

野津厚証人尋問書証つづり



甲D194野津意見書40頁

平成3年3月 京都大学工学部土木工学科卒業

平成5年3月 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻修士課程修了

平成16年9月 博士(工学)東京工業大学

平成5年4月 運輸省港湾技術研究所 構造部地震防災研究室研究官

平成11年4月 運輸省港湾技術研究所 構造部主任研究官

平成13年4月 独立行政法人港湾空港技術研究所地盤・構造部主任研究官

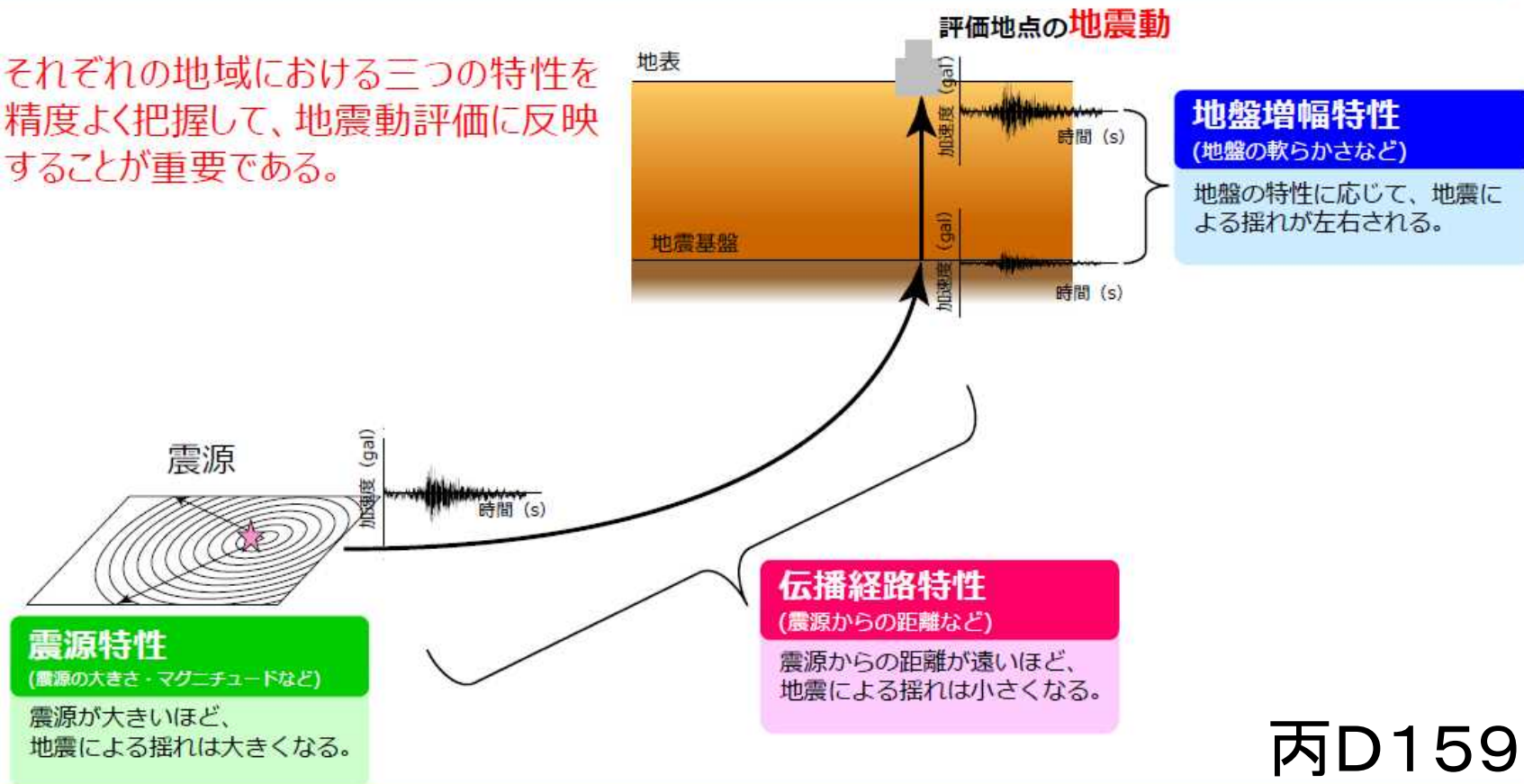
平成22年4月 独立行政法人港湾空港技術研究所地震動研究チーム
チームリーダー

平成26年4月 独立行政法人港湾空港技術研究所地震防災研究領域
領域長

地震の揺れを決める三つの特性と地域性

- 「地震」が生じると、震源断層面からエネルギー（地震波）が放出される。そして、地震波がある地点に到達すると地盤に揺れが生ずる。この揺れが「地震動」である。
- 地震動には、三つの特性があり、それぞれに地域性がある。

それぞれの地域における三つの特性を精度よく把握して、地震動評価に反映することが重要である。



丙D159

- 基準地震動は、解放基盤表面の位置において策定される。
⇒解放基盤表面は、基準地震動を策定するにあたって、基盤面上の表層地盤や構造物がないものとして仮想的に設定する自由表面であり、著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な広がりをもって想定される基盤の表面をいう。ここでいう「基盤」とは、 V_s （S波が地盤中を伝わる速度）＝700m/s以上の硬質地盤であって著しい風化を受けていないものとする。（設置許可基準規則の解釈別記2の5一）
- 敷地の地表面の地震動は、各地点の表層地盤や地形及び構造物の影響を受ける。これらの影響を取り除いた仮想的な自由表面である解放基盤表面で地震動を策定してから、構造物などの耐震性を評価するという手法を採用したもの。
- なお、地震調査研究推進本部によるレシピでは、「工学的基盤」までの強震動を計算してから、地表における強震動を計算する方法が提案されている。ここでいう「工学的基盤」については、「建築や土木等の工学分野での構造物設計の際には、地震動設定の基礎とする堅固な地盤。構造物の種類や地盤の状況によって目安とするS波速度は異なるが、多くの場合300～700m/sとされている。（丙D第18号証22頁）

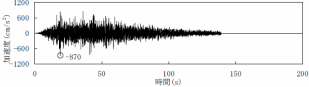
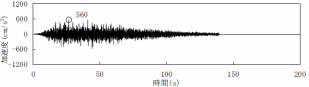
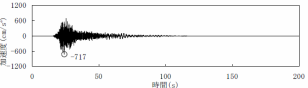
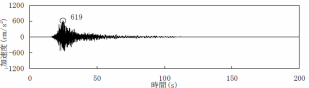
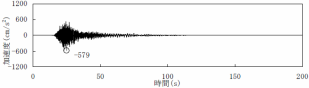
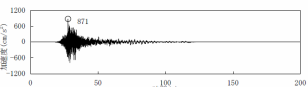
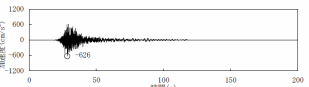
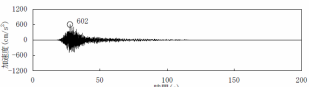
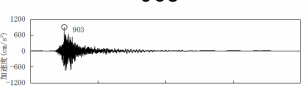
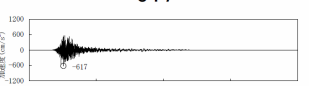
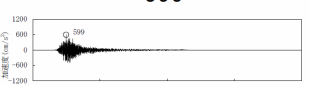
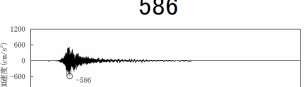
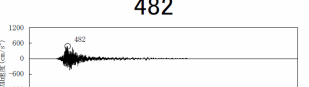
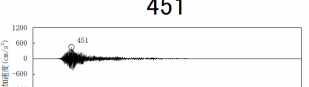
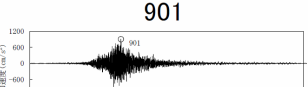
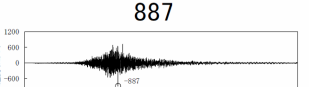
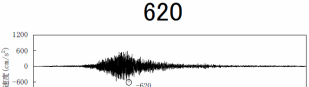
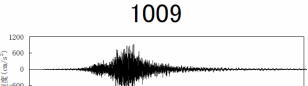
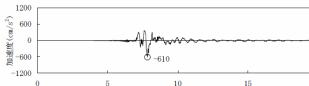
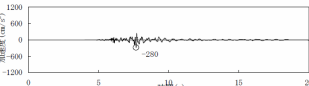


6. 基準地震動の策定 基準地震動Ss(2/2)

甲D53

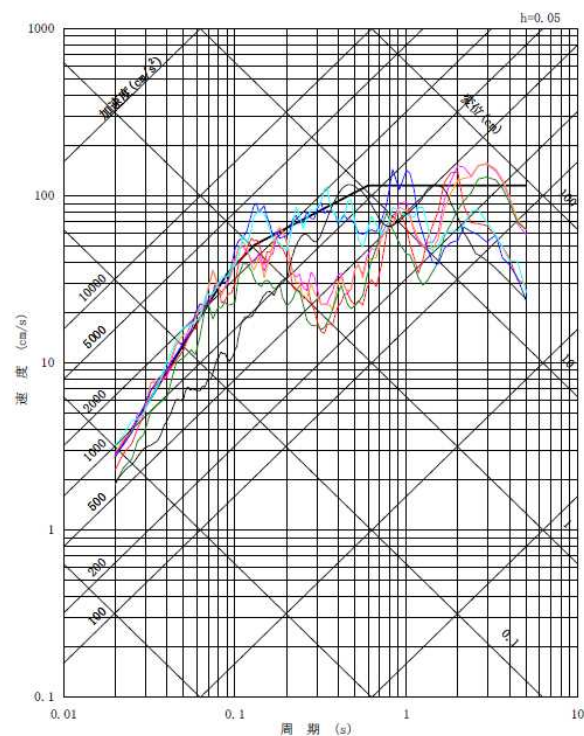
第448回審査会合
資料1-1再掲

■基準地震動Ssの最大加速度の一覧を示す。

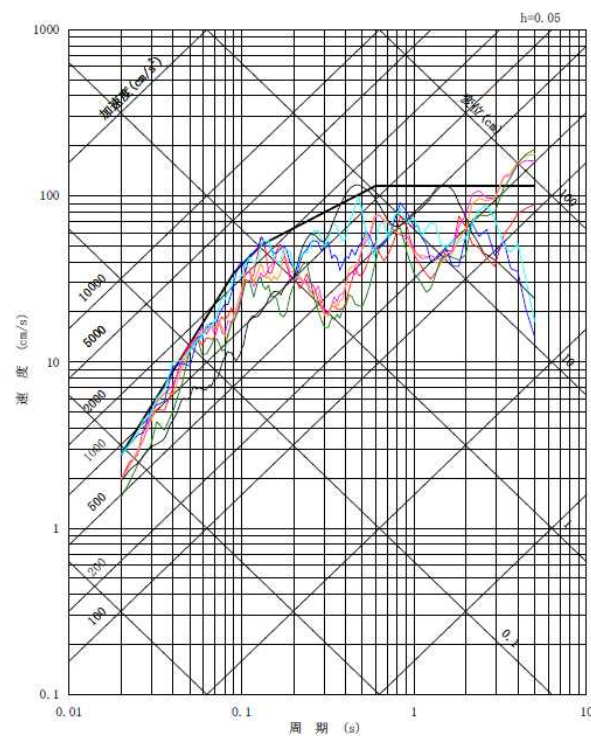
基準地震動		最大加速度(cm/s ²)		
		NS成分	EW成分	UD成分
Ss-D1	応答スペクトル手法による基準地震動	870 		560 
Ss-11	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)	717 	619 	579 
Ss-12	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)	871 	626 	602 
Ss-13	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)	903 	617 	599 
Ss-14	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)	586 	482 	451 
Ss-21	2011年東北地方太平洋沖型地震 (短周期レベルの不確かさ)	901 	887 	620 
Ss-22	2011年東北地方太平洋沖型地震 (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)	1009 	874 	736 
Ss-31	2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動	610 		280 

■基準地震動Ssを示す。

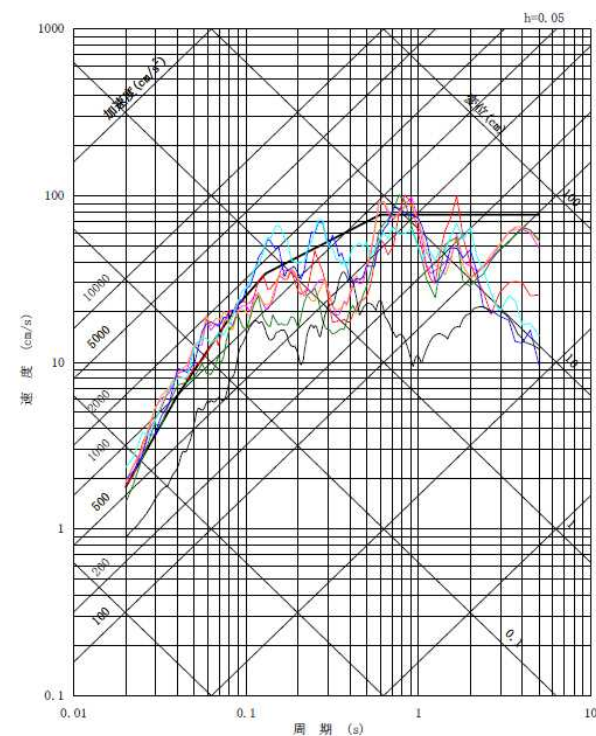
- Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-11 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- Ss-12 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-13 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-14 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)
- Ss-22 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- Ss-31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動



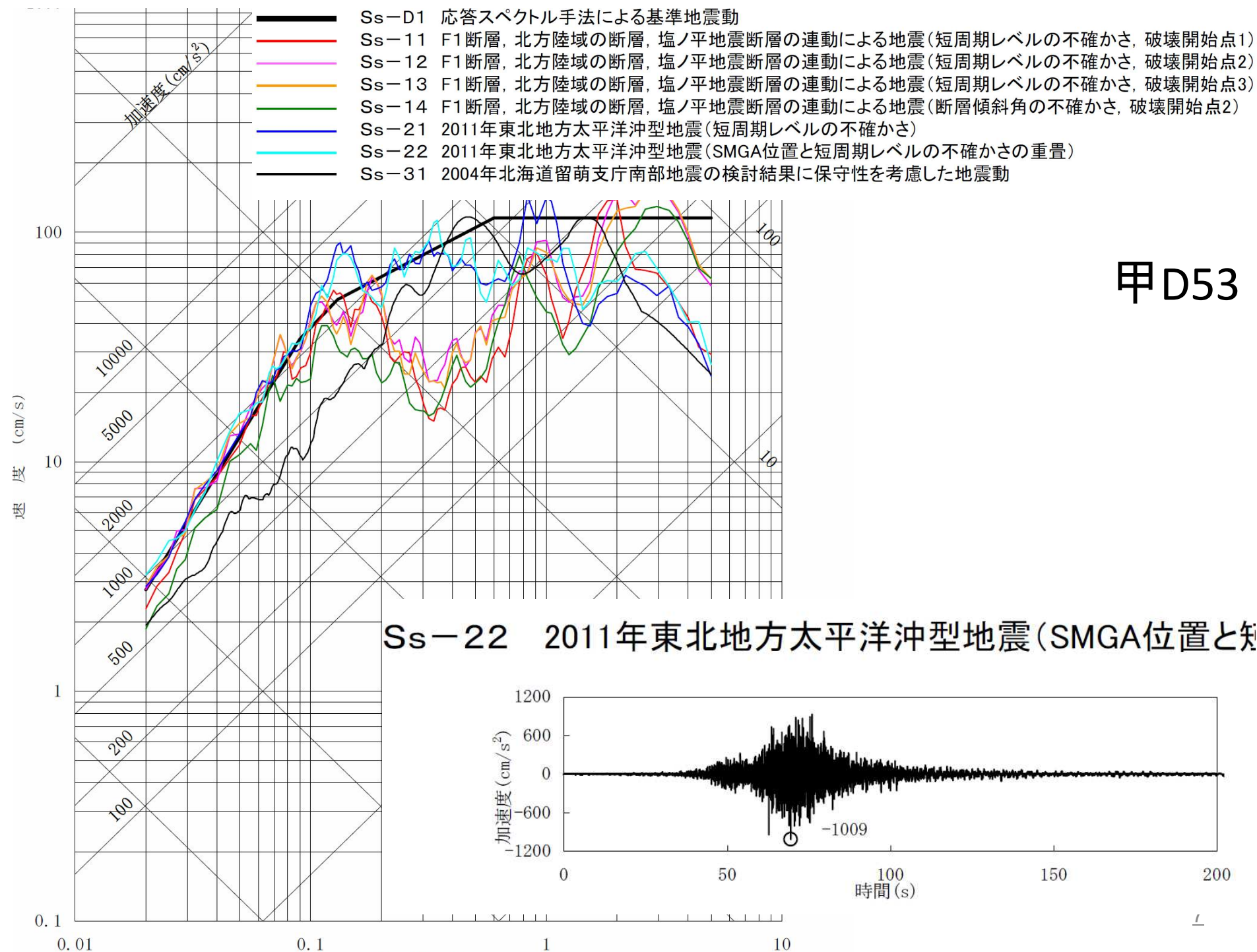
NS成分



EW成分



UD成分



1. 基準地震動の策定の概要 検討概要(1/2)

