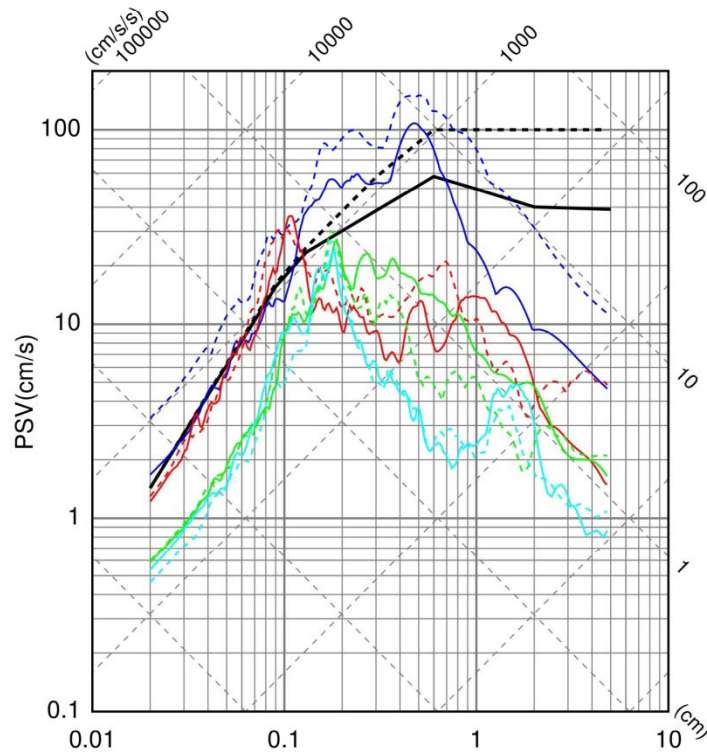


K-NET各観測点による応答スペクトルと加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

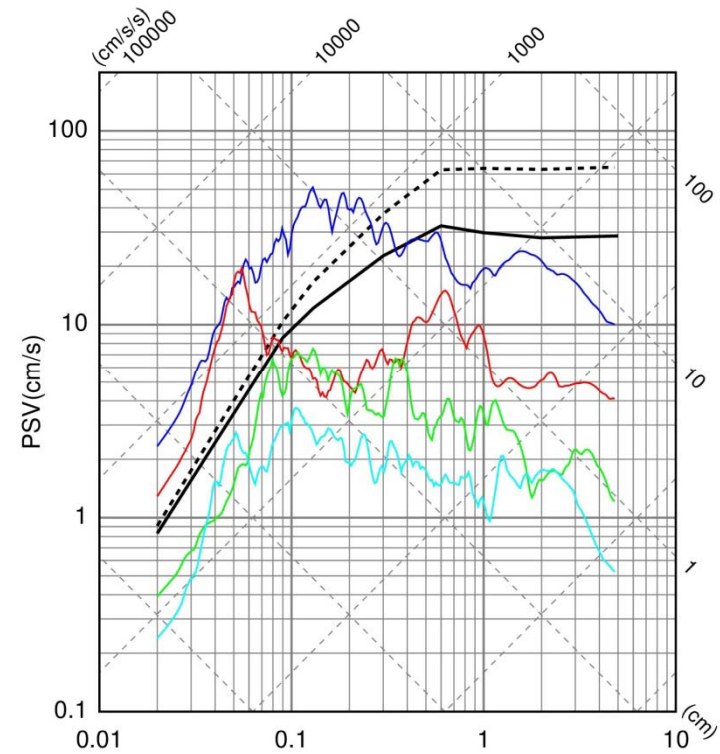
2011年茨城県北部地震の観測記録

●KiK-net観測点の地表観測記録のうち、IBRH13及びIBRH14観測点では、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回る。

- | | | |
|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| --- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s) | — IBRH16(X=22.9km)_EW | --- 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s) |
| — 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s) | --- IBRH16(X=22.9km)_NS | — 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s) |
| — IBRH13(X=5.5km)_EW | — IBRH12(X=24.0km)_EW | — IBRH13(X=5.5km)_UD |
| --- IBRH13(X=5.5km)_NS | --- IBRH12(X=24.0km)_NS | — IBRH14(X=11.7km)_UD |
| — IBRH14(X=11.7km)_EW | | — IBRH16(X=22.9km)_UD |
| --- IBRH14(X=11.7km)_NS | | — IBRH12(X=24.0km)_UD |



Period(s)
水平方向



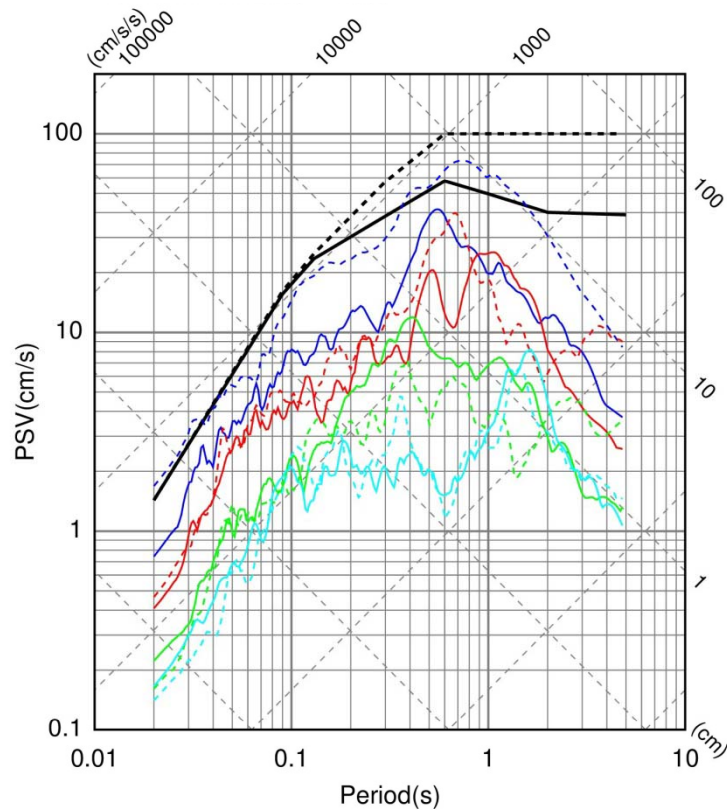
Period(s)
鉛直方向

KiK-net各観測点による応答スペクトル(地表)と加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

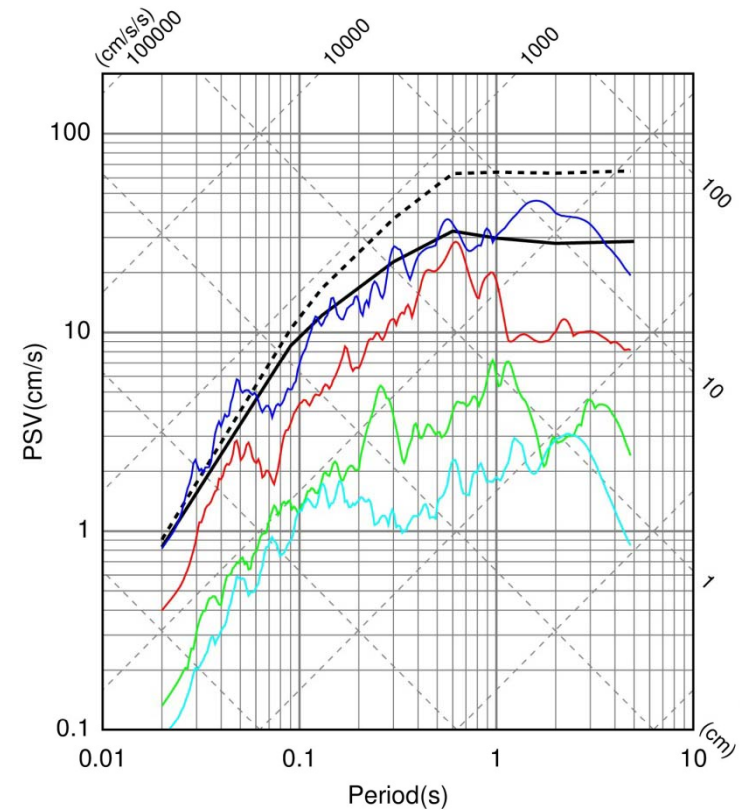
2011年茨城県北部地震の観測記録

●KiK-net観測点の地中観測記録(地中×2)のうち、IBRH13観測点では加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。

- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)
- 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)
- IBRH13(X=5.5km)_EW
- IBRH13(X=5.5km)_NS
- IBRH14(X=11.7km)_EW
- IBRH14(X=11.7km)_NS
- IBRH16(X=22.9km)_EW
- IBRH16(X=22.9km)_NS
- 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s)
- 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s)
- IBRH13(X=5.5km)_UD
- IBRH14(X=11.7km)_UD
- IBRH16(X=22.9km)_UD
- IBRH12(X=24.0km)_UD



水平方向

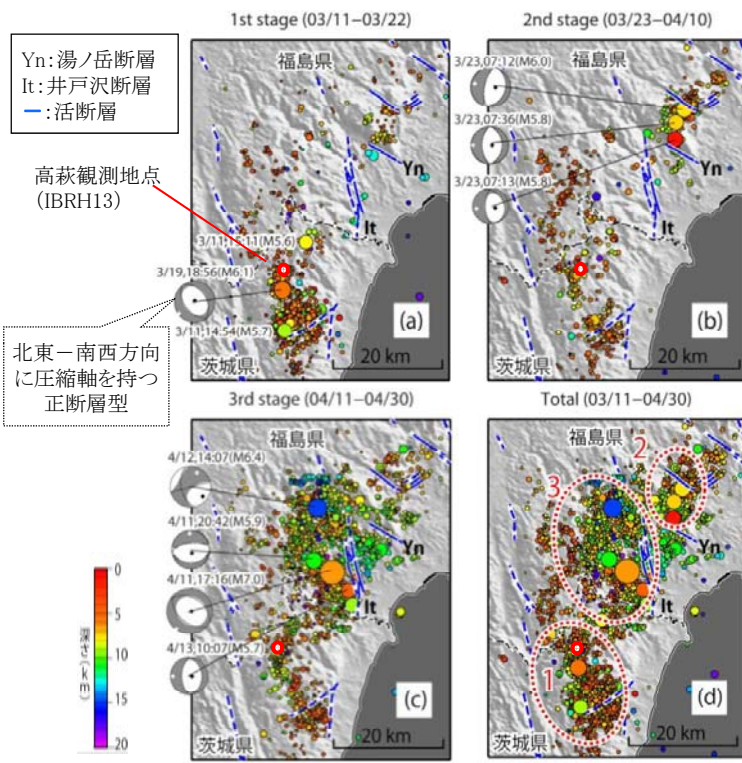


鉛直方向

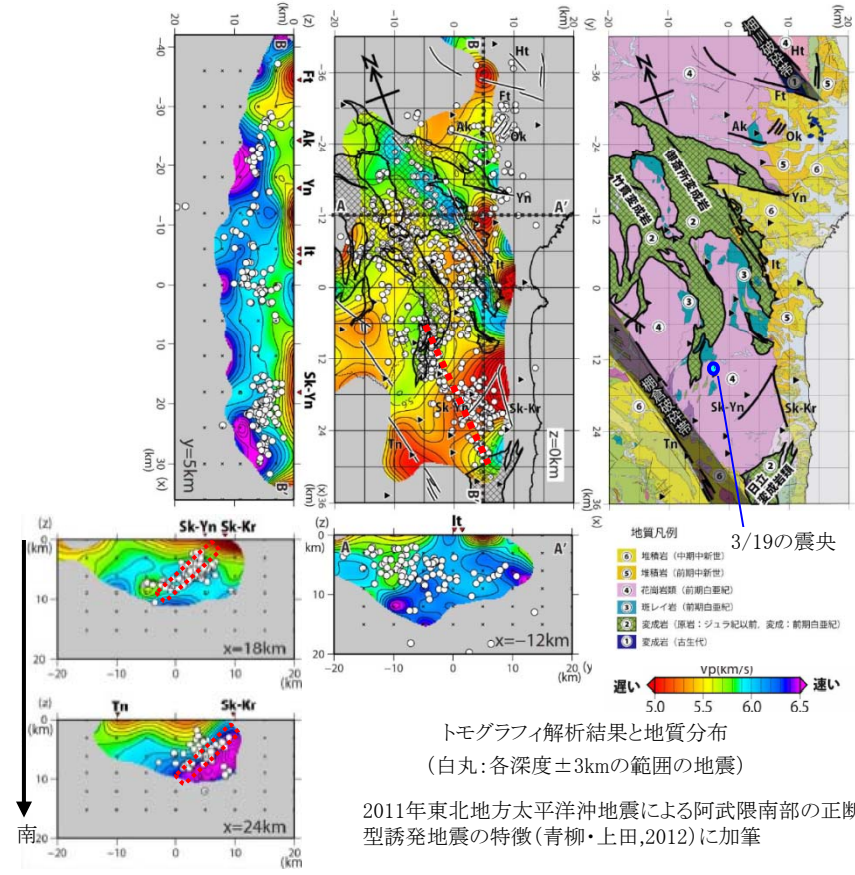
KiK-net各観測点による応答スペクトル(地中×2)と加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

2011年茨城県北部地震に関する震源周辺の地質構造

- 茨城県北部地震は、東北地方太平洋沖地震の誘発地震と考えられており、3.11直後から、3つのステージで震源域が拡大。
- 阿武隈南部には、変成岩(原岩:ジュラ紀以前, 変成:前期白亜紀), 花崗岩(前期白亜紀)が広く分布するが、地震後の稠密余震観測等の結果、高速度域は変成岩, 低速度域は花崗岩に対応し、誘発地震は地質構造に規制されていると考えられている。
- 茨城県北部地震を含むエリアには関口-米平リニアメント(Sk-Yn)が、外周部には関口-黒磯リニアメント(Sk-Kr)・棚倉破碎帯西縁断層(Tn)が分布する。地震活動は、竹貫及び日立変成岩に挟まれた花崗岩分布域に対応して北北西-南南東方向に延び、南西傾斜を示している。
- 地震活動が関口-米平リニアメントを横断し、関口-黒磯リニアメントと走向が異なることから、北部地震は、両断層と無関係と見られている。



活動場の変遷(2011/3/11~4/30)



トモグラフィ解析結果と地質分布
(白丸:各深度±3kmの範囲の地震)

2011年東北地方太平洋沖地震による阿武隈南部の正断層型誘発地震の特徴(青柳・上田,2012)に加筆

2011年茨城県北部地震 IBRH13(高萩)のはぎとり解析

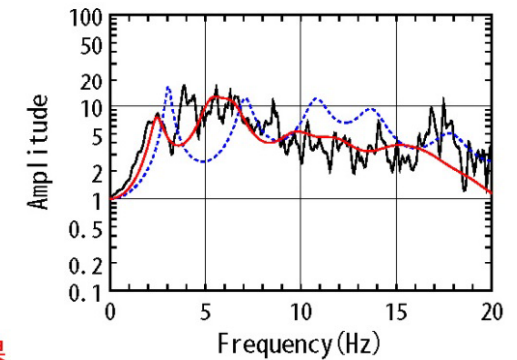
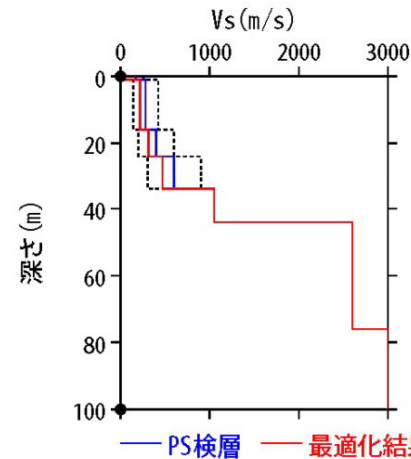
●IBRH13(高萩)の観測記録について、KiK-netボーリングデータを初期値として、観測記録の伝達関数を再現できるように地盤同定を実施。

地盤同定結果(水平)

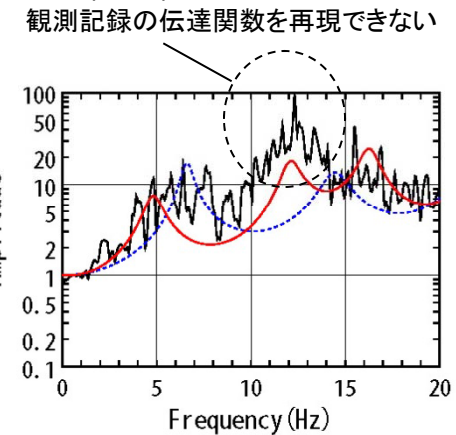
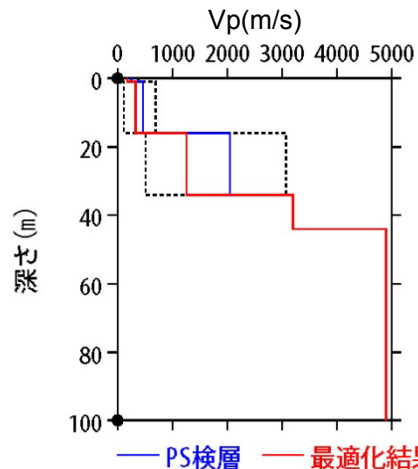
No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	S波速度(m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	α
1	1	0	1.64	170	17	255	22	0.13	0.152	0.180
2	15	1	1.64	280	140	420	218	0.78		
3	8	16	1.93	400	200	600	311	0.78		
4	10	24	1.93	600	300	900	467	0.78		
5	10	34	2.26	1050	1050	1050	1050	1.00		
6	32	44	2.52	2600	2600	2600	2600	1.00		
7	24	76	2.52	3000	3000	3000	3000	1.00		
8	—	100	2.52	3000	3000	3000	3000	1.00		

地盤同定結果(上下)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	P波速度(m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	α
1	1	0	1.64	250	25	375	179	0.72	0.502	1.000
2	15	1	1.64	460	115	690	330	0.72		
3	8	16	1.93	2050	513	3075	1258	0.61		
4	10	24	1.93	2050	513	3075	1258	0.61		
5	10	34	2.26	3200	3200	3200	3200	1.00		
6	32	44	2.52	4900	4900	4900	4900	1.00		
7	24	76	2.52	4900	4900	4900	4900	1.00		
8	—	100	2.52	4900	4900	4900	4900	1.00		



伝達関数の比較(水平)



伝達関数の比較(上下)

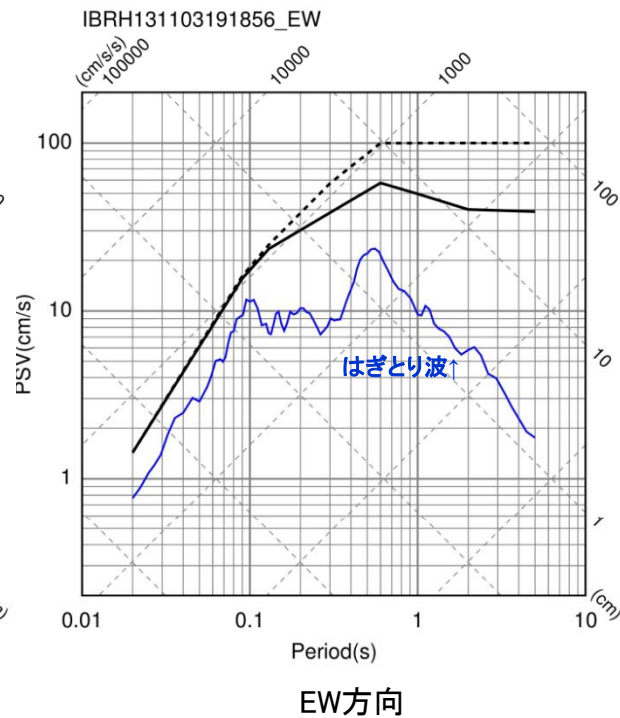
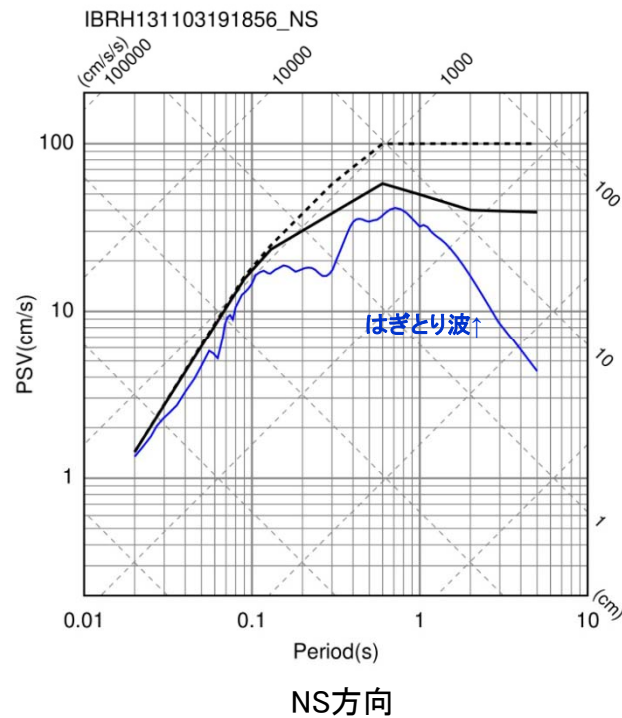
※電力共通研究「東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震動評価手法の高度化に関する研究」にて検討を実施

2011年茨城県北部地震 IBRH13(高萩)のはぎとり解析

●地盤同定により得られた地盤モデルを用いて、IBRH13のはぎとり解析を実施。
 ⇒得られた地盤モデルは、表層のVsが極端に小さく、また上下動の観測記録の伝達関数を再現できていないため、1次元波動論によるはぎとり解析の適用が困難と考えられる。

--- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)
 — 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)
 — HAGITORI_NS

--- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)
 — 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)
 — HAGITORI_EW



上下動については、観測記録の伝達関数及びKiK-net地盤データとの乖離が大きく、地盤モデル改良検討中のため、はぎとり解析は 未実施

UD方向

2011年和歌山県北部地震の概要

1. 地震発生日時（気象庁他）

- ・発生日時：平成23年7月5日 19時18分頃
- ・地震規模：Mj5.5（Mw5.0）
- ・震源深さ：約7km
- ・震源位置：北緯33.99°，東経135.233°

2. 各地の震度及び被害状況

各地の震度（気象庁）は以下のとおり。

- ・震度5強：広川町，日高川町
- ・震度5弱：有田市，湯浅町
- ・地震による津波の発生はなし

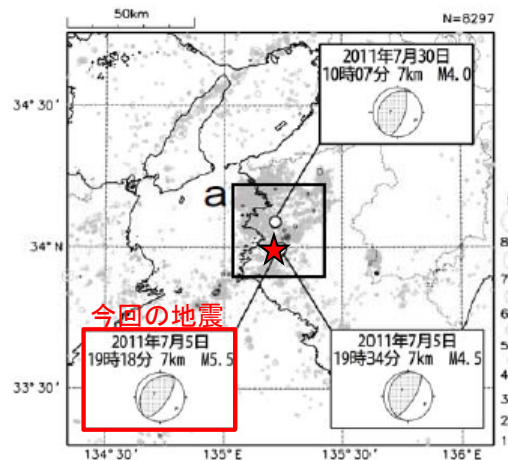
被害状況（消防庁）は以下のとおり。

- ・住宅全壊・半壊：0棟
- ・住宅一部破損：21棟
（内訳；有田市1棟，湯浅町12棟，広川町7棟，由良町1棟）
- ・人的被害：被害情報なし
- ・和歌山北部臨海北部，和歌山北部臨海中部，和歌山北部臨海南部，御坊各区域の石油コンビナート施設について，被害なし

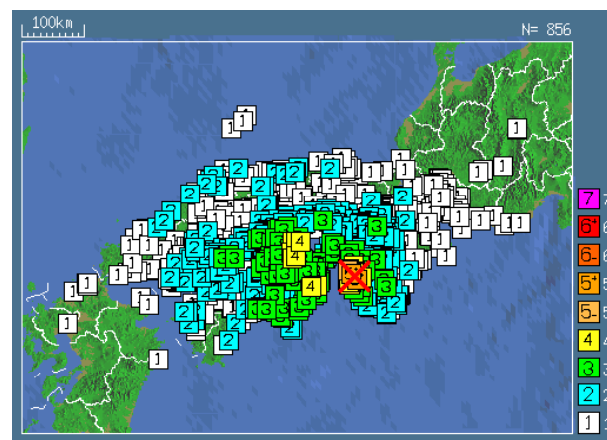
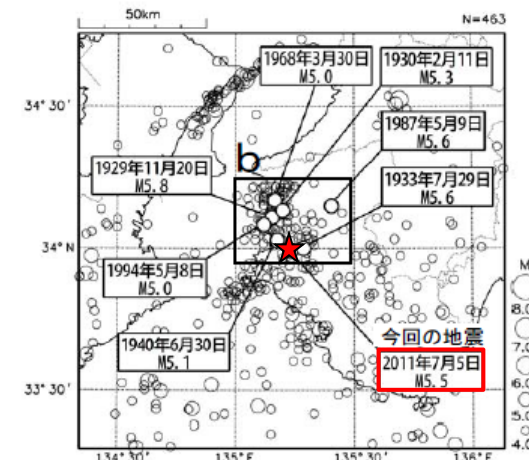
3. 地震発生メカニズム（気象庁）

- ・発震機構解より，北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型の地震。
- ・同日19時34分には，ほぼ同じ場所でM4.5の地震（最大震度4）が発生。また，30日10時07分にこの地震の北約10km，深さ7kmでM4.0の地震（最大震度3）が発生。この2つの地震の発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型。
- ・今回の震源域周辺では，1900年代以降，M5.0を越える地震が発生している。