甲D53

第414回審査会合
資料2再掲

■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

プレート間地震	海洋プレート内地震	内陸地殻内地震
【検討用地震の選定】 2011年東北地方太平洋沖型地震 (Mw9.0) 【基本震源モデルの設定】 強震動予測レシピに基づく震源モデル (Mw9.0) 主な特徴 ・既往最大である2011年東北地方太平洋沖地震と同様のMw9.0を想定している。 ・巨大プレート間地震に対して適用性を確認した強震動予測レシピに基づきパラメータを設定している。 ・基本震源モデルによる評価結果は、2011年東北地方太平洋沖地震における敷地観測記録と良く対応していることを確認している。 【不確かさの考慮】 ・SMGA位置の不確かさ (過去に発生した地震の位置→敷地最短) ・短周期レベルの不確かさ (宮城県沖で発生する地震の短周期励起特性を概ねカバーするレベルとして基本震源モデルの1.5倍を考慮) ・SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳	【検討用地震の選定】 中央防災会議 茨城県南部の地震 (Mw7.3) 【基本震源モデルの設定】 中央防災会議(2013)等の各種知見に基づく震源モデル (Mw7.3) 主な特徴 ・想定になった中央防災会議(2013)は、フィリピン海プレートに関する最新知見を踏まえたものであり、1855年安政江戸地震の再現モデル(応力降下量 52MPa)に2割程度保守性を考慮(応力降下量 62MPa)している。 ・フィリピン海プレートの厚さが20km以上となる領域のうち、敷地に近い位置に想定している。 【不確かさの考慮】 ・断層傾斜角の不確かさ (90度→敷地に向く角度) ・アスペリティ位置の不確かさ (海洋マントル上端→海洋地殻上端) ・応力降下量の不確かさ (62MPa→77MPa) ・地震規模の不確かさ (Mw7.3→Mw7.4)	【検討用地震の選定】 F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8) 【基本震源モデルの設定】 地質調査結果や強震動予測レシピに基づく震源モデル (M7.8) 主な特徴 ・2011年福島県浜通りの地震の知見から、地震発生層の上端深さを3kmと設定している。下端深さについては保守的に18kmとし、断層幅をより厚く想定している。 ・断層傾斜角については、F1断層における音波探査結果や2011年福島県浜通りの地震の震源インバージョンモデルでの傾斜角を参考に西傾斜60度としている。 ・断層全長約58kmを南部と北部に区分けする際、リニアメントが判読されない区間をF1断層側に含め、これらを合わせて一つの区間とすることで敷地に近い南部区間に配置するアスペリティの地震モーメントや短周期レベルを大きくし、安全側の設定としている。 【不確かさの考慮】 ・短周期レベルの不確かさ (2007年新潟県中越沖地震の知見を踏まえ基本震源モデルの1.5倍を考慮) ・断層傾斜角の不確かさ (2011年福島県浜通りの地震の震源域での余震分布の形状を考慮し、傾斜角45度を考慮) ・アスペリティ位置の不確かさ (端部1マス離隔あり→端部1マス離隔なし)

次頁へ

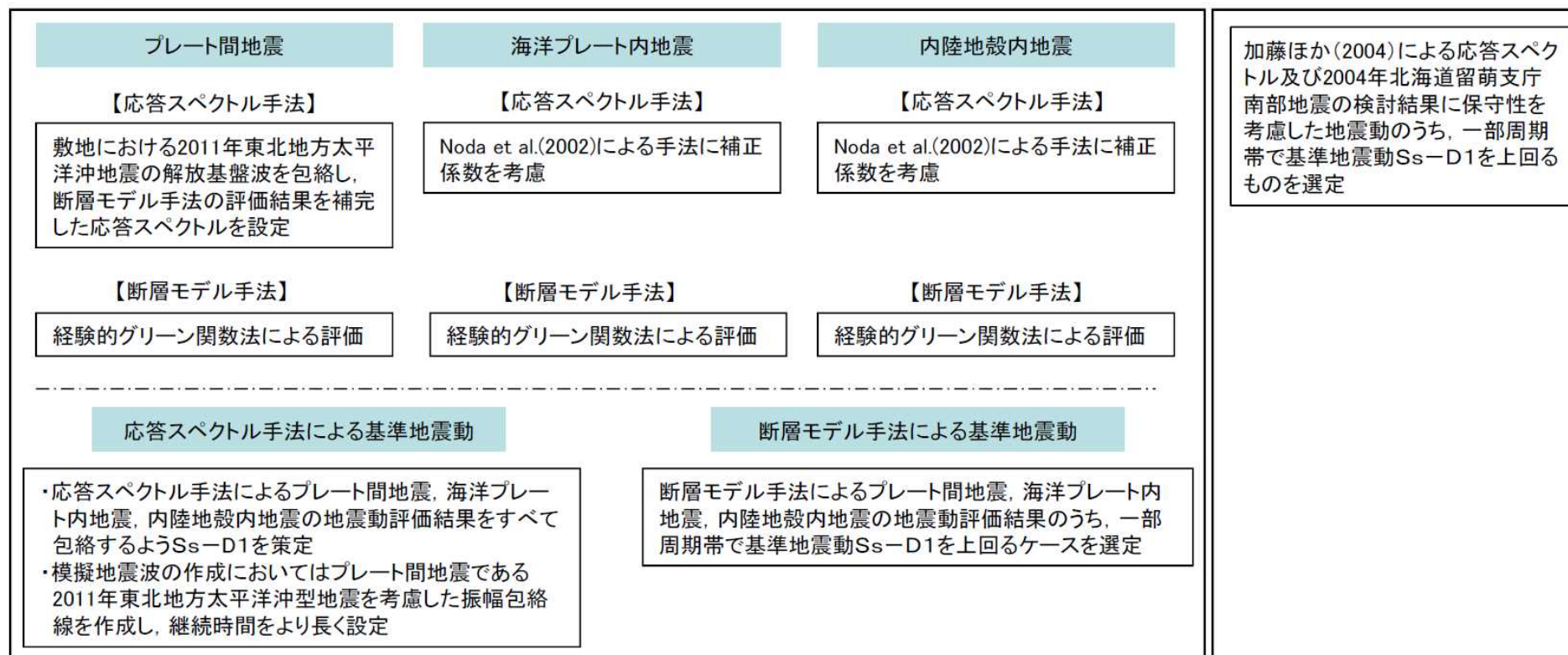
■震源を特定せず策定する地震動

既往の知見
震源を事前に特定できない地震に関する既往の知見である加藤ほか(2004)による応答スペクトル 審査ガイド例示16地震 信頼性のある基盤地震動の検討結果を踏まえ2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動を設定

次頁へ

■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■震源を特定せず策定する地震動



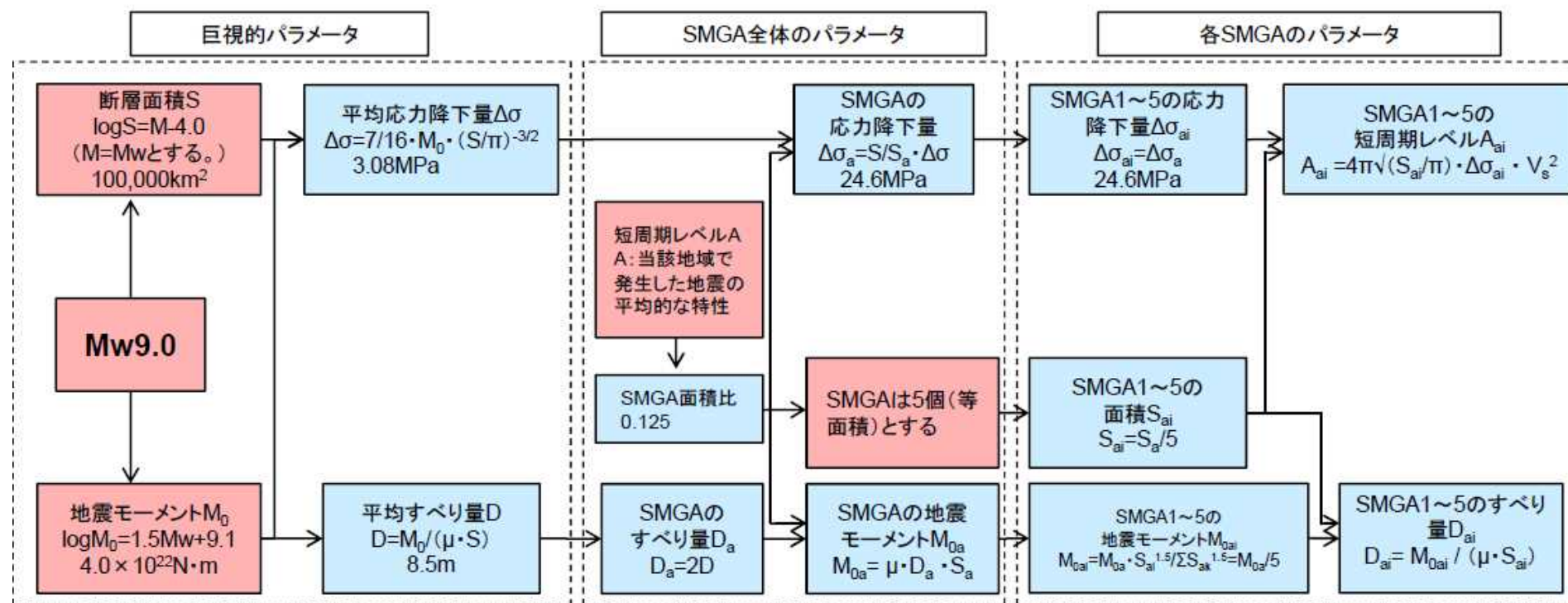
加藤ほか(2004)による応答スペクトル及び2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動のうち、一部周期帯で基準地震動Ss-D1を上回るものを選定

■基準地震動Ssの策定

- Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-11 F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8)(短周期レベルの不確かさ、破壊開始点1)
- Ss-12 F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8)(短周期レベルの不確かさ、破壊開始点2)
- Ss-13 F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8)(短周期レベルの不確かさ、破壊開始点3)
- Ss-14 F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8)(断層傾斜角の不確かさ、破壊開始点2)
- Ss-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)(短周期レベルの不確かさ)
- Ss-22 2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- Ss-31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動

基本震源モデルの設定フロー

- 巨大プレート間地震に対し強震動予測レシピが適用できることは諸井ほか(2013)で示されている。よって基本震源モデルについて、強震動予測レシピに基づいてパラメータ設定を行う。



与条件とした項目

強震動予測レシピを用いて設定

(SMGA: 強震動生成域)

基本震源モデルの設定(2/2)

甲D53

第336回審査会合
資料1再掲

■断層形状, SMGA位置等については下記の通り設定する。

【断層形状】

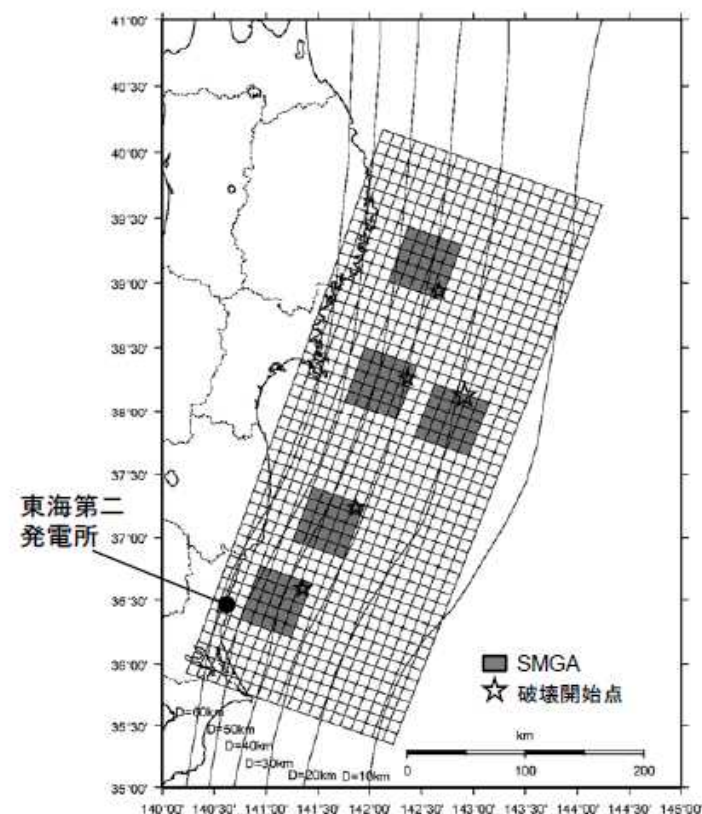
- ・長さ, 幅は, 2011年東北地方太平洋沖地震の震源域を参考にそれぞれ500km, 200kmとする。
- ・走向は, 2011年東北地方太平洋沖地震に関する防災科学技術研究所F-netのCMT解を用いる。深さは, 太平洋プレートの上面に沿ってモデル化する。

【SMGAの位置】

- ・地震調査研究推進本部の領域区分に基づき5個のSMGAを設定し, 2011年東北地方太平洋沖地震のSMGAや, それぞれの領域で過去に発生したM7～M8クラスの地震の震源域を参考に配置する。
- ・茨城県沖のSMGA位置は, 2011年東北地方太平洋沖地震の敷地での観測記録を再現できる位置としており, 各文献で示された2011年東北地方太平洋沖地震のSMGAの中では敷地に最も近い位置である。
- ・この位置は, 過去に発生したM7クラスの地震の中では最も敷地に近い1938年塩屋崎沖の地震(M7.0)や1896年鹿島灘の地震(M7.3)の震央位置と対応していることを確認している。

【破壊開始点】

2011年東北地方太平洋沖地震の震源位置に設定する。

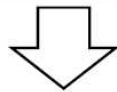


基本震源モデル

三つの特性を詳細にモデル化して
理論的に評価する手法

経験的グリーン関数法の特徴

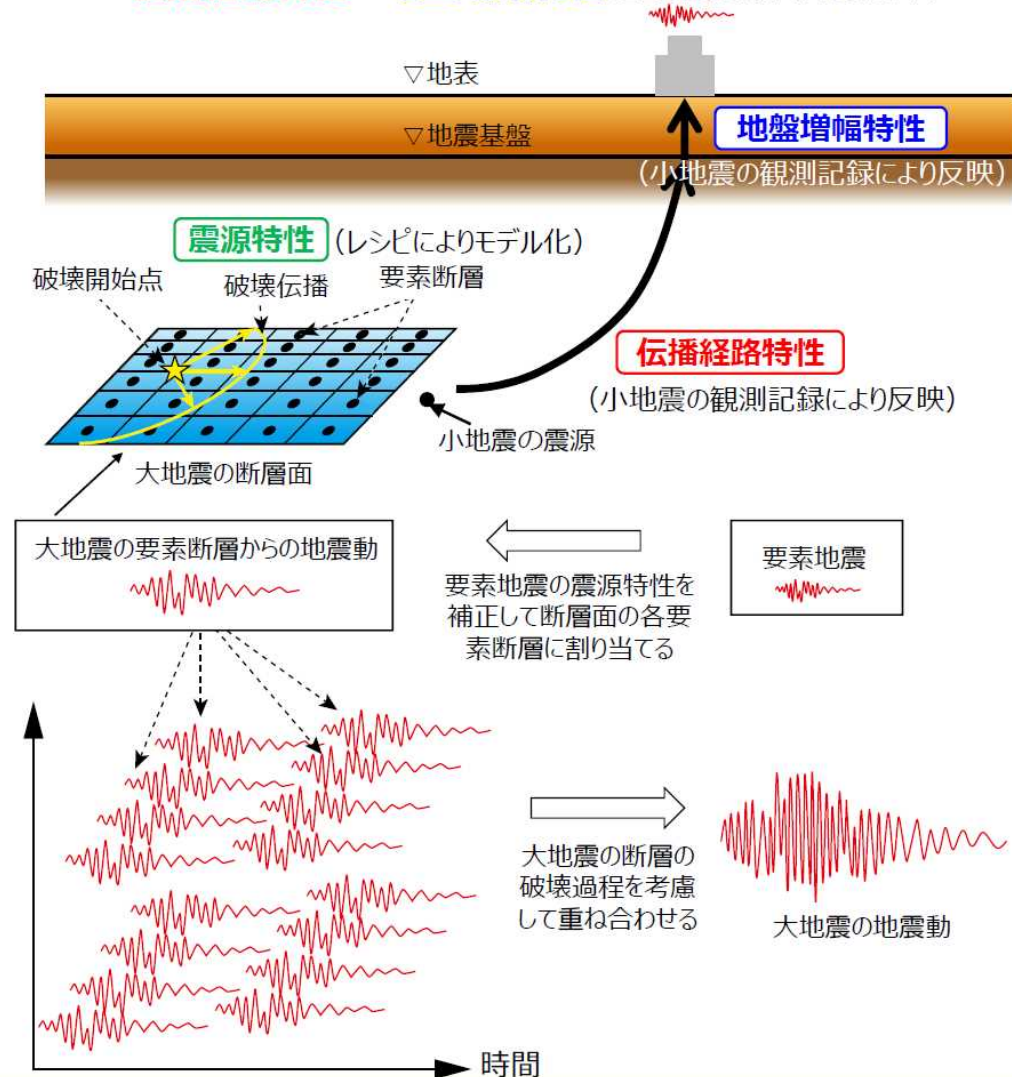
敷地の観測記録には、地域性の反映された**伝播経路特性**、**地盤増幅特性**の影響が含まれている。



この観測記録を地震動評価に用いることで、敷地の**伝播経路特性**、**地盤増幅特性**を地震動評価に反映することができる。

(参考)
経験的グリーン関数法の他にも
・統計的グリーン関数法
・理論的手法
・ハイブリッド合成法
などがある。

敷地で得られた小地震の観測記録を要素地震とする。
⇒**伝播経路特性**・**地盤増幅特性**を地震動評価に反映

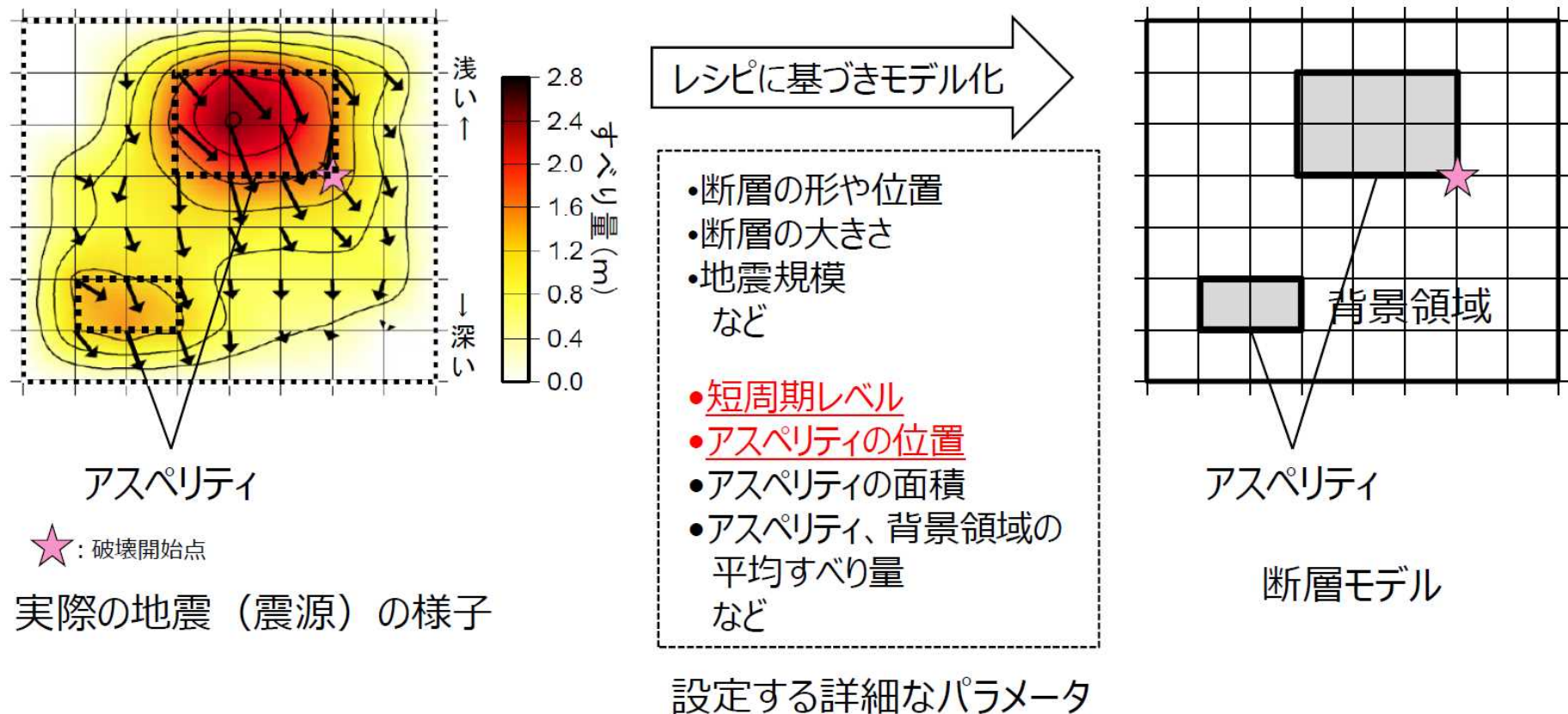


震源のモデル化における重要なパラメータ

丙D159

- 不均質な震源断層面を、レスピに基づき特性化して震源モデルを作成する。
- アスペリティ※とは、活断層などの断層面上で、通常は強く固着していて、ある時に急激にずれて強い地震波を出す領域（強震動生成域）のこと。
- 地震のゆれの評価で重要なパラメータは、短周期レベルと、アスペリティの位置である。

※巨大なプレート間地震の場合は、**SMGA**（**S**trong **M**otion **G**eneration **A**rea）と言うことがある。



・震災

・地震動 各地点での大地の揺れ 震度

最大振幅

最大加速度（ガル、 cm/s^2 ）

最大速度（カイン、 cm/s ）

最大変位（ cm ）

継続時間

応答スペクトル

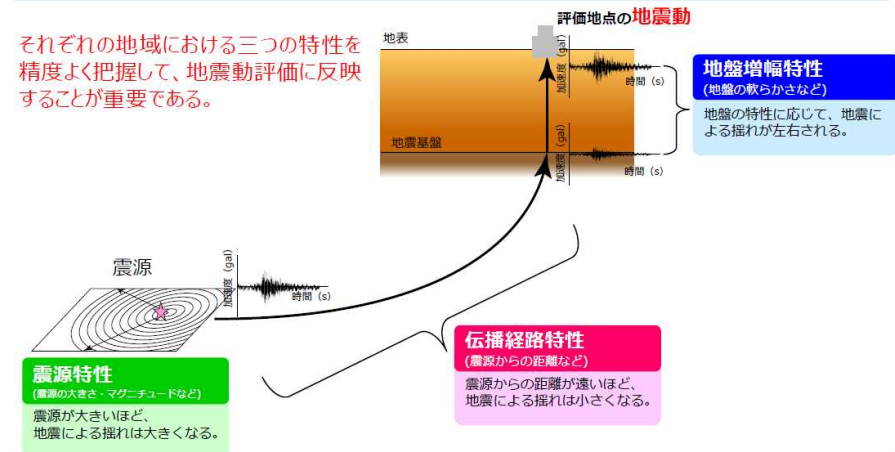
・地震 地下の岩石破壊

気象庁マグニチュード (M_j)

モーメントマグニチュード (M_w)

地震の揺れを決める三つの特性と地域性

- 「地震」が生じると、震源断層面からエネルギー（地震波）が放出される。そして、地震波がある地点に到達すると地盤に揺れが生ずる。この揺れが「地震動」である。
- 地震動には、三つの特性があり、それぞれに地域性がある。



揺れの強さを表す尺度

甲D154強震動(2~4頁)

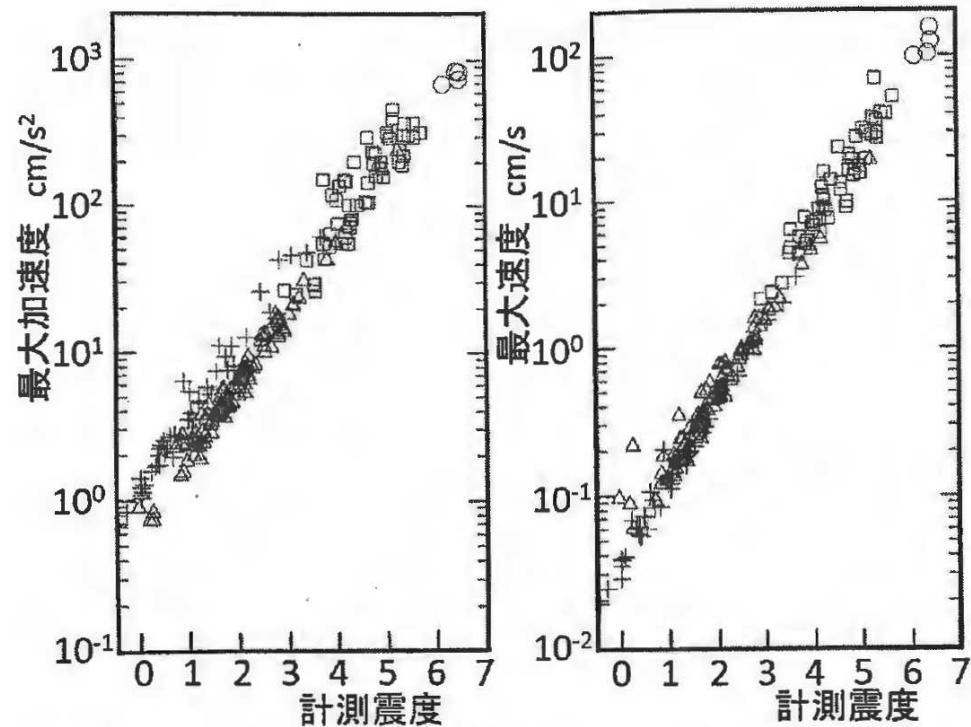


図 1.2 計測震度と最大加速度振幅および最大速度振幅との相関

おおよその目安

震度5強と6弱の境界 ($I = 5.5$)

最大速度 40(カイン、cm/s)前後

最大加速度 400(ガル、cm/s²)前後

震度6強と7の境界 ($I = 6.5$)