震央分布図
（1997年10月1日～2011年7月31日、
深さ0～20km、M≥1.5）
2011年7月以降の地震を濃く表示



震央分布図
（1923年8月1日～2011年7月31日、
深さ0～40km、M≥4.0）

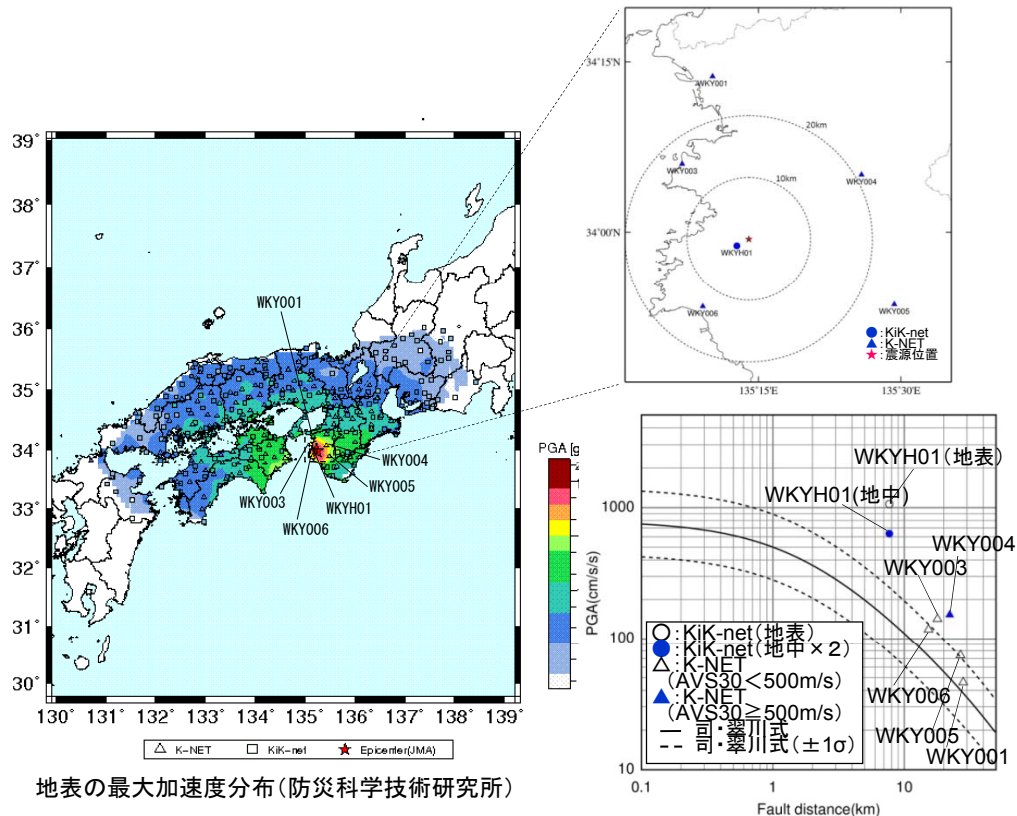
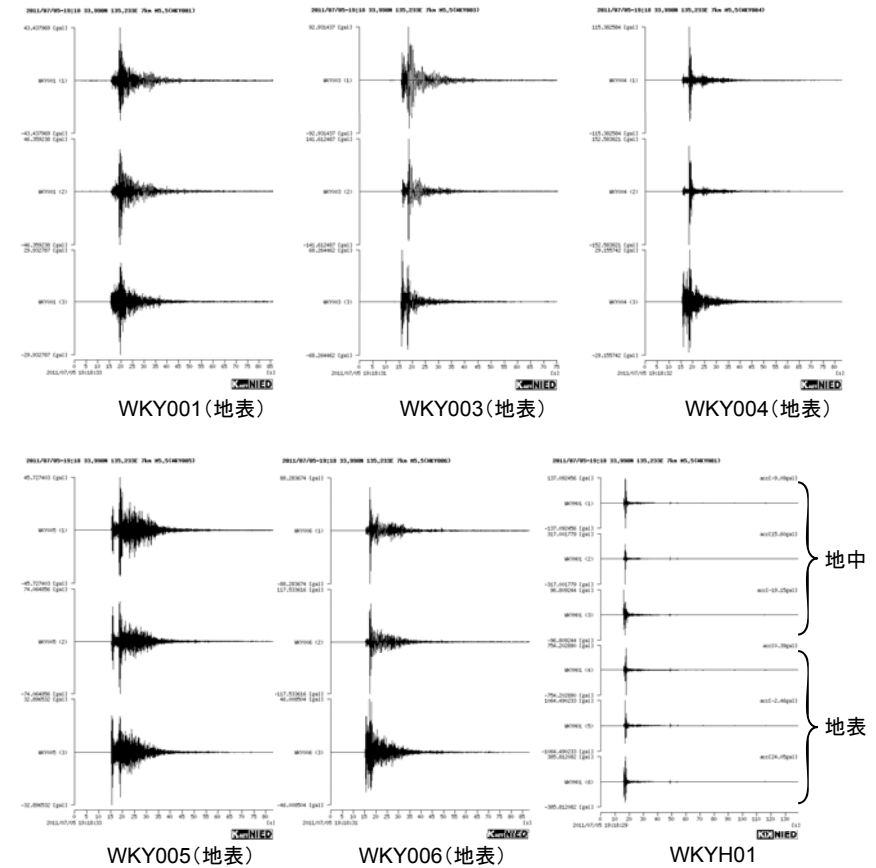


気象庁 震度データベースによる震度分布

気象庁 平成23年7月 地震・火山月報(防災編)

2011年和歌山県北部地震の観測記録

- 震源近傍に位置するKiK-net観測点WKYH01(広川)では、EW方向で最大加速度1064.5(地中317.0)Galを記録しており、司・翠川(1999)による距離減衰式の+1σを大きく上回る。NS方向はEW方向の3/4程度の最大加速度を記録。K-NET観測点WKY003(有田)及びWKY004(清水)は距離減衰式の+1σを上回る。
- KiK-net観測点WKYH01(広川)は震源から8km程度の震源近傍であり、継続時間が短い。その他の観測点は震源距離が15km以上離れており、継続時間が長い傾向にある。



K-NET及びKiK-net最大加速度

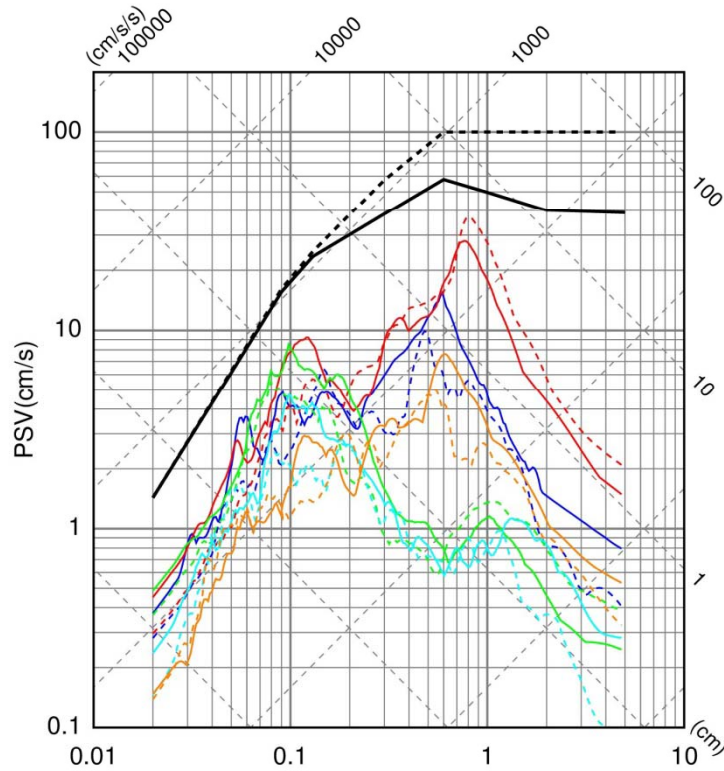
観測点	震源距離 (km)	AVS30 (m/s)	最大加速度 (Gal)			
			水平(NS)	水平(EW)	鉛直(UD)	
K-NET (地表)	WKY006 御坊	15.3	198.4	88.3	117.5	46.0
	WKY003 有田	17.9	144.0	92.9	141.6	68.3
	WKY004 清水	22.2	681.8	115.4	152.6	29.2
	WKY005 龍神	26.8	338.3	45.7	74.1	32.9
	WKY001 和歌山	28.1	206.3	43.4	46.4	29.9
KiK-net (地表・地中)	WKYH01 広川	7.7	462.9	754.2 (137.1)	1064.5 (317.0)	385.8 (96.8)

地表の最大加速度分布(防災科学技術研究所)

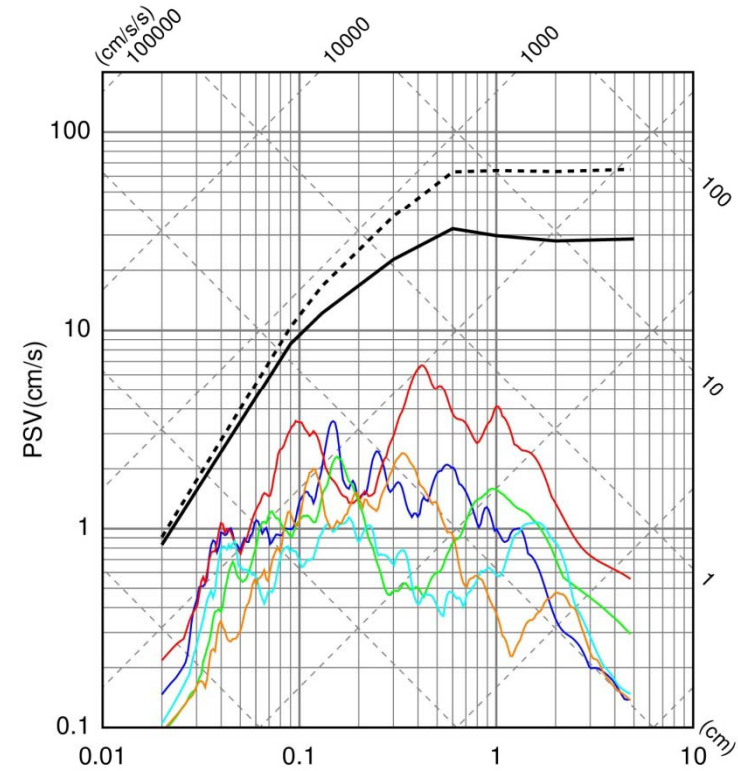
2011年和歌山県北部地震の観測記録

●K-NET観測点の観測記録は、すべて加藤ほか(2004)の応答スペクトルに包絡される。

- | | | |
|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| --- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s) | — WKY004(X=22.2km)_EW | --- 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s) |
| — 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s) | --- WKY004(X=22.2km)_NS | — 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s) |
| — WKY006(X=15.3km)_EW | — WKY005(X=26.8km)_EW | — WKY006(X=15.3km)_UD |
| --- WKY006(X=15.3km)_NS | --- WKY005(X=26.8km)_NS | — WKY003(X=17.9km)_UD |
| — WKY003(X=17.9km)_EW | — WKY001(X=28.1km)_EW | — WKY004(X=22.2km)_UD |
| --- WKY003(X=17.9km)_NS | --- WKY001(X=28.1km)_NS | — WKY005(X=26.8km)_UD |
| | | — WKY001(X=28.1km)_UD |



水平方向



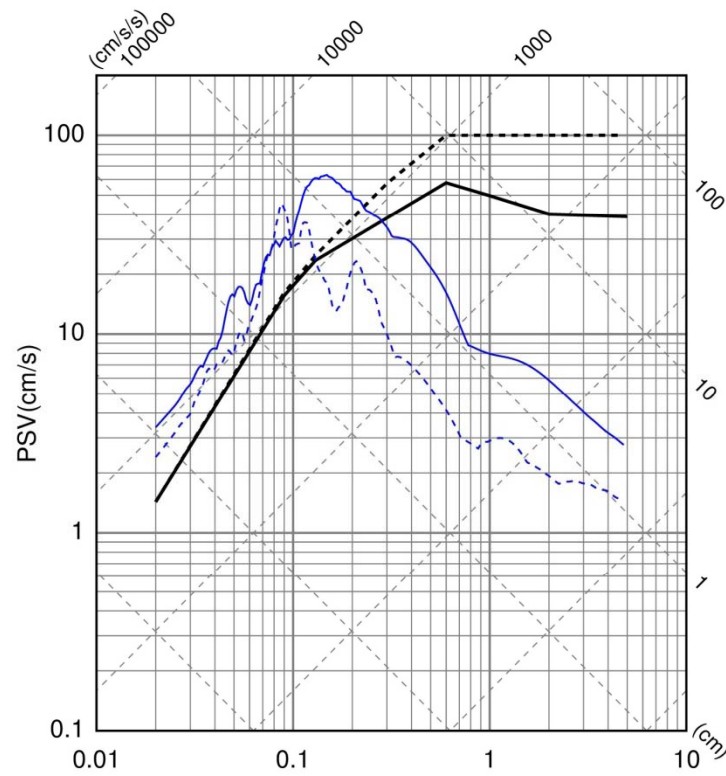
鉛直方向

K-NET各観測点による応答スペクトルと加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

2011年和歌山県北部地震の観測記録

●KiK-net観測点の地表観測記録のうち、WKYH01観測点では、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。