最大速度 150(カイン、cm/s)前後

最大加速度 1300(ガル、cm/s²)前後

$$I = 0.55 + 1.90 \log PGA \pm 0.30 \quad (4 \leq I \leq 7)$$

$$= 0.32 + 2.00 \log PGA \pm 0.30 \quad (4 \leq I \leq 7)$$

$$I = 2.68 + 1.72 \log PGV \pm 0.21 \quad (4 \leq I \leq 7)$$

$$= 2.32 + 2.00 \log PGV \pm 0.24 \quad (4 \leq I \leq 7)$$

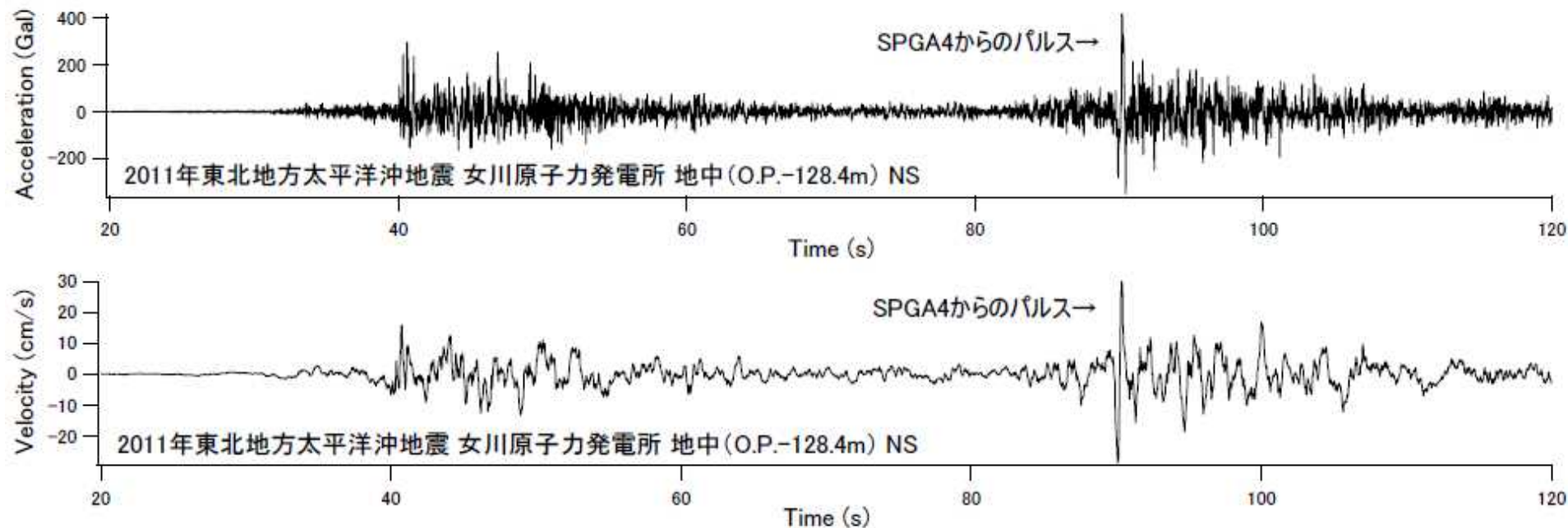
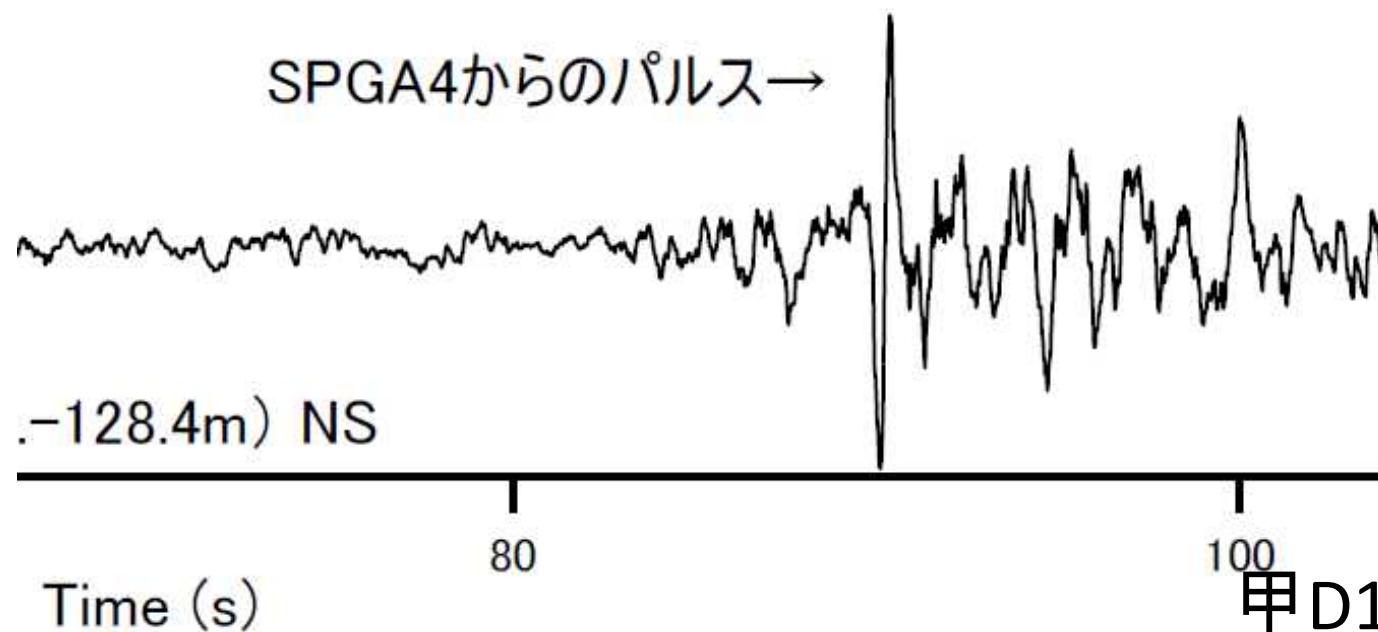
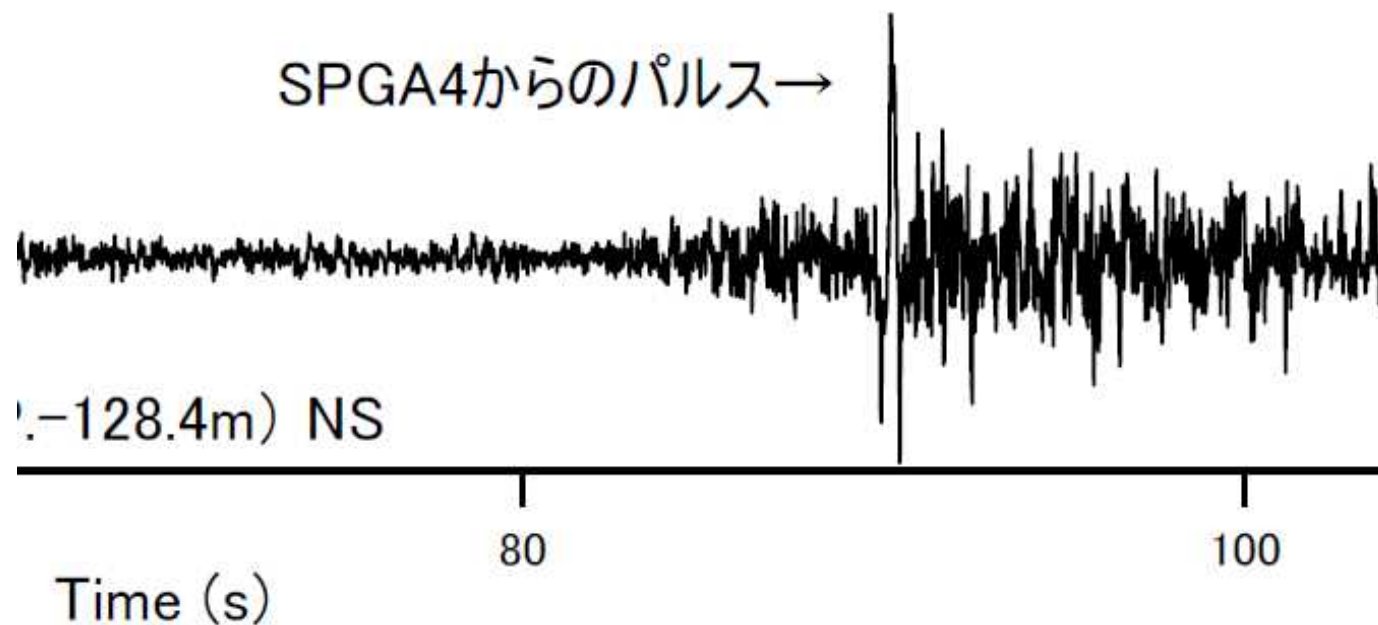


図7 東北地方太平洋沖地震の際に女川原子力発電所の深さ 128m で観測された NS 成分の加速度波形と速度波形. この図面上の 90 秒付近に加速度で見ても速度で見ても振幅の大きいパルス波が到来している. これが SPGA4 に由来するパルス波である.



1994年ノースリッジ地震(Mj6.8)

甲D186

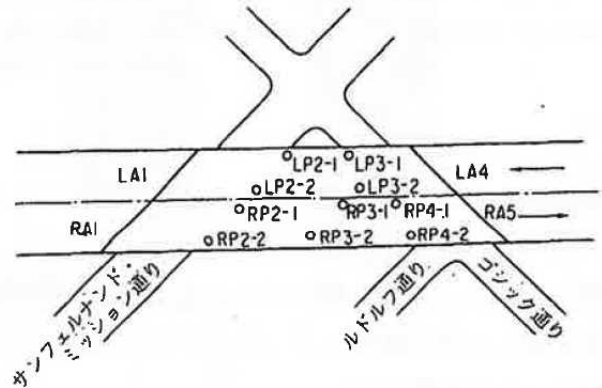
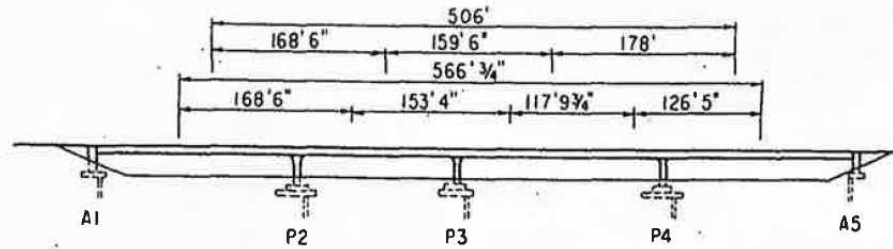


図 5.5.17 S-118 ミッション/ゴシック地区の高架橋¹⁾



写真 5.5.26 RP3-1 橋脚の被害²⁾ (フレアーの直下で破壊している)



写真 5.5.27 RP3-2 橋脚の被害 (橋脚の基部が傾斜している)²⁾



写真 5.5.28 LP3-1 橋脚の被害 (曲げせん断破壊)²⁾



写真 5.5.29 LP3-2 橋脚の被害 (曲げせん断破壊が進み、軸線が完全にずれている)²⁾



写真 5.5.30 LP2-2 橋脚の被害 (かぶりコンクリートの剥離) (コアコンクリートを拘束する帯鉄筋とは別に、フレアー部を補強する鉄筋が見える)²⁾



写真 5.5.31 RP2-2 橋脚基礎の損傷²⁾

1995年兵庫県南部地震(Mj7.3)

甲D187

高速道路

〈阪神高速道路3号神戸線・神戸市東灘区〉



甲D194野津意見書

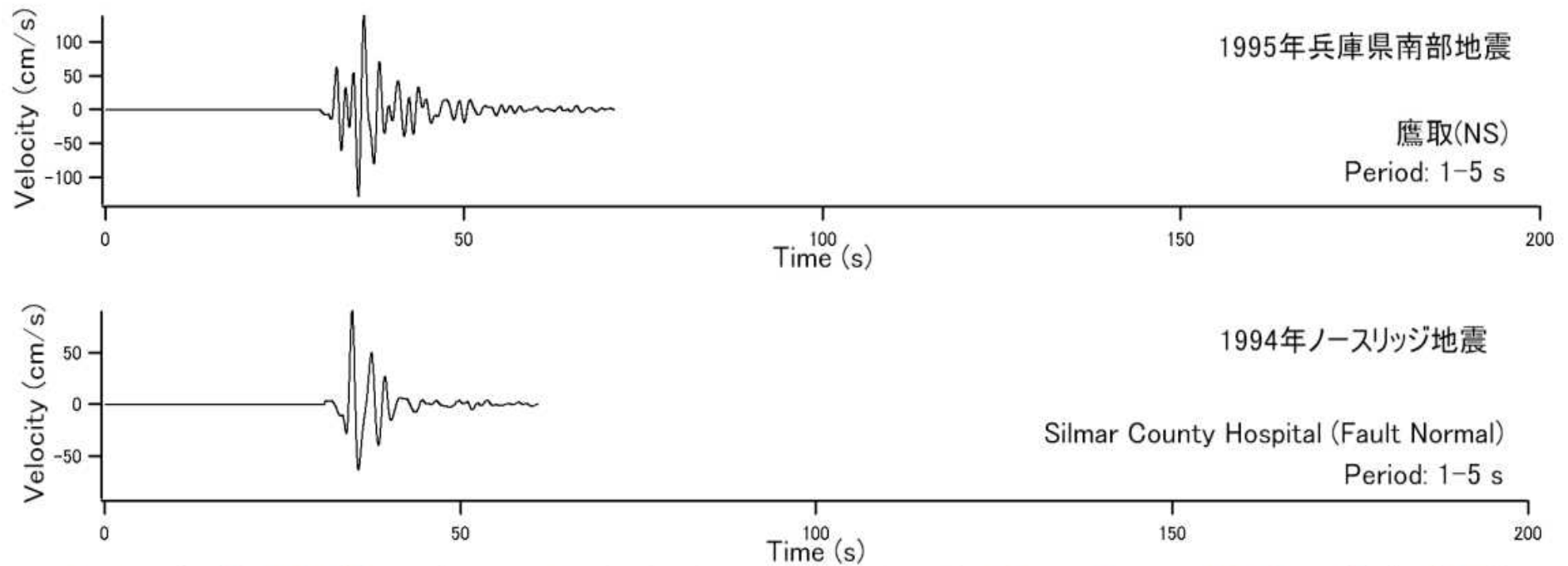


図2 内陸地殻内地震による強震動パルスの例（周期 1-5 秒の帯域の速度波形）

甲D194野津意見書

図2

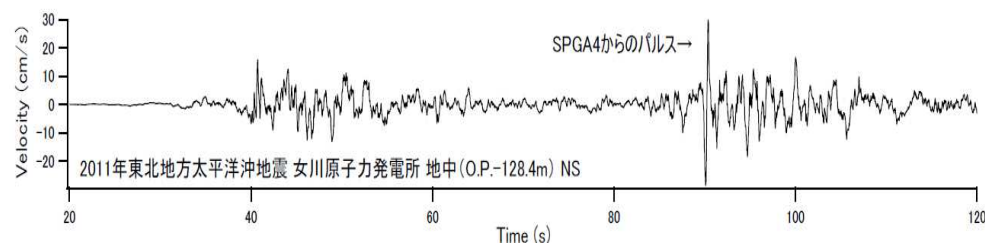
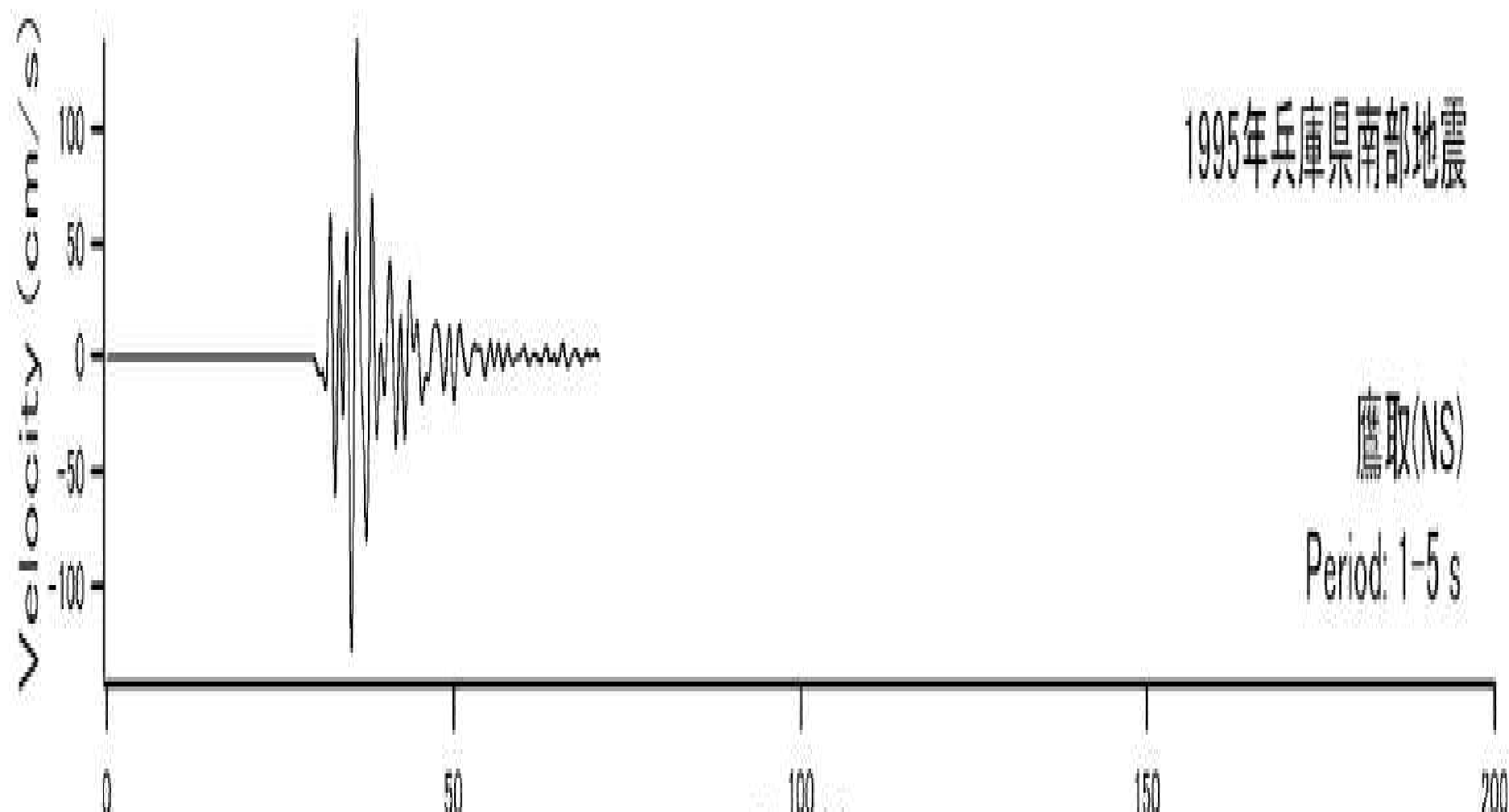
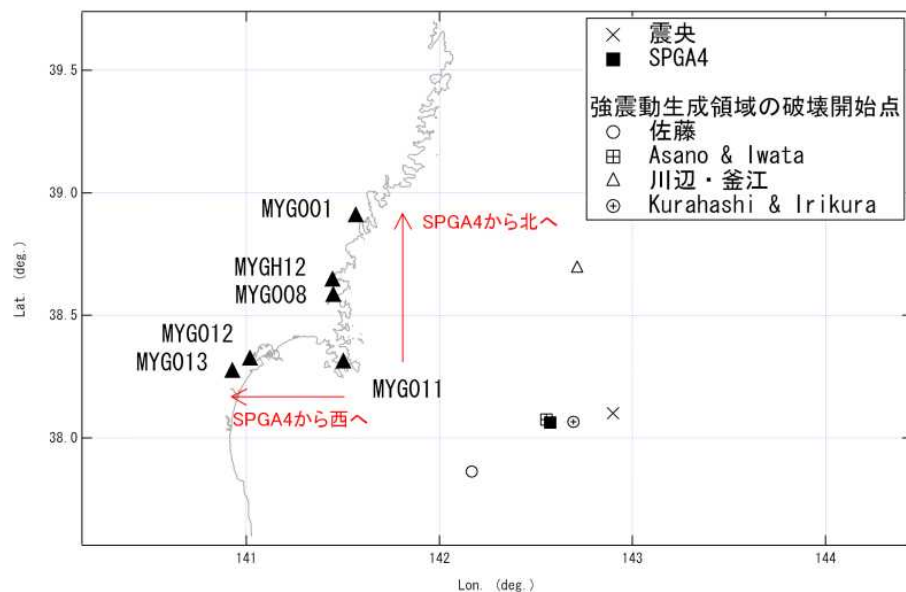


図7



甲D194野津意見書



Period: 1-5 s

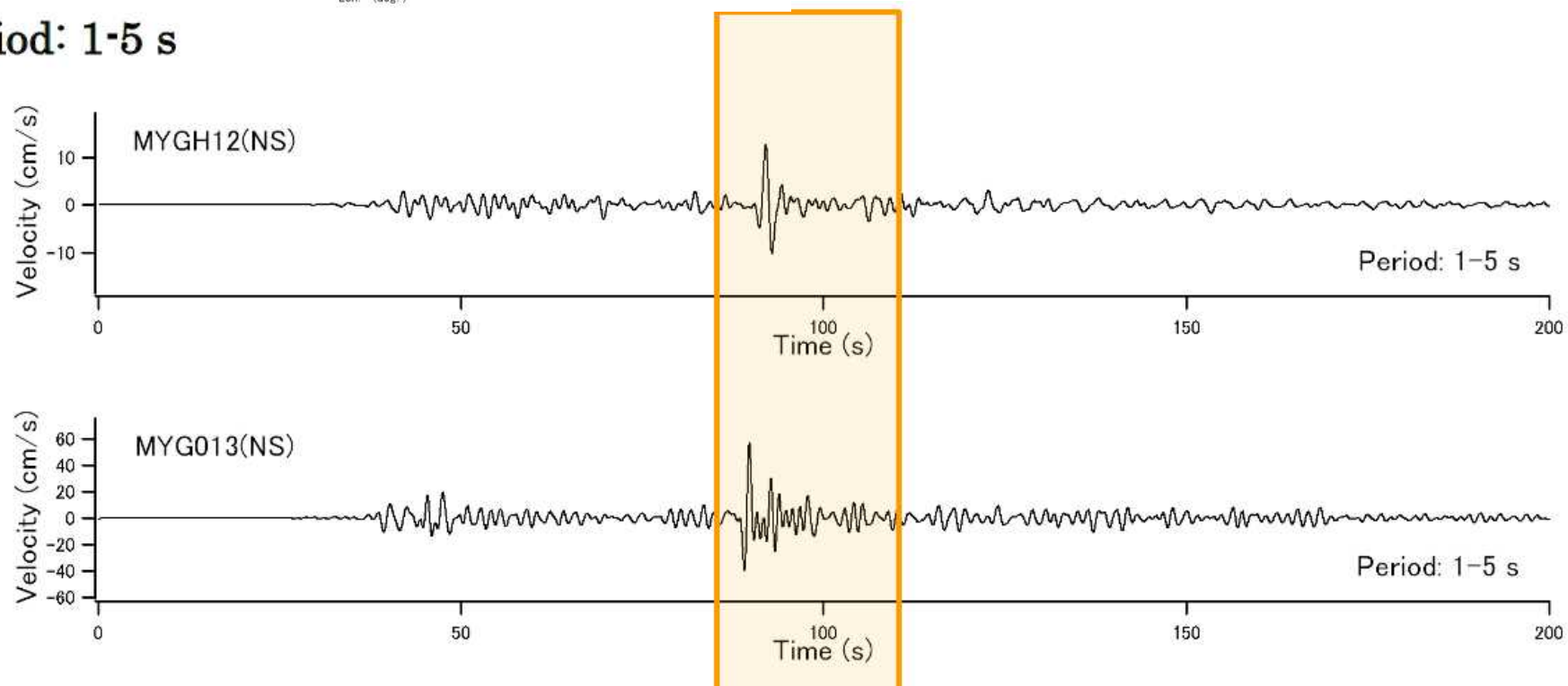


図1 東北地方太平洋沖地震の際に観測された強震動パルスの例

甲D194野津意見書

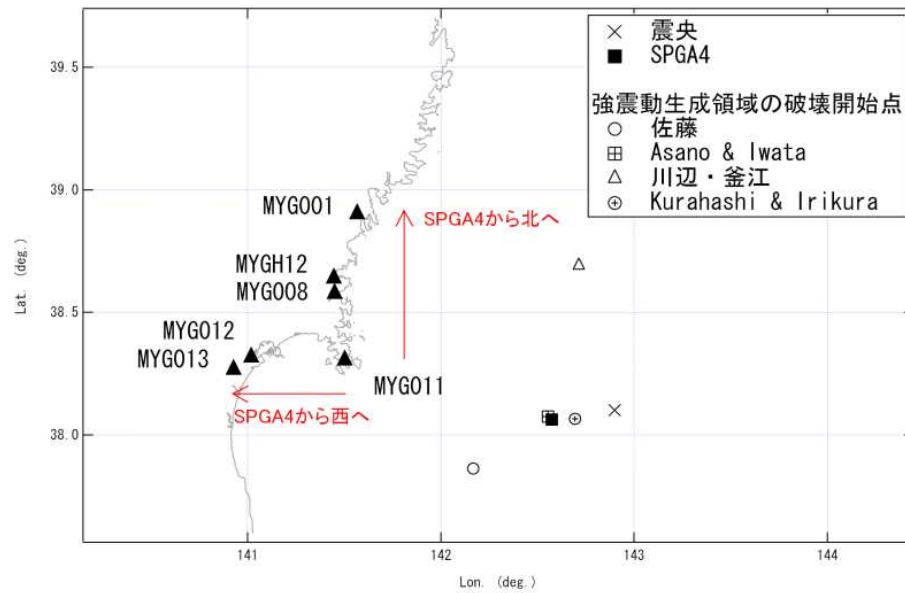


図3上

図3中

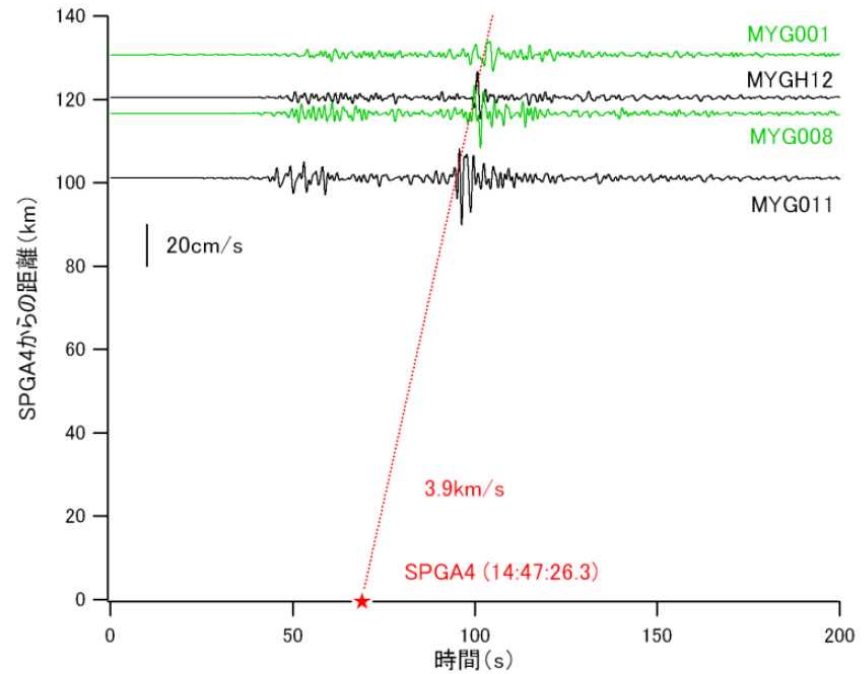
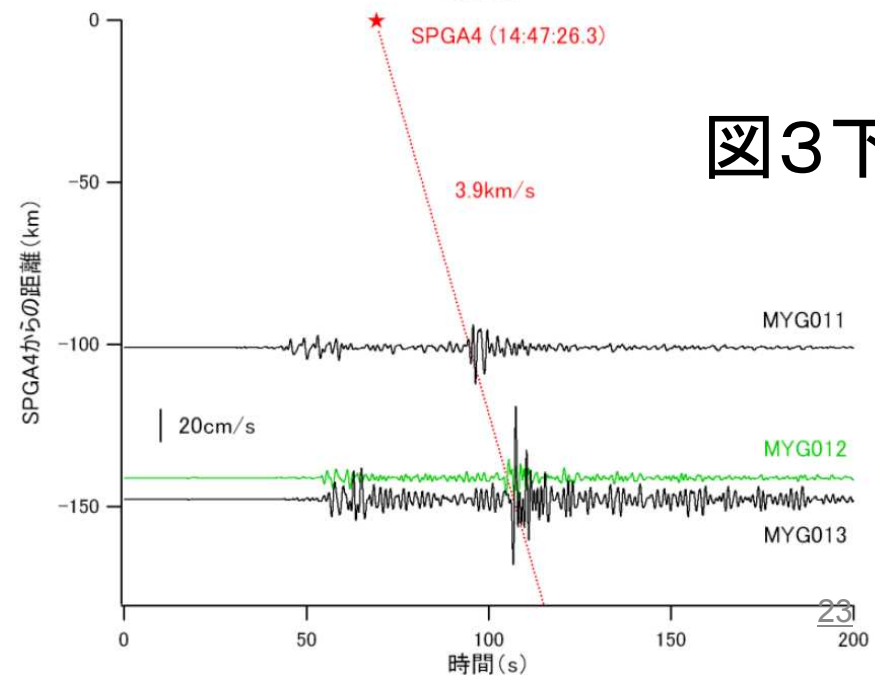