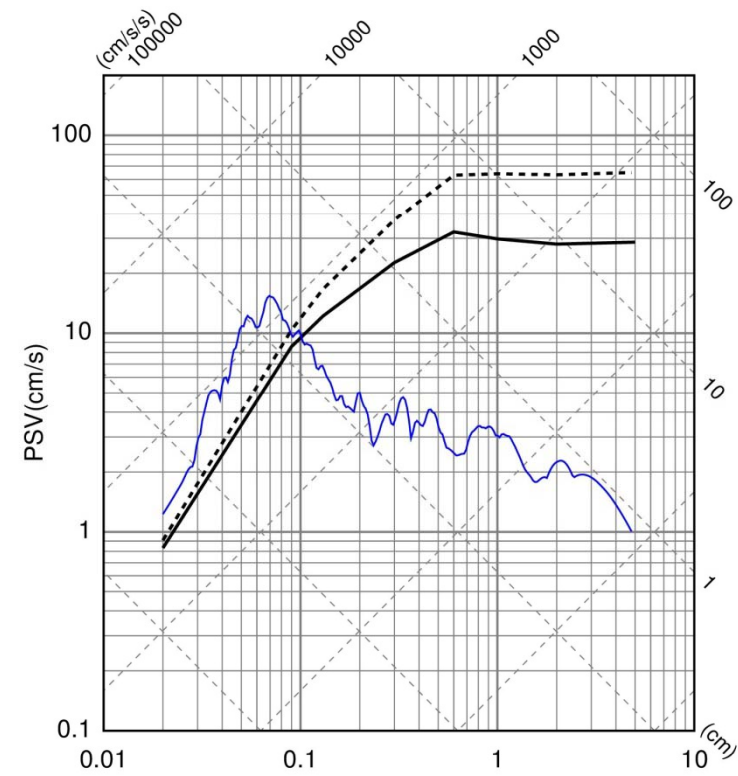
--- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)
 — 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)
 — WKYH01(X=7.7km)_EW
 --- WKYH01(X=7.7km)_NS



Period(s)

水平方向

--- 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s)
 — 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s)
 — WKYH01(X=7.7km)_UD



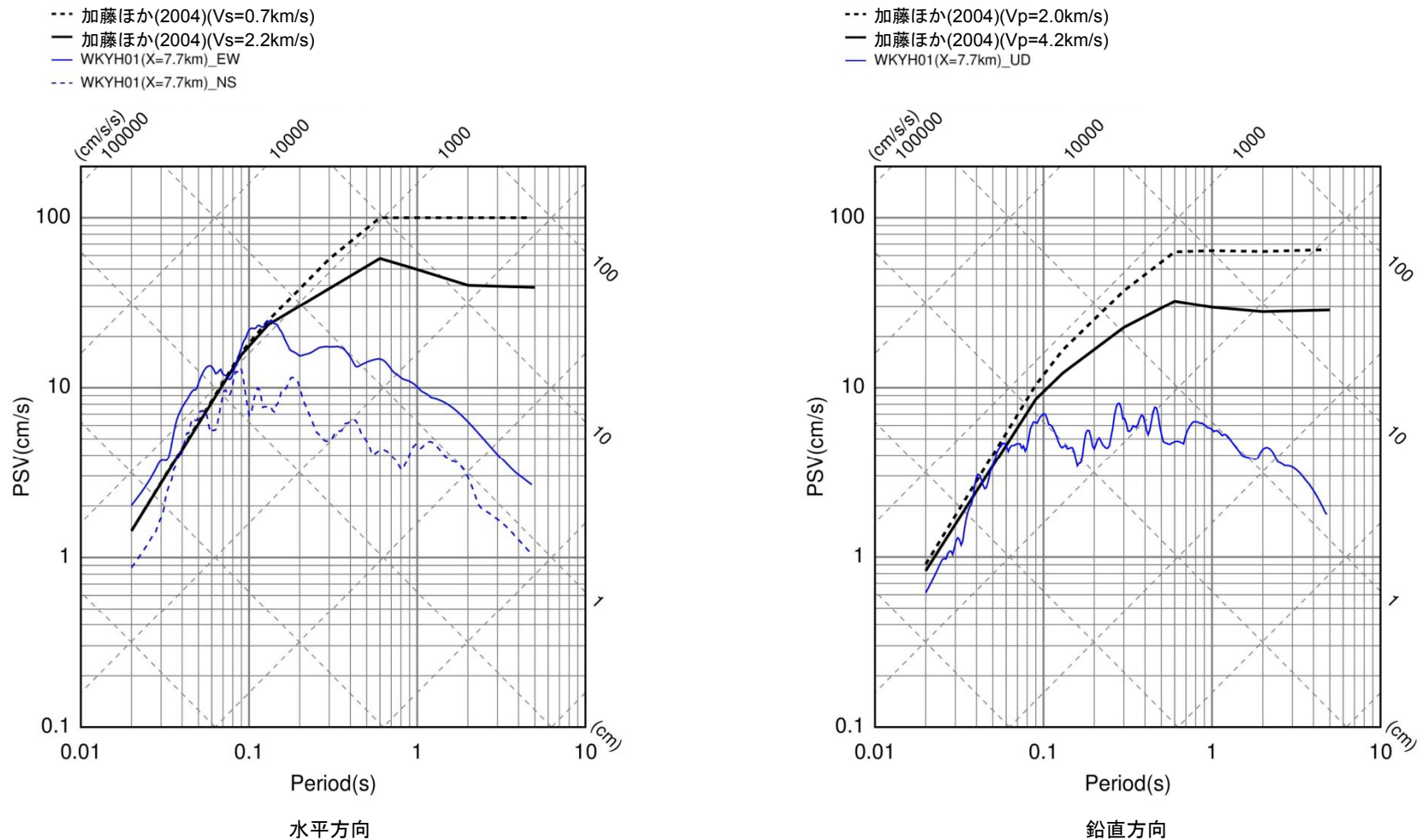
Period(s)

鉛直方向

KiK-net各観測点による応答スペクトル(地表)と加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

2011年和歌山県北部地震の観測記録

●KiK-net観測点の地中観測記録(地中×2)のうち, WKYH01観測点では, 加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。



KiK-net各観測点による応答スペクトル(地中×2)と加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

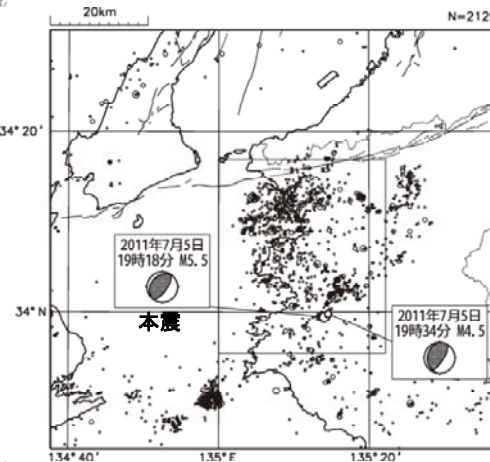
2011年和歌山県北部地震に関する震源周辺の地質構造

- 和歌山県北部地震の震源域には、古第三紀の日高川層群(上部)が分布する。
- 震源近傍には、仏像構造線があるが、活断層としての確実度は低いとされている。
- 和歌山県北部地震は、北西-南東方向に圧縮軸を持つ活断層型である。
- 余震は、仏像構造線とほぼ平行な長さ3~4kmの範囲に分布し、南東側が浅くなっている。



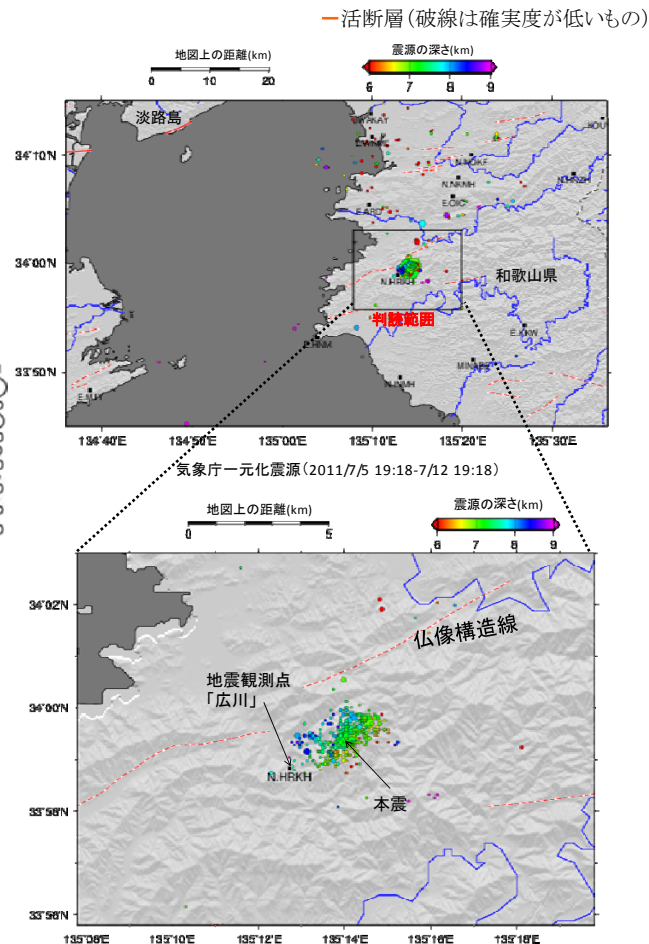
地質図

(平成25年度和歌山県防災計画に加筆)



- ・1997年10月1日～2011年7月31日
- ・深さ0~30km, M \geq 2.0
- ・細線は地震調査研究推進本部による主要活断層

震央分布図
(気象庁に加筆)



余震分布図(電力中央研究所提供)

2011年和歌山県北部地震 WKYH01(広川)のはぎとり解析

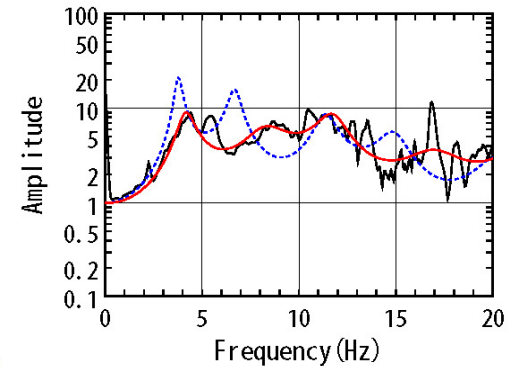
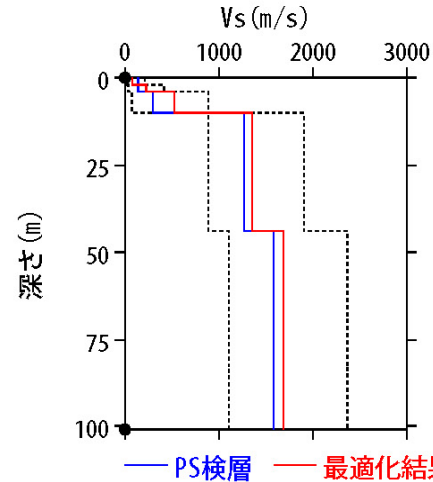
●WKYH01(広川)の観測記録について、KiK-netボーリングデータを初期値として、観測記録の伝達関数を再現できるように地盤同定を実施。

地盤同定結果(水平)

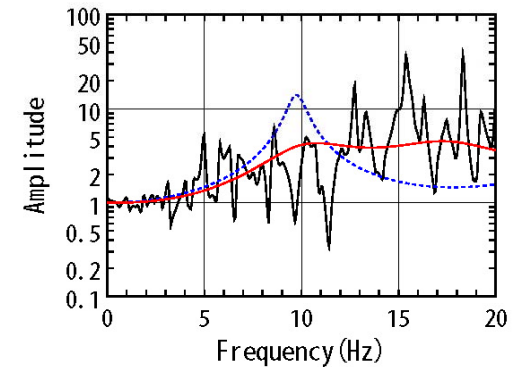
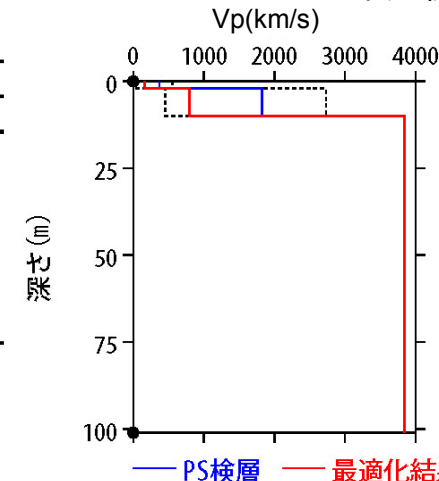
No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	S波速度(m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	α
1	2	0	1.64	139	14	209	78	0.56	0.298	0.324
2	2	2	1.82	139	35	417	225	1.62		
3	6	4	1.82	296	74	888	524	1.77	0.284	0.715
4	34	10	2.37	1269	888	1904	1354	1.07		
5	57	44	2.37	1580	1106	2370	1686	1.07	0.284	0.715
6	—	101	2.37	1580	1106	2370	1686	1.07		

地盤同定結果(上下)