図3下



甲D194野津意見書

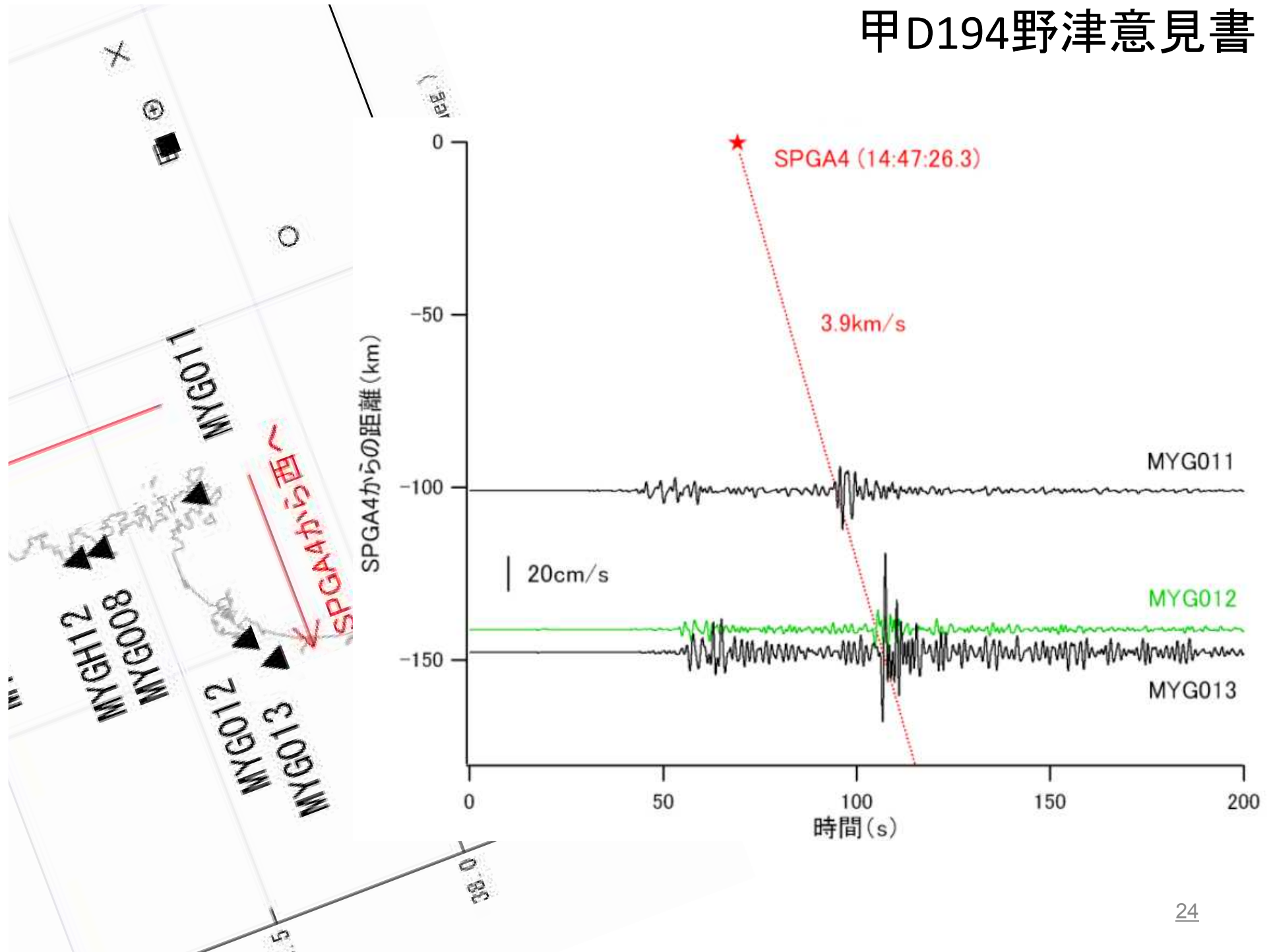


図3中

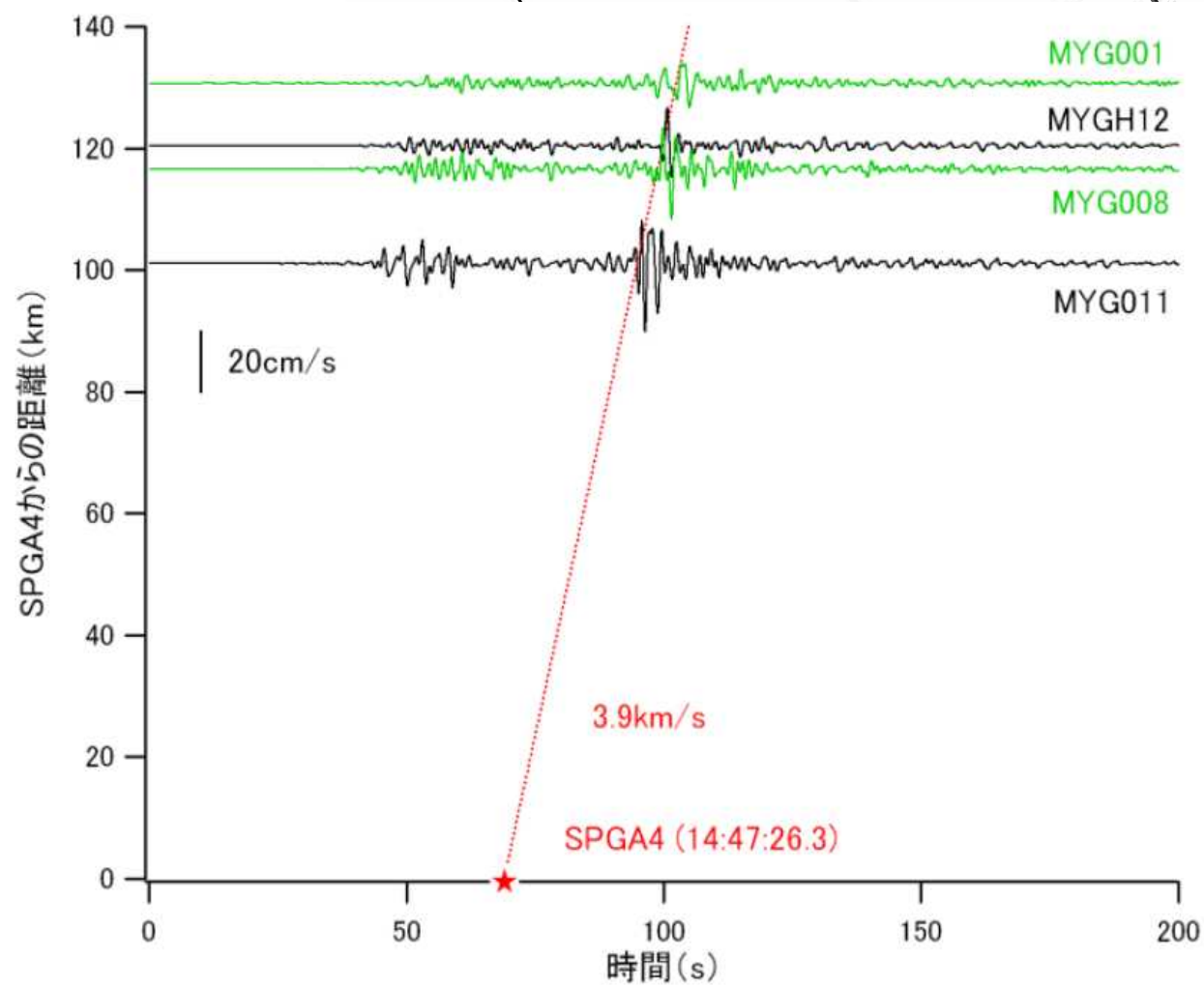


図3上



甲D194野津意見書

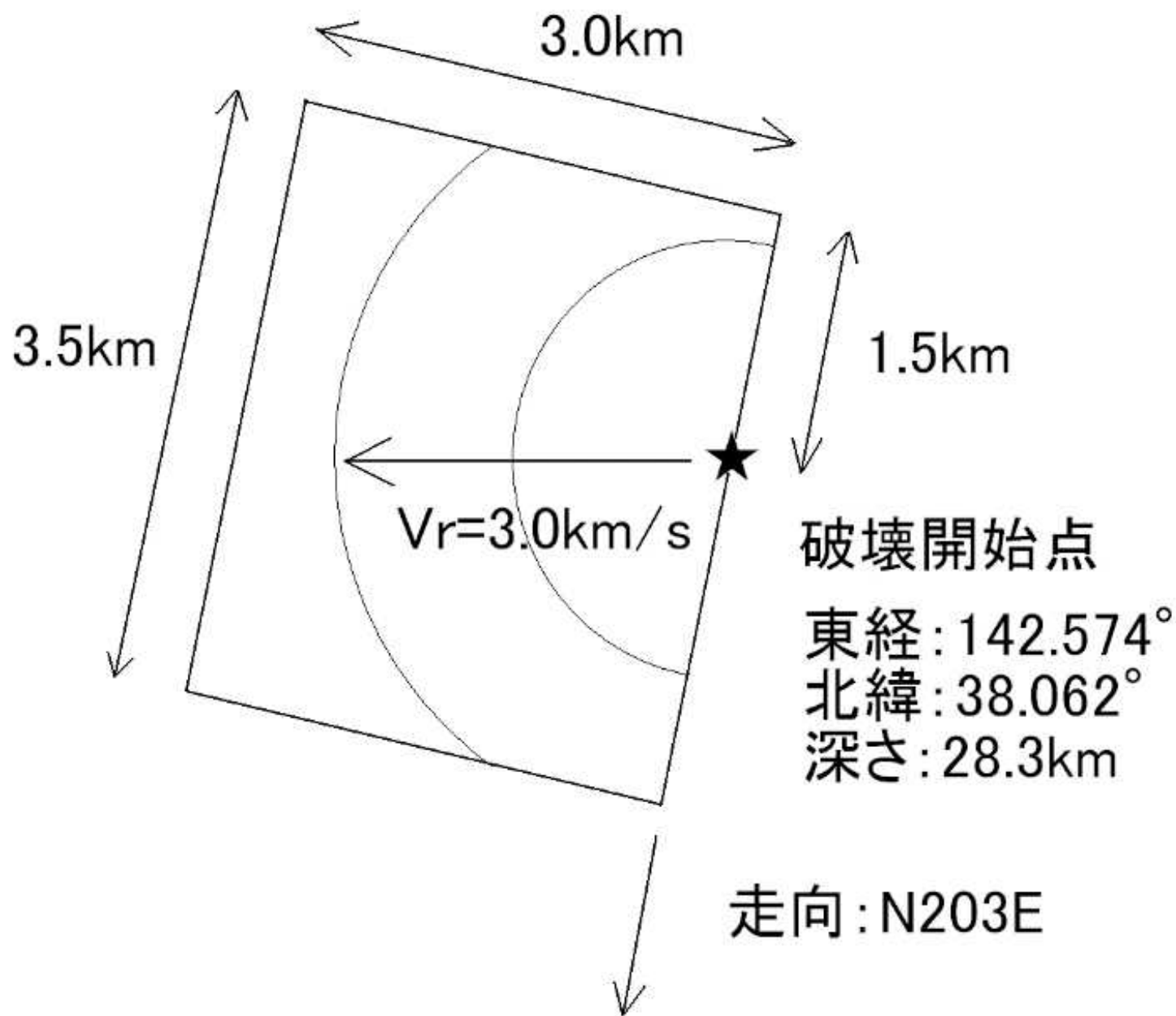


図4

甲D194野津意見書

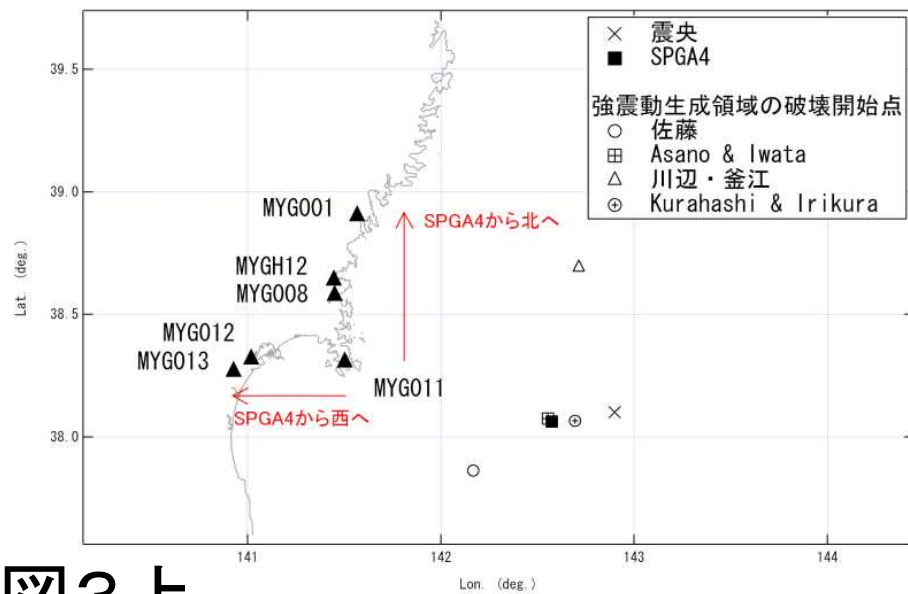


図3上

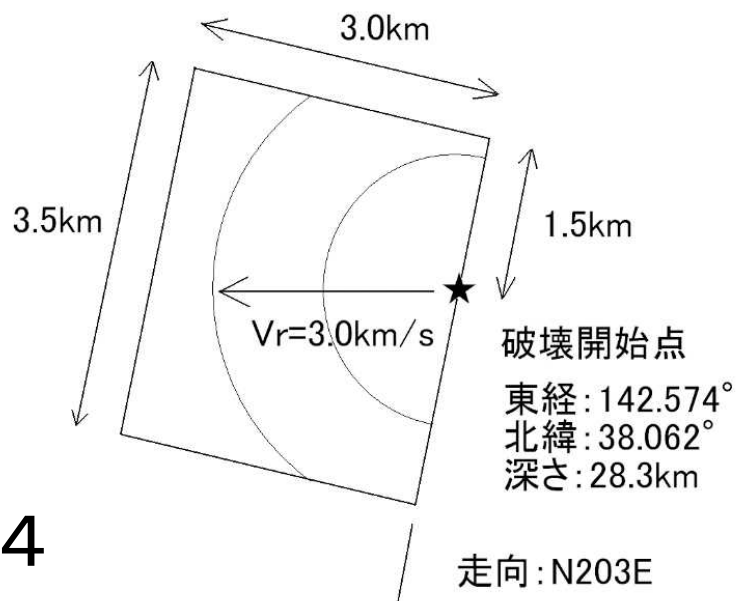


図4

図3中

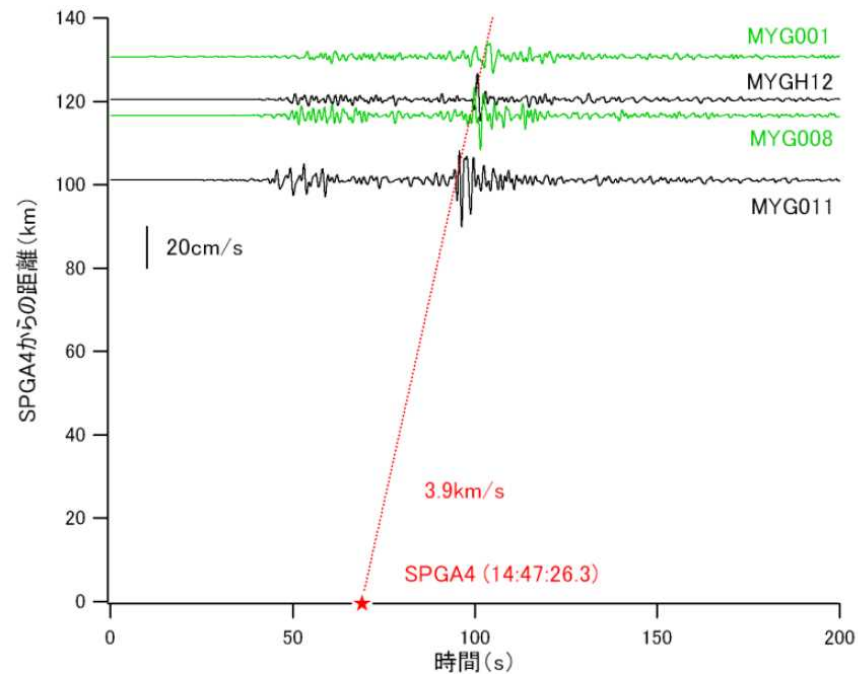


図3下

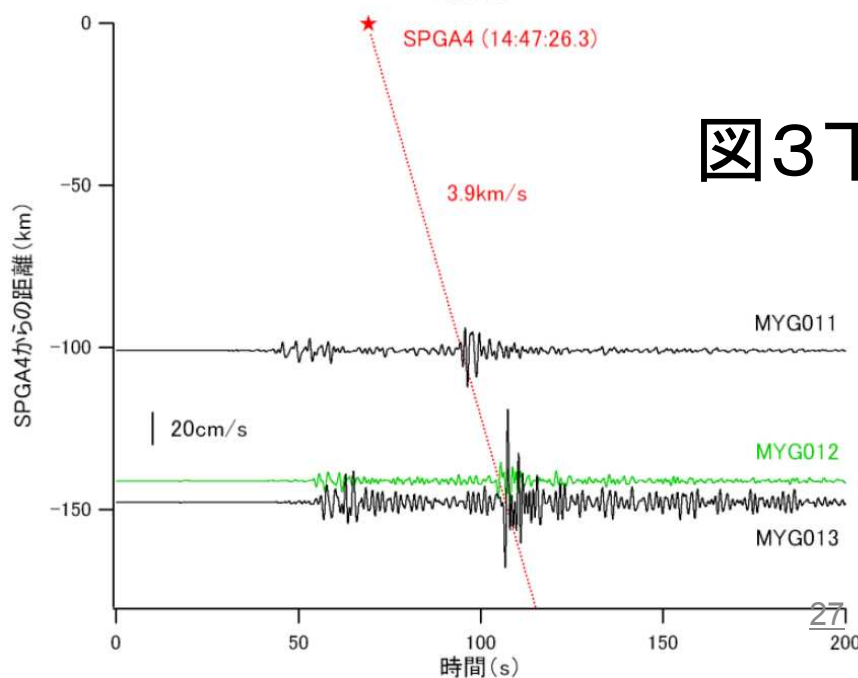