No	THK (m)	DEP (m)	Den (g/cm ³)	P波速度(m/s)					減衰定数	
				Initial	Lower	Upper	Optimized	Opt./Ini.	ho	α
1	2	0	1.64	368	37	552	161	0.44	1.000	0.590
2	2	2	1.82	1820	455	2730	798	0.44		
3	6	4	1.82	1820	455	2730	798	0.44		
4	34	10	2.37	3846	3846	3846	3846	1.00	1.000	0.590
5	57	44	2.37	3846	3846	3846	3846	1.00		
6	—	101	2.37	3846	3846	3846	3846	1.00		



伝達関数の比較(水平)



伝達関数の比較(上下)

※電力共通研究「東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震動評価手法の高度化に関する研究」にて検討を実施

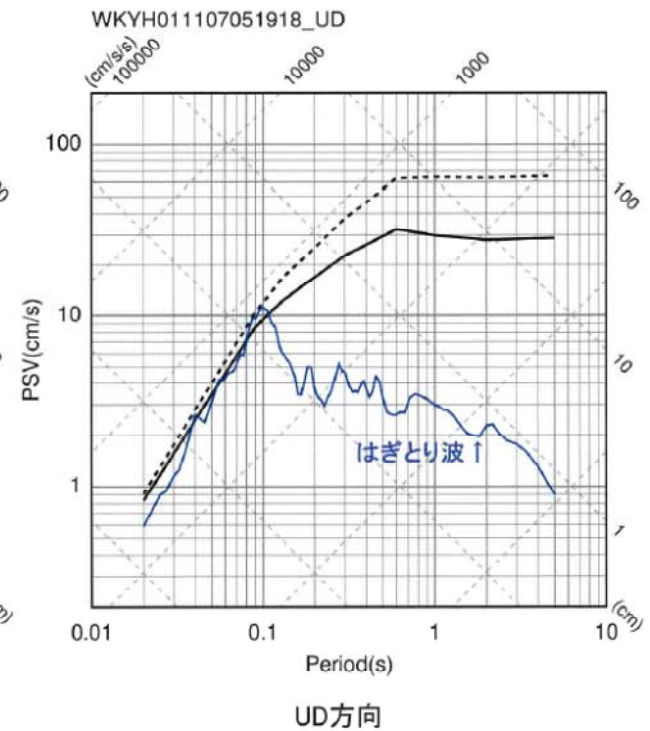
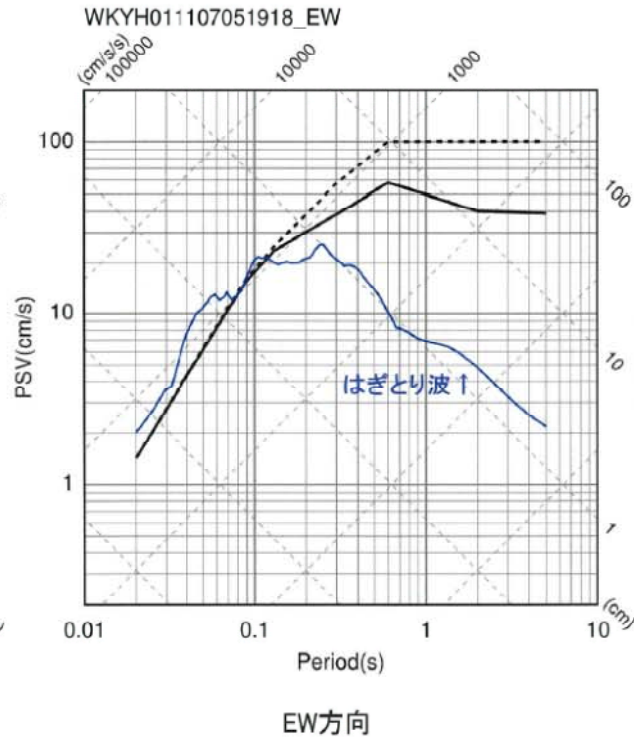
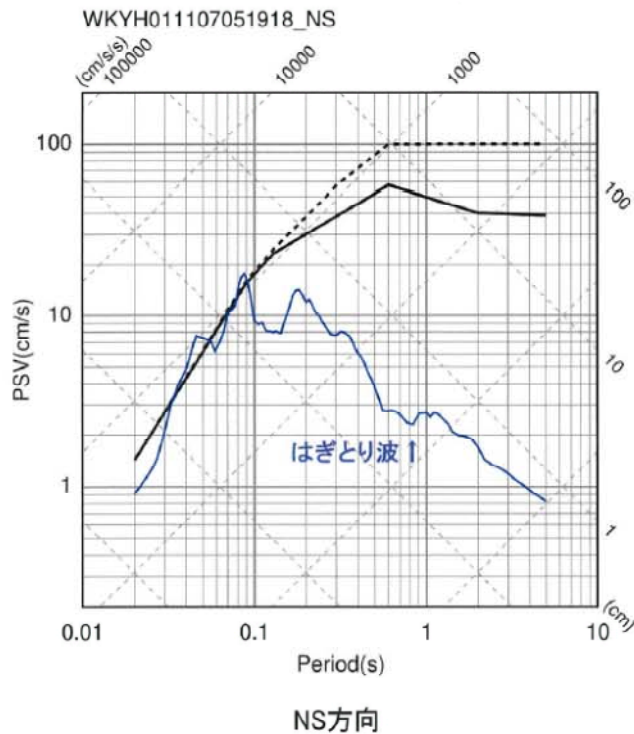
2011年和歌山県北部地震 WKYH01(広川)のはぎとり解析

●地盤同定により得られた地盤モデルを用いて、WKYH01のはぎとり解析を実施。
 ⇒得られた地盤モデルは、PS検層結果から大きく乖離しているため、1次元波動論によるはぎとり解析の適用が困難と考えられる。

--- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)
 — 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)
 — HAGITORI_NS

--- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s)
 — 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s)
 — HAGITORI_EW

--- 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s)
 — 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s)
 — HAGITORI_UD



2011年長野県北部地震の概要

1. 地震発生日時（気象庁他）

- ・発生日時：平成23年3月12日 03時59分頃
- ・地震規模：Mj6.7 (Mw6.2)
- ・震源深さ：約8km
- ・震源位置：北緯36.985°，東経138.597°

2. 各地の震度及び被害状況

各地の震度（気象庁）は以下のとおり。

- ・震度6強：長野県 栄村
- ・震度6弱：新潟県 十日町市，津南町
- ・震度5強：新潟県 上越市
群馬県 中之条町
- ・震度5弱：長野県 野沢温泉村
新潟県 長岡市，柏崎市，出雲崎町，
湯沢町，刈羽村，南魚沼市

- ・地震による津波の発生はなし
- 被害状況（気象庁）は以下のとおり。
- ・住宅全半壊及び一部破損：1,324棟
- ・負傷者57名（重傷者1名，軽傷者56名）

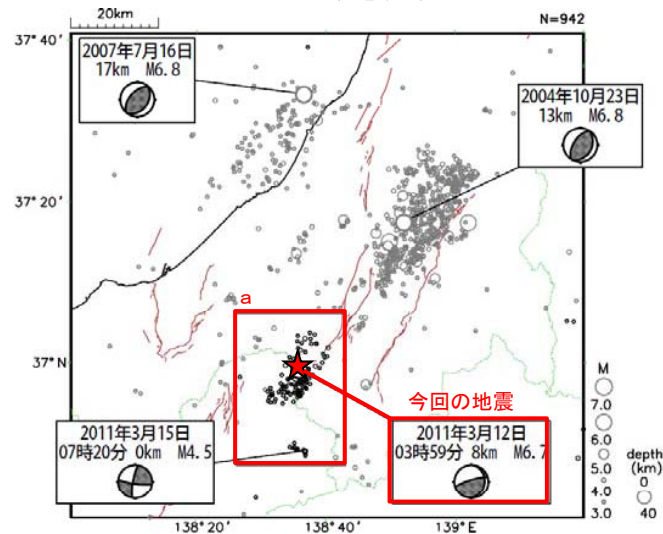
3. 地震発生メカニズム（気象庁）

- ・発震機構解より，北西-南東方向に圧力軸を持つ**逆断層型の地震**。
- ・1997年10月以降の活動を見ると，今回の地震の震源付近（領域a）では，M5.0以上の地震は発生していなかった。今回の地震の後，12日04時31分と05時42分に，長野県栄村で最大震度6弱を観測する余震が発生。

震央分布図

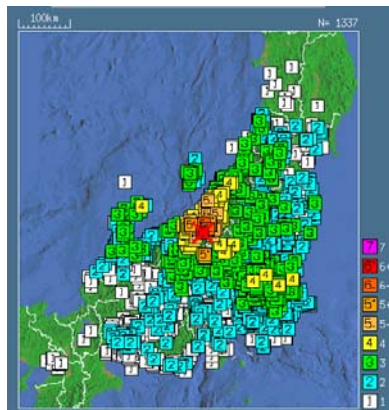
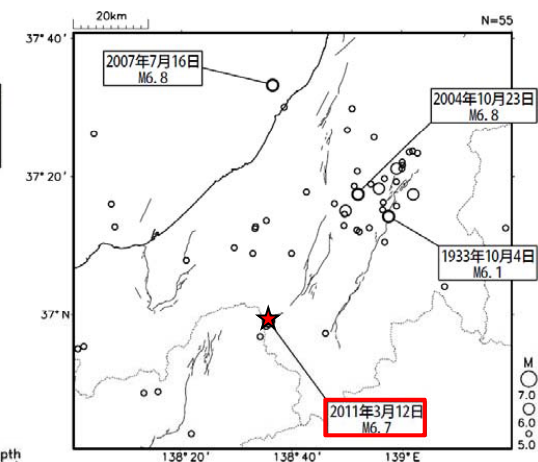
（1997年10月1日～2011年3月31日，
深さ0～40km，M \geq 3.0）

2011年3月以降の地震を濃く表示。

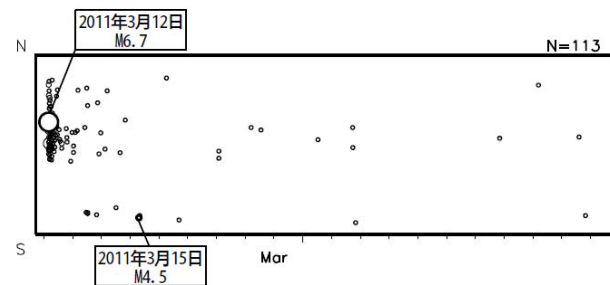


震央分布図

（1923年8月1日～2011年3月31日，
深さ0～40km，M \geq 5.0）



気象庁 震度データベースによる震度分布

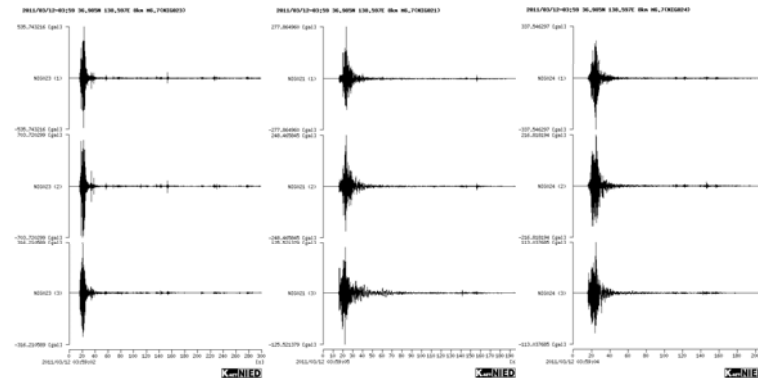


領域a内の時空間分布図(南北投影)
(2011年3月12日～3月31日)

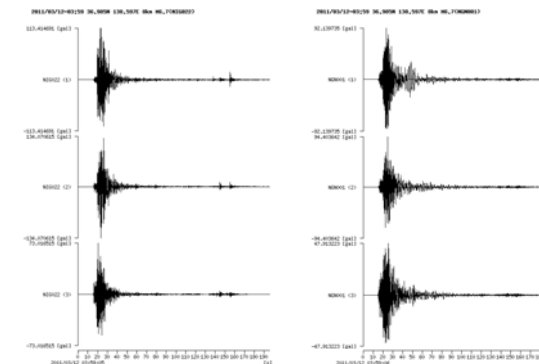
2011年長野県北部地震の観測記録

●震源近傍に位置するK-NET観測点NIG023(津南)では、EW方向で最大加速度703.7Galを記録しており、司・翠川(1999)による距離減衰式の+1σを大きく上回る。NS方向はEW方向の3/4程度の最大加速度を記録。また、K-NET観測点NIG024(安塚)は、司・翠川(1999)による距離減衰式の+1σを上回るが、AVS30が340.2m/sであり、軟らかい地盤の観測記録である。