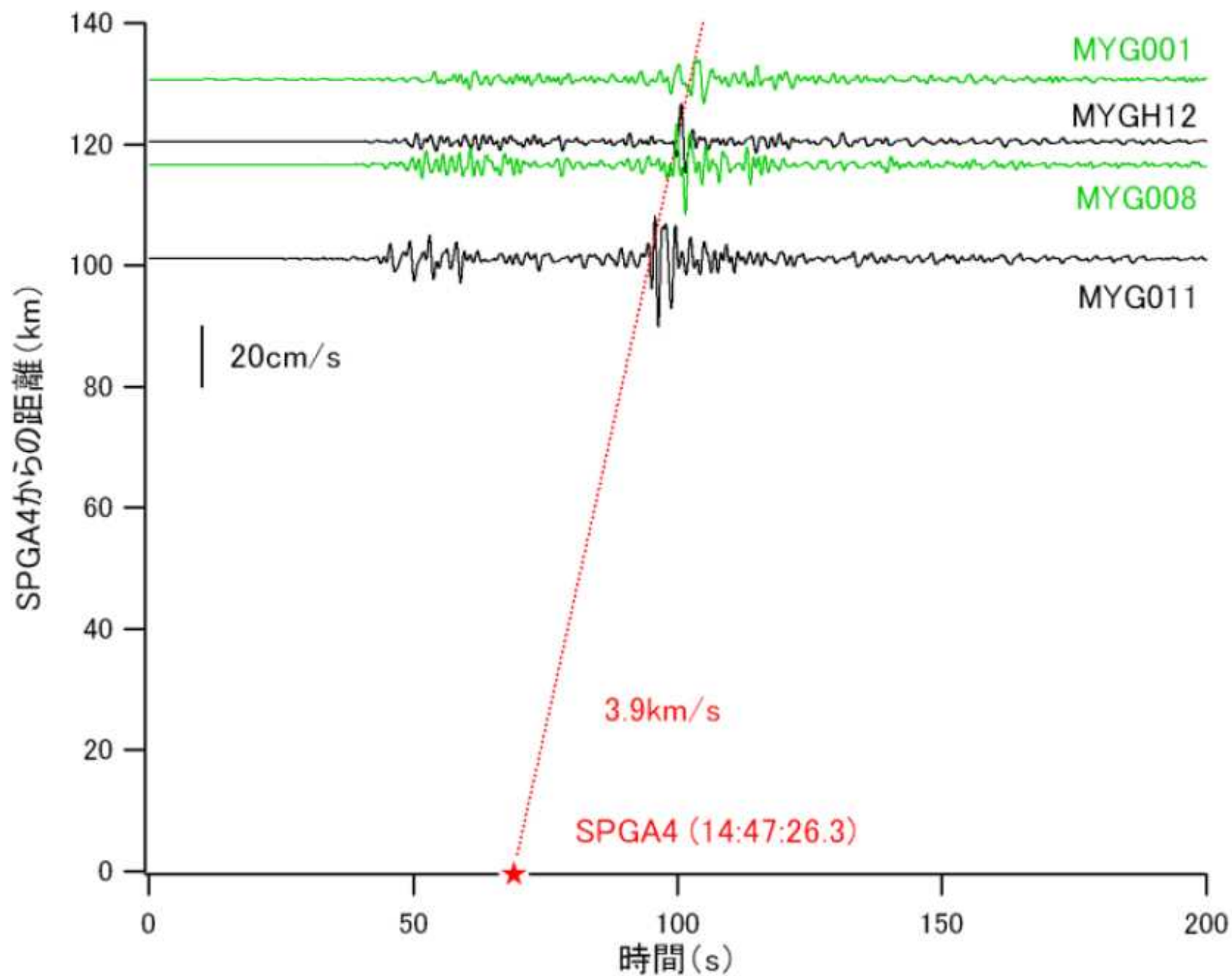
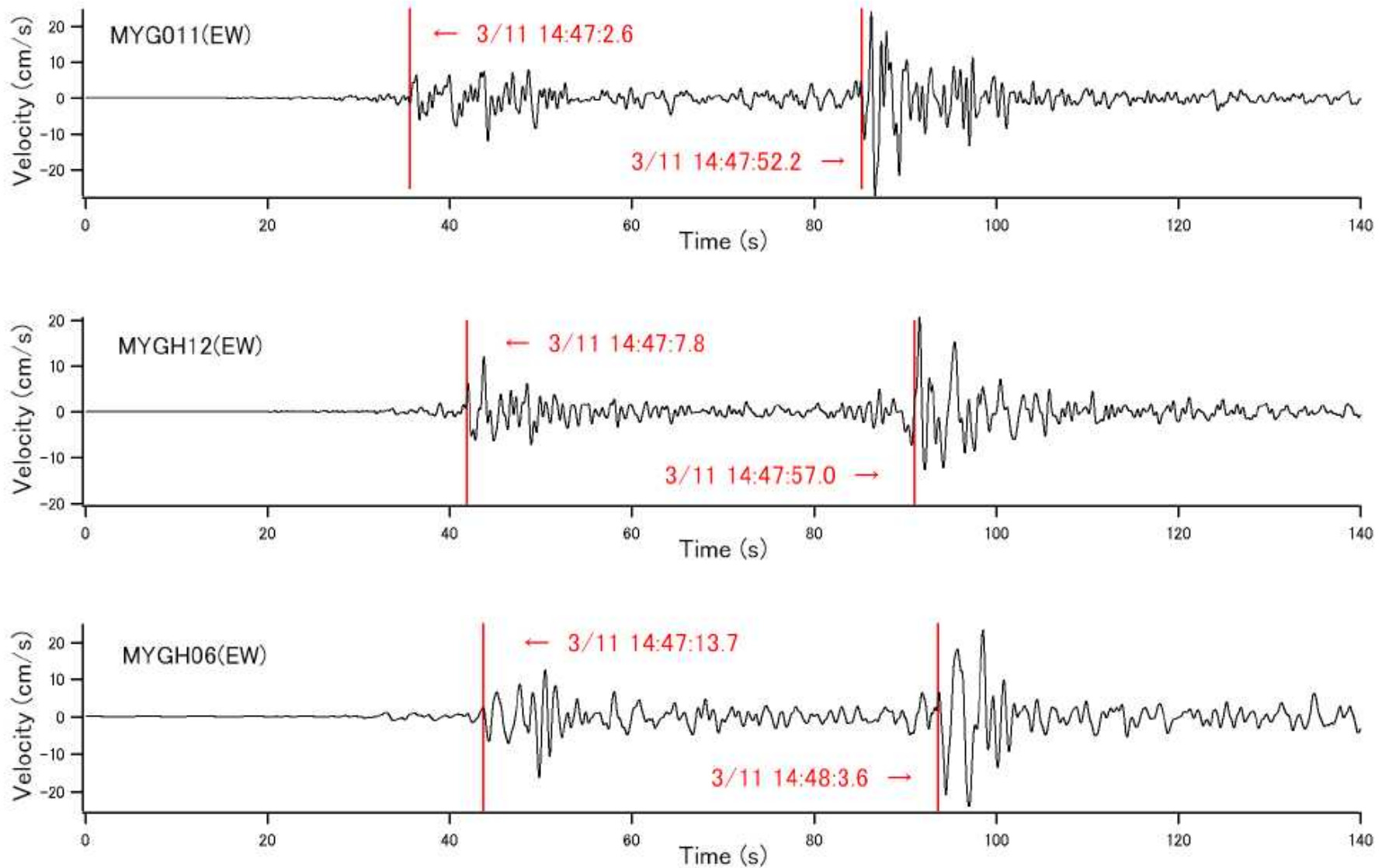


図3中



甲D78の図2



12 MYG011、MYGH12、MYGH06で観測された本震の速度波形（EW成分、KiK-netに地中）

甲D78の図3

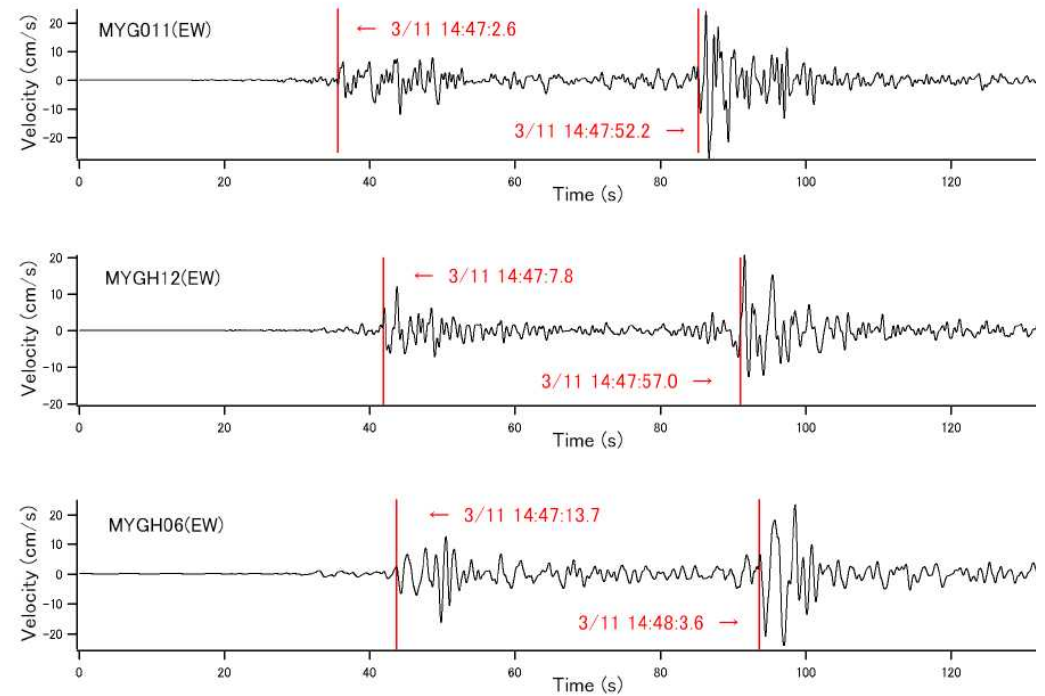
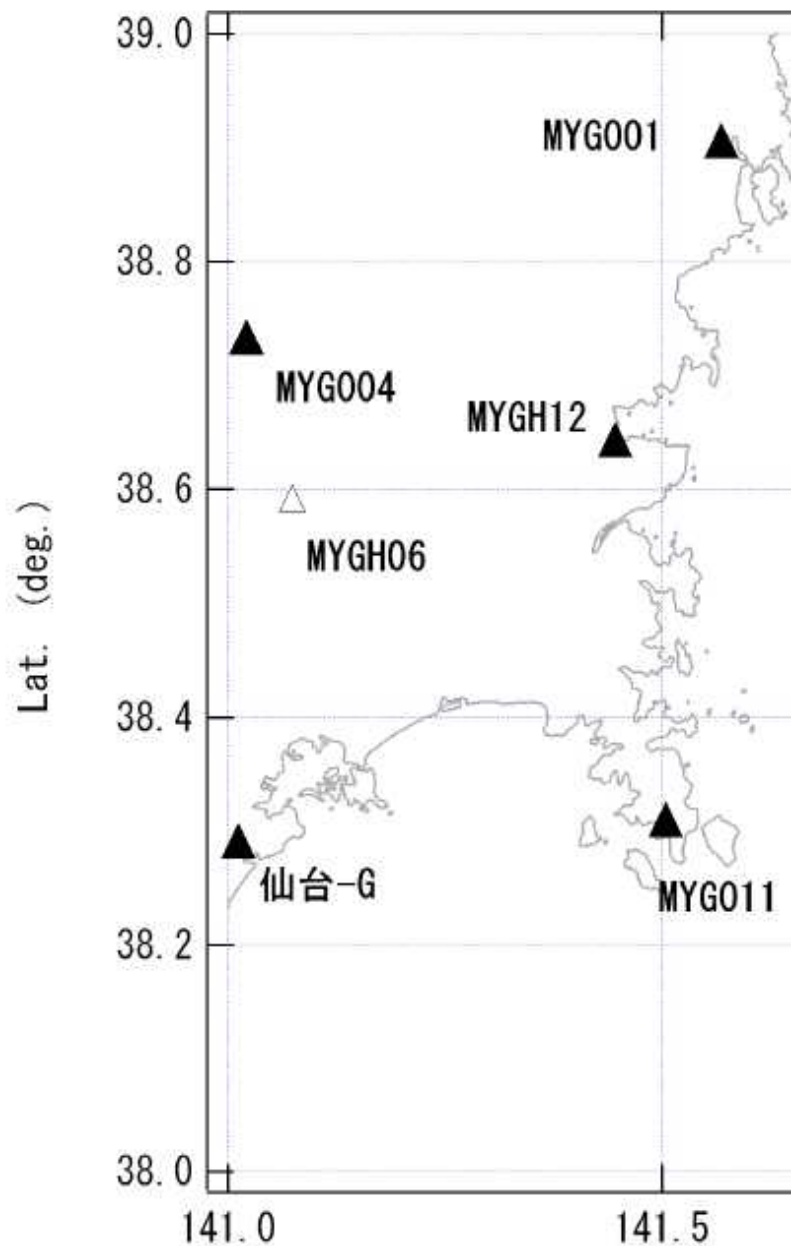
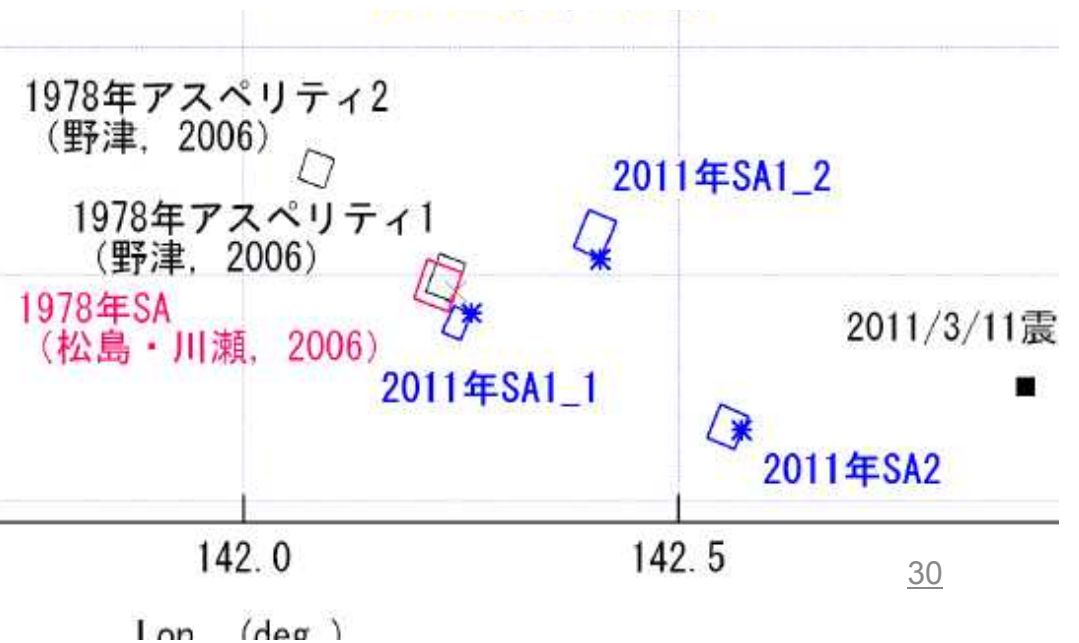


図2 MYG011、MYGH12、MYGH06で観測された本震の速度波形 (EW成分、KiK-i)