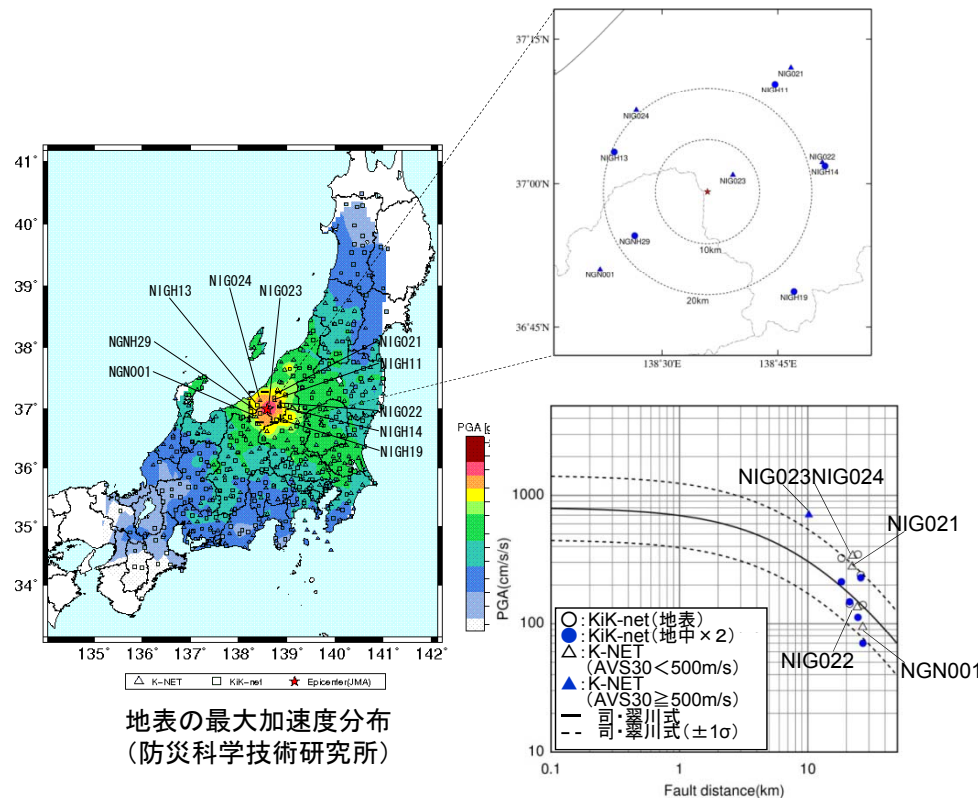
●K-NET観測点NIG023(津南)は震源から10km程度の震源近傍であり、継続時間は短い。



NIG023(地表) NIG021(地表) NIG024(地表)



NIG022(地表) NGN001(地表)



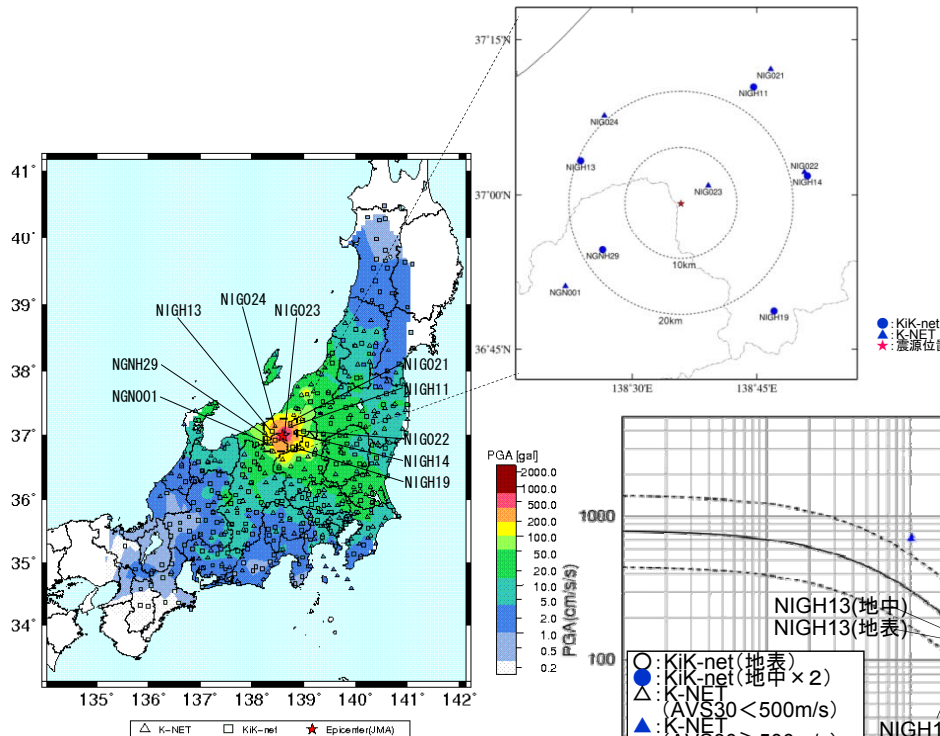
地表の最大加速度分布
(防災科学技術研究所)

K-NETの最大加速度

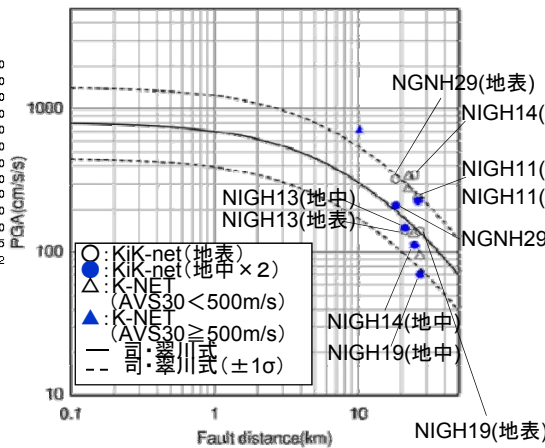
観測点	震源距離(km)	AVS30(m/s)	最大加速度(Ga1)			
			水平(NS)	水平(EW)	鉛直(UD)	
K-NET(地表)	NIG023 津南	10.2	579.5	535.7	703.7	316.2
	NIG021 十日町	22.2	418.8	277.9	248.5	125.5
	NIG024 安塚	22.4	340.2	337.5	216.8	113.0
	NIG022 塩沢	24.3	197.0	113.4	134.1	73.0
	NGN001 飯山	26.8	324.9	92.1	94.4	47.9

2011年長野県北部地震の観測記録

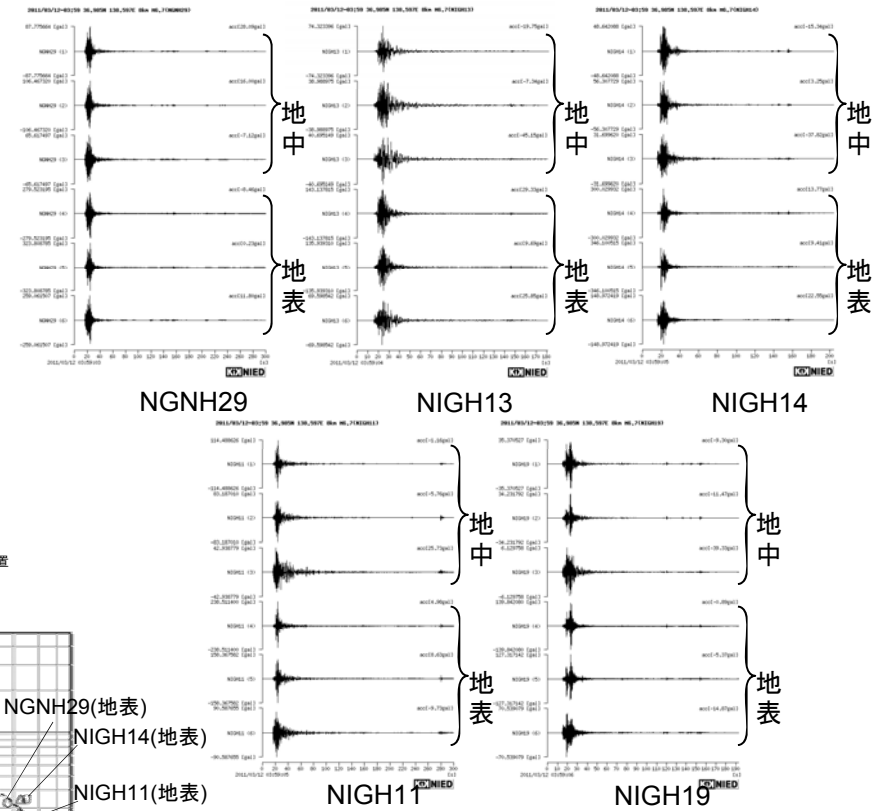
- KiK-net観測点における地表観測記録は司・翠川(1999)の距離減衰式の $+1\sigma$ を上回るものもあるが、地中観測記録は $\pm 1\sigma$ の範囲内に入っており、対応がよい。
- KiK-net観測点は、震源近傍ではないため、加速度時刻歴波形に目立った特徴は見られない。



地表の最大加速度分布



距離減衰式との関係



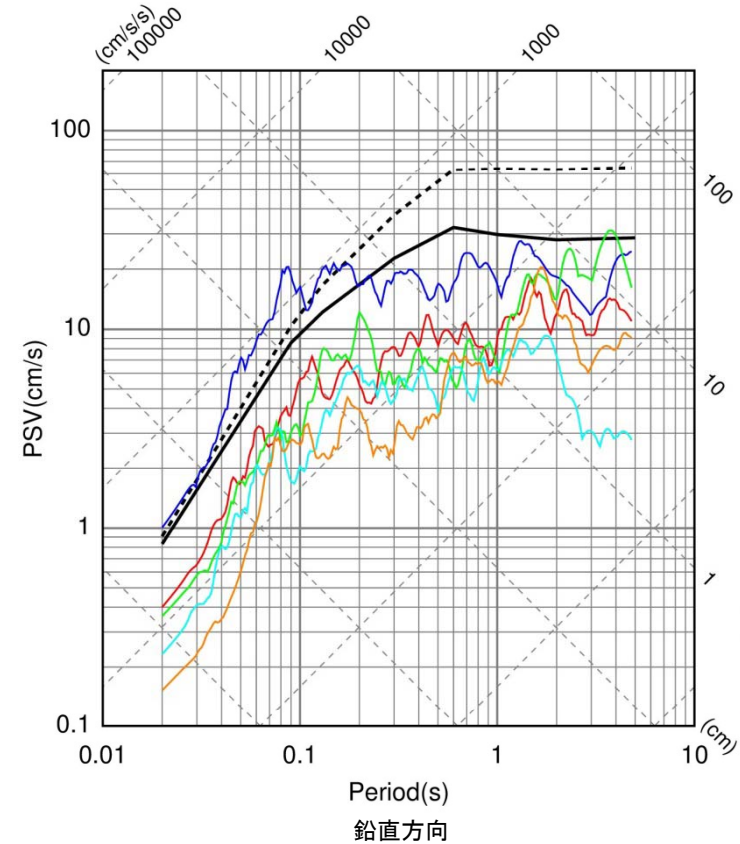
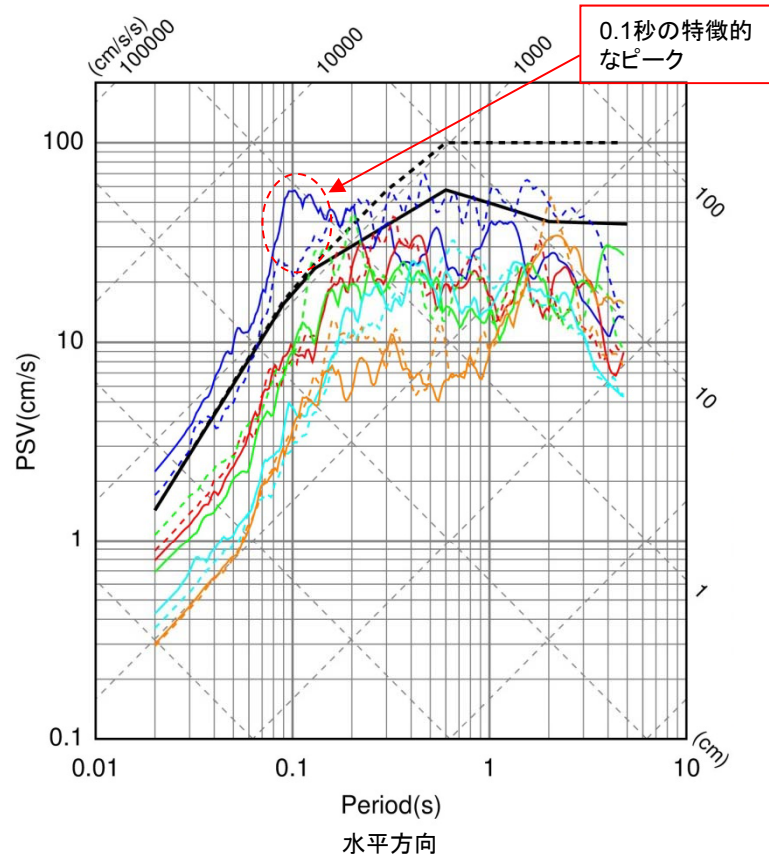
KiK-net最大加速度

観測点	震源距離 (km)	AVS30 (m/s)	最大加速度 (Gal)		
			水平(NS)	水平(EW)	鉛直(UD)
KiK-net (地表・地中)	NGNH29 野沢温泉	18.3	279.5 (87.8)	323.8 (106.5)	259.1 (65.6)
	NIGH13 牧	21.2	143.1 (74.3)	135.9 (39.0)	69.6 (40.7)
	NIGH14 塩沢	24.6	300.0 (48.6)	346.1 (56.3)	149.0 (31.7)
	NIGH11 川西	25.9	238.5 (114.5)	158.4 (83.2)	90.6 (42.9)
	NIGH19 湯沢	26.9	139.8 (35.4)	127.3 (34.2)	70.5 (6.1)

2011年長野県北部地震の観測記録

●K-NET観測点の観測記録のうち、NIG023及びNIG024観測点では、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。

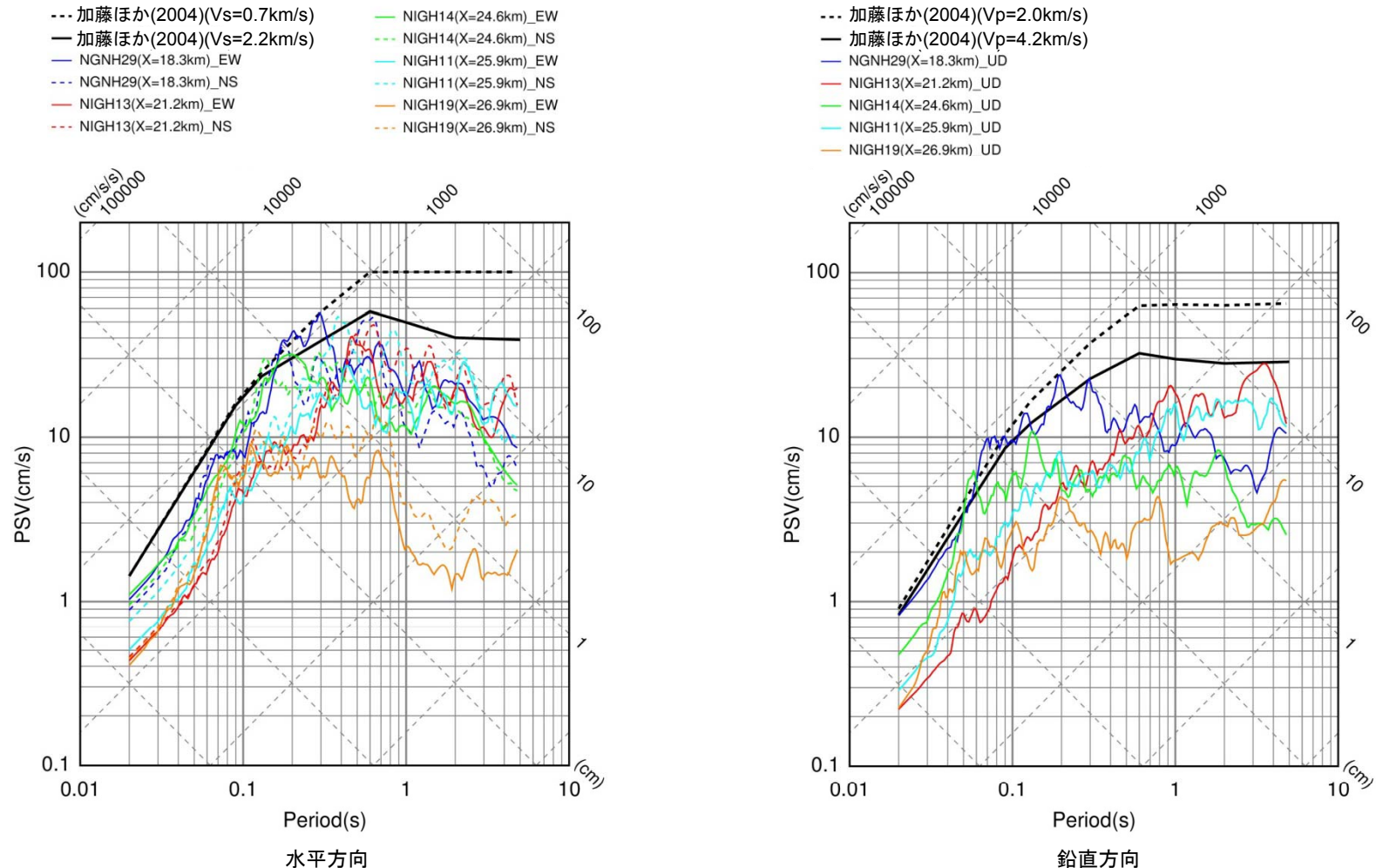
- | | | | | | |
|-------|------------------------|-------|---------------------|-----|------------------------|
| --- | 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s) | — | NIG024(X=22.4km)_EW | --- | 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s) |
| — | 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s) | - - - | NIG024(X=22.4km)_NS | — | 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s) |
| — | NIG023(X=10.2km)_EW | — | NIG022(X=24.3km)_EW | — | NIG023(X=10.2km)_UD |
| - - - | NIG023(X=10.2km)_NS | - - - | NIG022(X=24.3km)_NS | — | NIG021(X=22.2km)_UD |
| — | NIG021(X=22.2km)_EW | — | NGN001(X=26.8km)_EW | — | NIG024(X=22.4km)_UD |
| - - - | NIG021(X=22.2km)_NS | - - - | NGN001(X=26.8km)_NS | — | NIG022(X=24.3km)_UD |
| | | | | — | NGN001(X=26.8km)_UD |



K-NET各観測点による応答スペクトルと加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

2011年長野県北部地震の観測記録

●KiK-net観測点の地表観測記録のうち、NGNH29及びNIGH14観測点では、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを一部の周期で上回る。

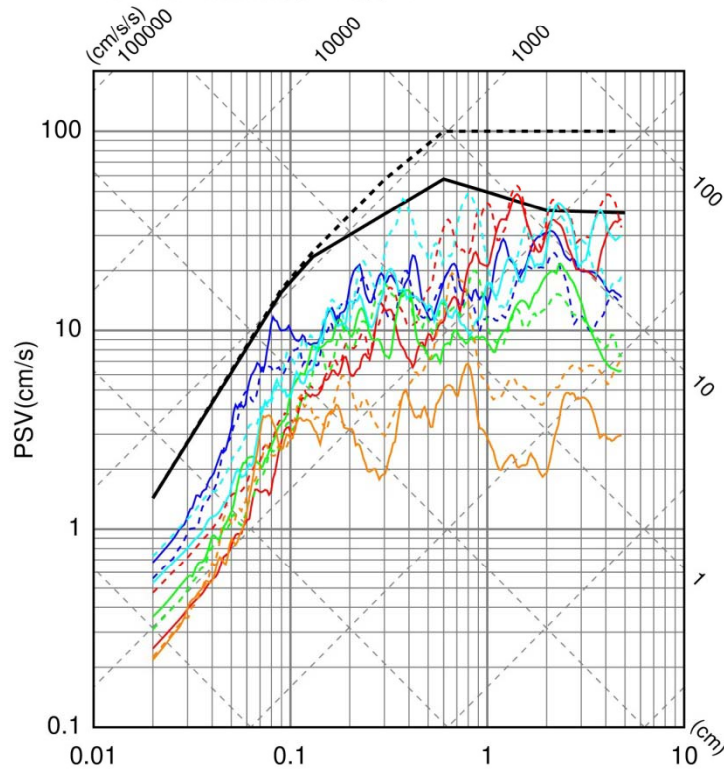


KiK-net各観測点による応答スペクトル(地表)と加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

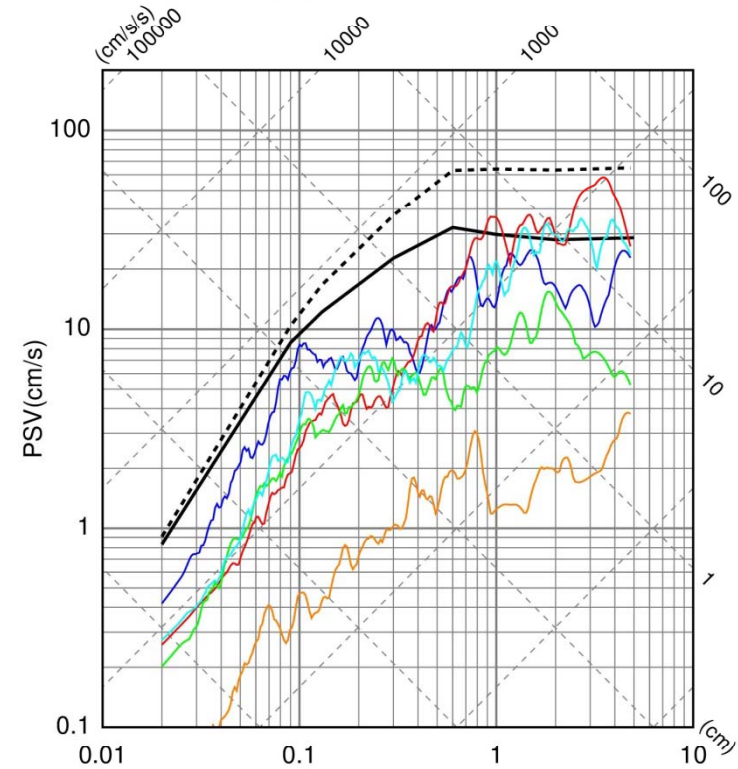
2011年長野県北部地震の観測記録

●KiK-net観測点の地中観測記録(地中×2)は, すべて加藤ほか(2004)の応答スペクトルに包絡される。

- | | | |
|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| --- 加藤ほか(2004)(Vs=0.7km/s) | — NIGH14(X=24.6km)_EW | --- 加藤ほか(2004)(Vp=2.0km/s) |
| — 加藤ほか(2004)(Vs=2.2km/s) | --- NIGH14(X=24.6km)_NS | — 加藤ほか(2004)(Vp=4.2km/s) |
| — NGNH29(X=18.3km)_EW | — NIGH11(X=25.9km)_EW | — NGNH29(X=18.3km)_UD |
| --- NGNH29(X=18.3km)_NS | --- NIGH11(X=25.9km)_NS | — NIGH13(X=21.2km)_UD |
| — NIGH13(X=21.2km)_EW | — NIGH19(X=26.9km)_EW | — NIGH14(X=24.6km)_UD |
| --- NIGH13(X=21.2km)_NS | --- NIGH19(X=26.9km)_NS | — NIGH11(X=25.9km)_UD |
| | | — NIGH19(X=26.9km)_UD |



水平方向



鉛直方向

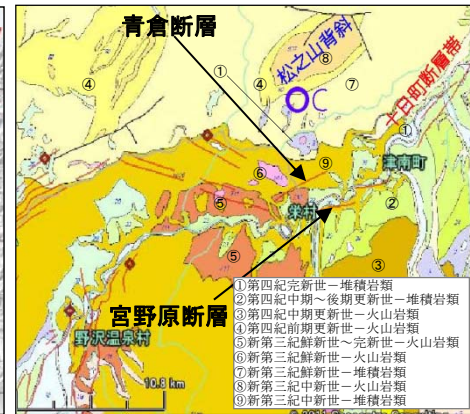
KiK-net各観測点による応答スペクトル(地中×2)と加藤ほか(2004)による応答スペクトルの比較

2011年長野県北部地震に関する震源周辺の地質構造

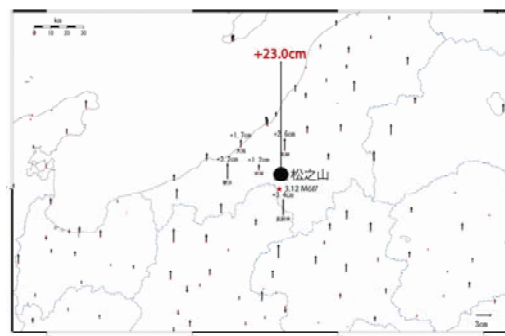
- 長野県北部地震の震源付近には、堆積岩類及び火山岩類(新第三紀中新世～第四紀完新世)が分布する。
- 震源付近には、十日町断層帯の西端に位置する宮野原断層、青倉断層があり、これらは活断層と推定されている。
- 震源断層は、北西-南東方向の圧縮軸を持つ南東傾斜の逆断層と見られている。また、余震の震源分布の投影図から、余震域の北東側と南西側では、断層面の傾斜が異なる可能性があると見られている。
- 余震分布の震源域の北端に、松之山背斜がほぼ一致することから、南東傾斜の断層は、松之山背斜と関連した断層構造である可能性が高いと想定されている。また、松之山が隆起した解釈とも調和的であり、地震によって松之山背斜が成長した可能性があると見られている。



長野県北部の主な地震

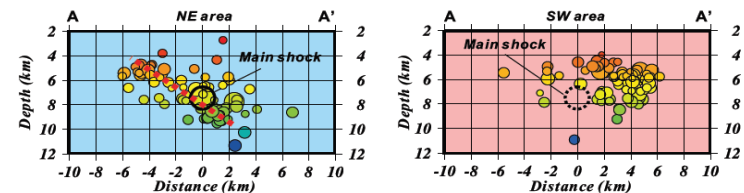
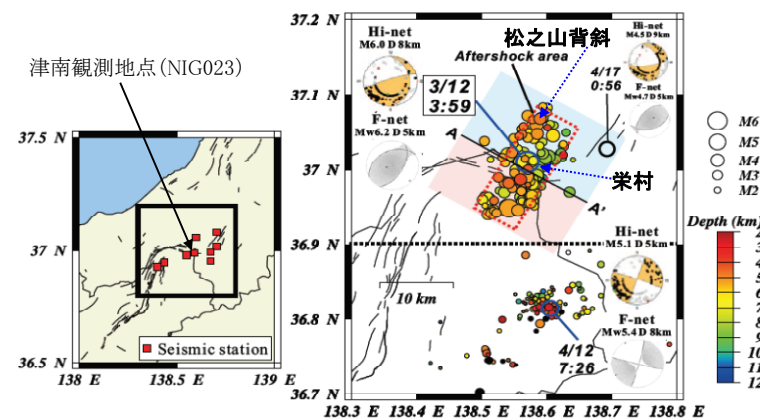


周辺地質図



長野県北部地震前後の上下方向の地殻変動

3月12日長野県北部の地震に伴う地変と栄村周辺地域の活断層
(廣内ほか, 2012)に加筆



A-A'断面に震源を投影した図(左:北東域, 右:南西域)

- ・稠密地震観測データを用いた解析により、本震の震源の深さは約8kmと推定。
- ・余震は、北北東-南南西方向に約17kmの広がり、深さ4～10kmに分布。
- ・余震域の北東側では、余震が南東傾斜の面状に分布するが、南西側ではその特徴が見られず、北東側と南西側では断層面の傾斜が異なる可能性。

3月12日長野県北部の地震と余震の震源分布図

まとめ①

●Mw6.5未満の地震のうち、影響の大きい5記録について整理した結果は以下の通り。

		2004年北海道 留萌支庁南部地震	2013年栃木県北部地震	2011年和歌山県 北部地震	2011年茨城県北部地震	2011年長野県北部地震
地盤モデル	使用モデル	・佐藤ほか(2013)のポーリング結果に基づく地盤モデル	・KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	・KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	・KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	・地盤情報が少なく地盤モデルを構築できない
	既往の知見との整合性	・微動探査による地盤データと整合 ・知見で指摘されている非線形性を考慮	・KiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている減衰、方位依存性の影響が不明	・KiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている減衰の影響が不明	・観測記録の伝達関数及びKiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている減衰の影響が不明	・地盤モデルに関する既往の知見がない
	更なる知見収集・検討事項	—	・地盤モデルの改良 ・知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	・地盤モデルの改良 ・知見で指摘されている特性に関するデータの取得と影響度合いの評価	・地盤モデルの改良 ・知見で指摘されている特性に関するデータの取得と影響度合いの評価	・地質調査、微動探査等による地盤情報の取得
はざとり解析	解析手法	・非線形性を考慮した等価線形解析	・線形解析	・線形解析	・線形解析	・地盤モデルが構築できないため、解析できない
	精度	・観測記録と整合	・はざとり解析の適用性が不明	・はざとり解析の適用性が不明	・はざとり解析の適用性が不明	・はざとり解析の適用性が不明
	更なる知見収集・検討事項	—	・地表及び地中観測記録の再現解析	・地表及び地中観測記録の再現解析	・地表及び地中観測記録の再現解析	・地表観測記録の再現解析
結果の信頼性		○	×	×	×	×

3.8 まとめ

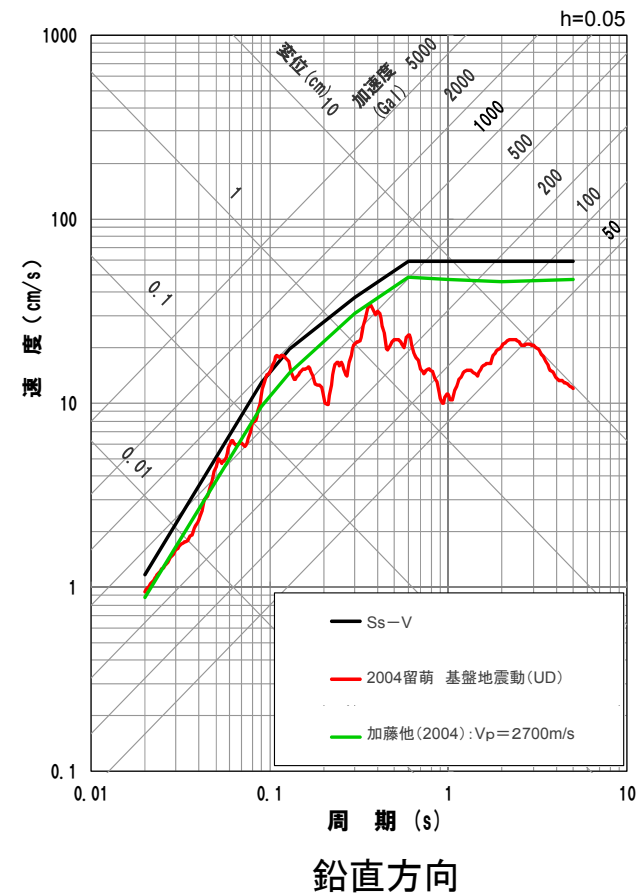
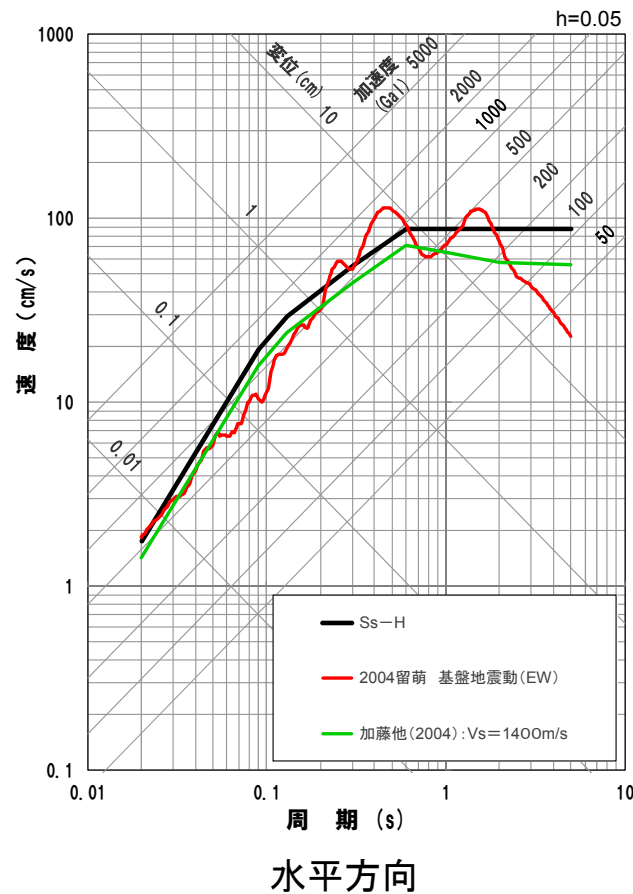
まとめ②

- Mw6.5未満の地震のうち、影響の大きい5記録について整理した結果、2004年北海道留萌支庁南部地震のHKD020(港町)の観測記録については、信頼性のある基盤地震動が評価できたと考えられることから、震源を特定せず策定する地震動に反映する。
なお、HKD020(港町)の基盤地震動の更なる妥当性の確認については、これまでの審査会合での指摘事項を踏まえ検討しているところである。
- 2013年栃木県北部地震のTCGH07(栗山西)、2011年和歌山県北部地震のWKYH01(広川)、2011年茨城県北部地震のIBRH13(高萩)の観測記録については、一次元波動論では信頼性のある地盤モデルが構築できず、はざとり解析による基盤地震動の評価は困難と考えられ、更なる知見の収集、はざとり解析等の検討が必要である。
- 2011年長野県北部地震のNIG023(津南)の観測記録については、地盤情報が少ないため、はざとり解析が困難であり、各種調査により地盤情報の取得が必要である。

4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定

4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定

- 2004年北海道留萌支庁南部地震のHKD020(港町)について、信頼性の高い基盤地震動が得られたことから、震源を特定せず策定する地震動に反映する。
- 震源を特定せず策定する地震動は、現行の加藤ほか(2004)に基づく応答スペクトルに加えて、2004年北海道留萌支庁南部地震の基盤地震動を考慮する。

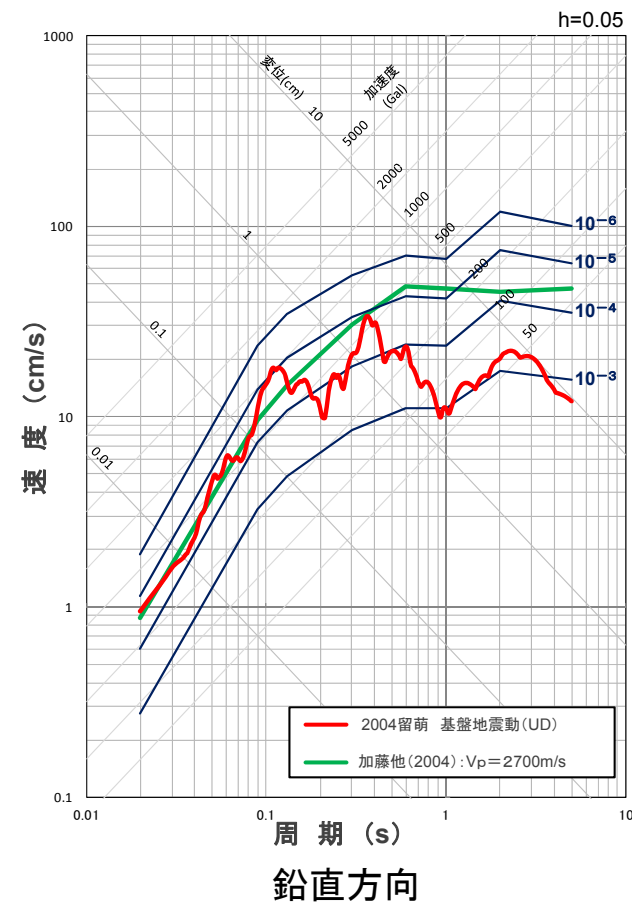
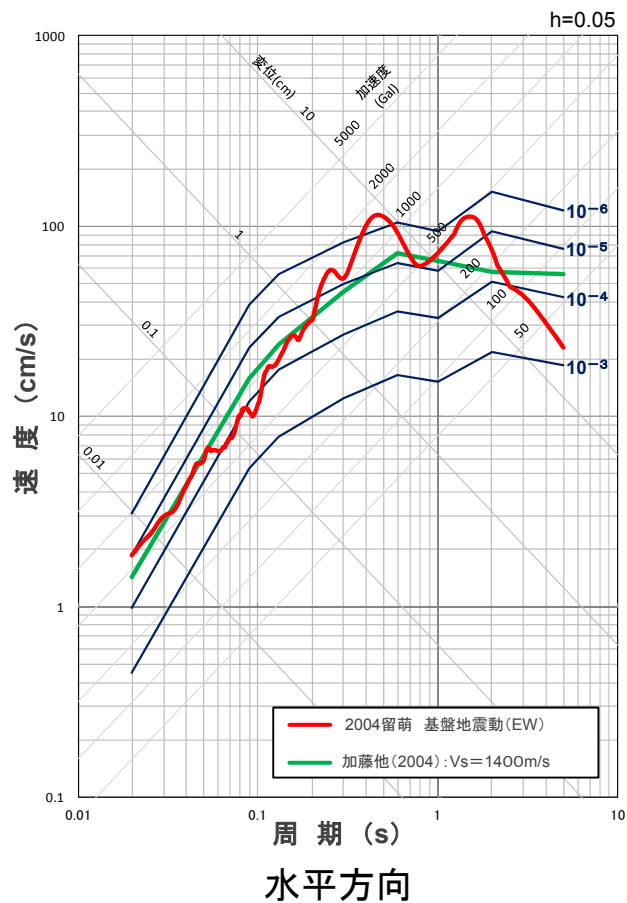


- 2004年北海道留萌支庁南部地震は、基準地震動の応答スペクトルを一部の周期帯で上回ることから、基準地震動に追加する。

4. 「震源を特定せず策定する地震動」の策定

妥当性の確認

- 2004年北海道留萌支庁南部地震の基盤地震動の応答スペクトルの妥当性を確認するため、領域震源モデルによる地震ハザード評価結果と比較する。



- 2004年北海道留萌支庁南部地震の基盤地震動の年超過確率は、水平方向で $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度である。

震源を特定せず策定する地震動に関して、2004年北海道留萌支庁南部地震のHKD020(港町)における基盤地震動の更なる妥当性の確認については、これまでの審査会合での指摘事項を踏まえ検討を進めているところではあるが、その他の記録についても、今後、以下のとおり検討・評価に取り組むこととする。

- 2013年栃木県北部地震のTCGH07(栗山西)、2011年和歌山県北部地震のWKYH01(広川)、2011年茨城県北部地震のIBRH13(高萩)の観測記録については、1次元波動論による信頼性のある地盤モデルが構築できていないことから、今後も継続的に知見の収集、はぎとり解析等の検討を進め、信頼性の高い基盤地震動の算定を試みる。
- 2011年長野県北部地震のNIG023(津南)の観測記録については、地盤情報が少ないため、はぎとり解析が困難であることから、今後、各種調査により地盤情報の取得に努める。