甲D78の図3

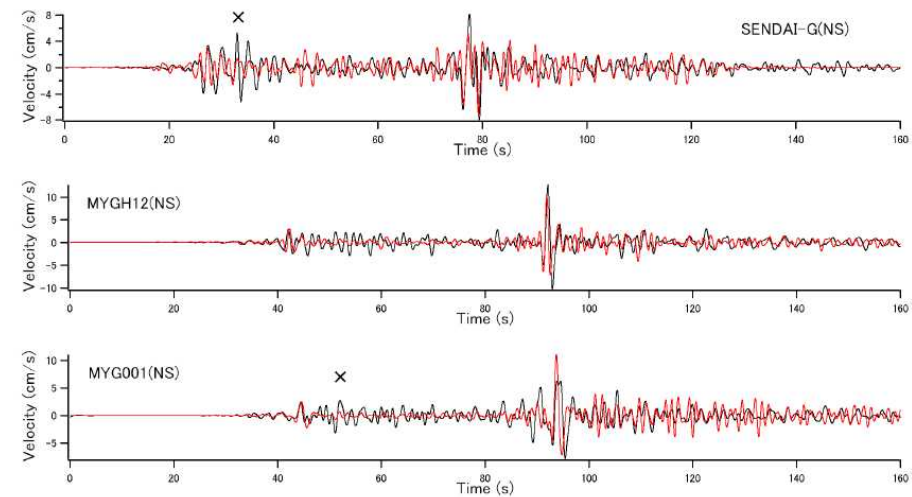
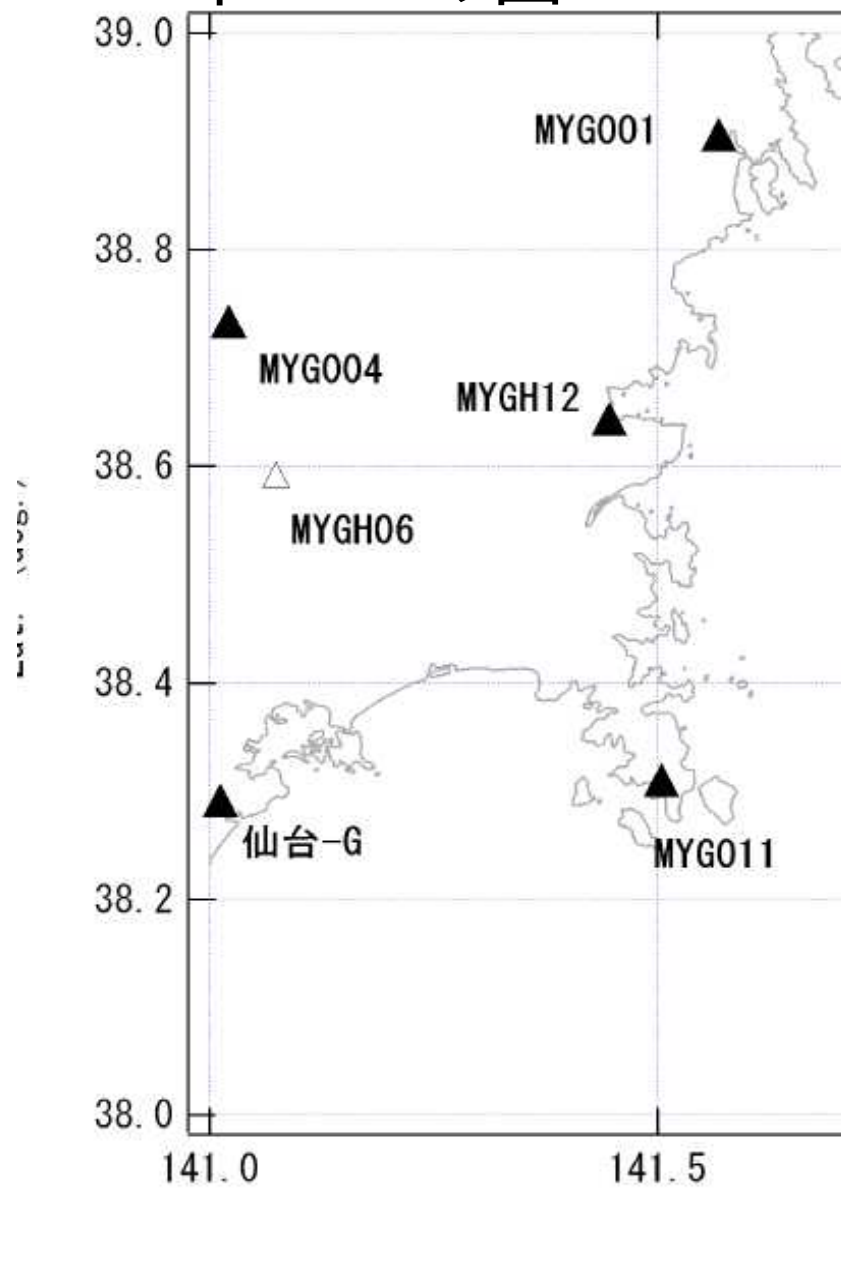


図4 SA1_1とSA2の寄与のみを考慮して計算される速度波形（赤）と観測波（黒）の比較（0.2-1Hz）
（×の箇所はSA1_1とSA2の寄与だけでは説明できない）

甲D78の図4

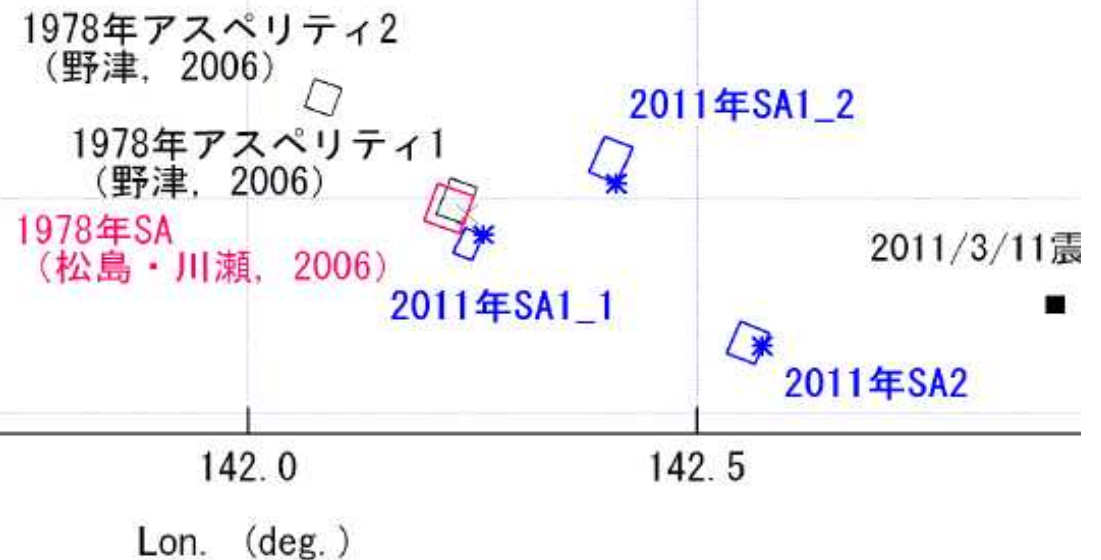


図3 宮城県沖の4つのスーパーアスペリティの詳細位置

甲D78の図1

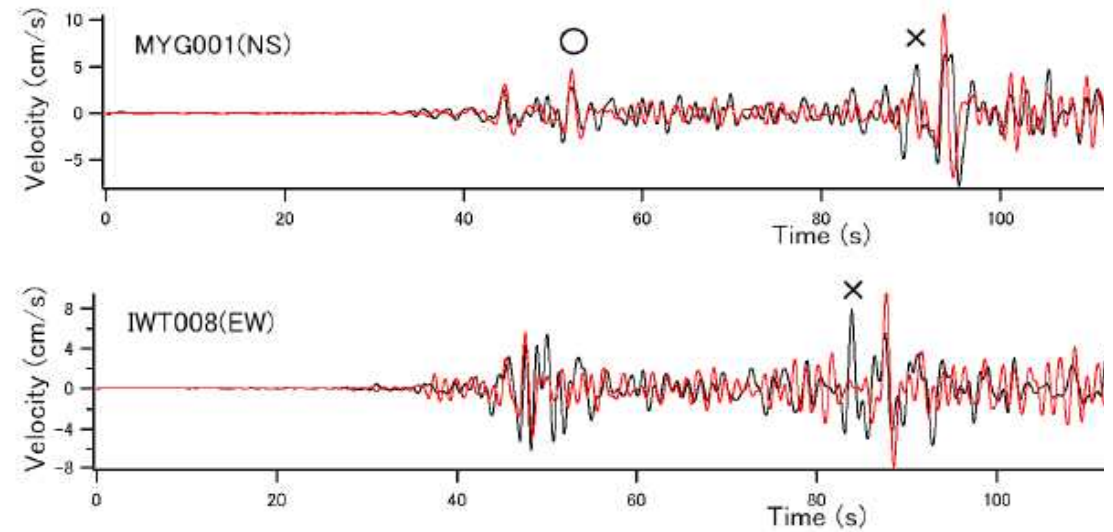
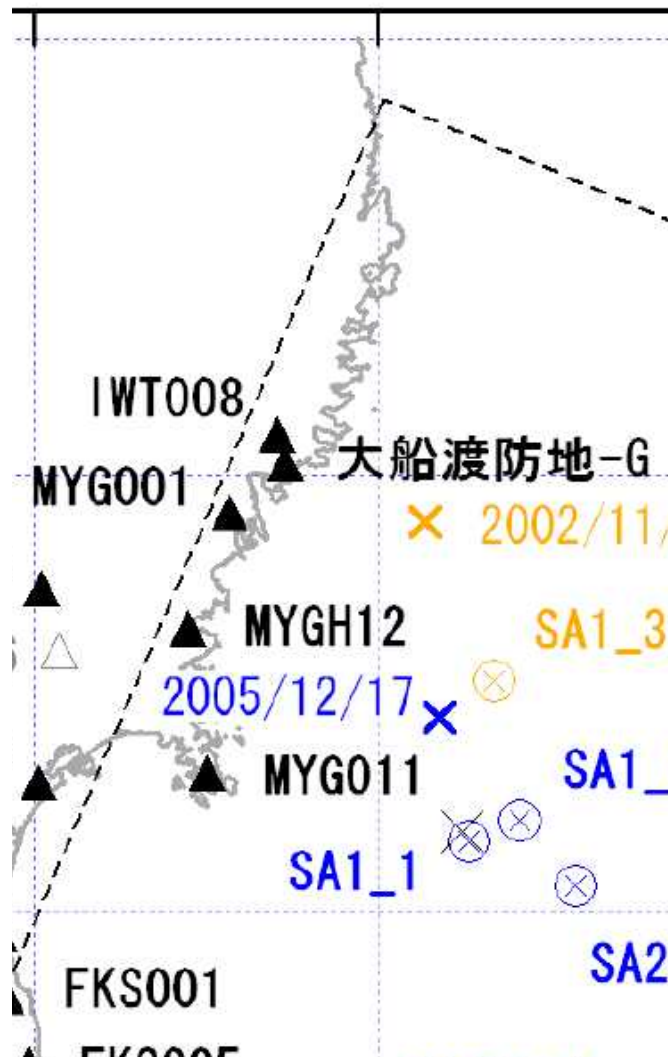


図5 SA1_1、SA1_2、SA2の三者を考慮して計算される速度波形（赤）
（×の箇所はこれら三者の寄与だけでは説明

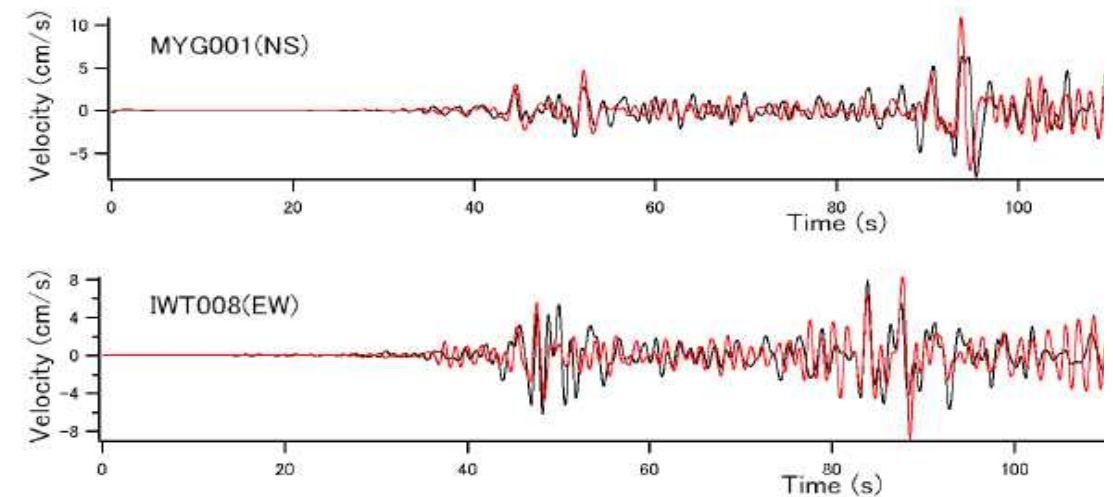


図6 宮城県沖の4つのスーパーアスペリティを考慮して計算₂される
と観測波（黒）の比較（0.2-1Hz）

甲D78の図1

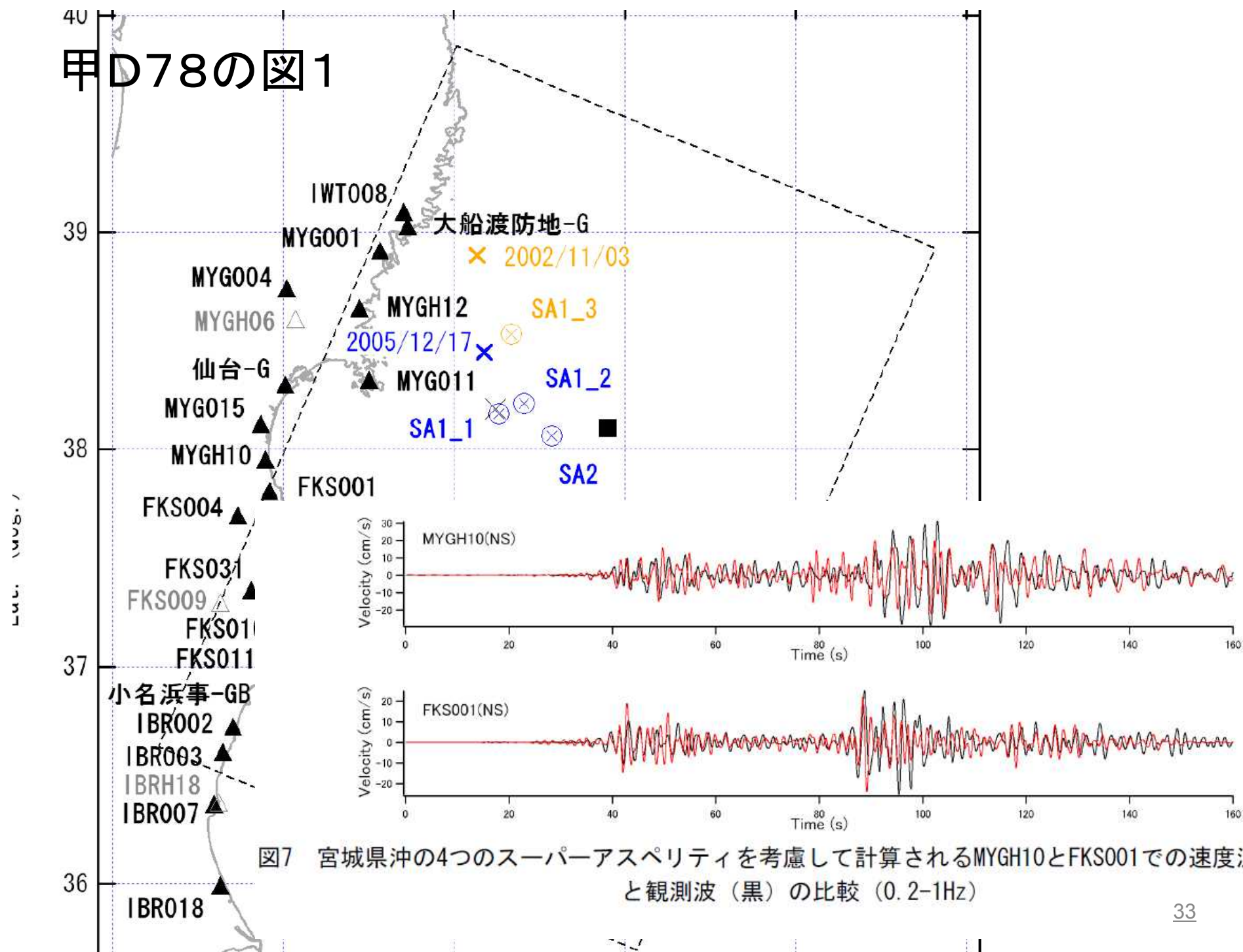


図7 宮城県沖の4つのスーパーアスペリティを考慮して計算されるMYGH10とFKS001での速度波形と観測波（黒）の比較（0.2-1Hz）

甲D78の図1

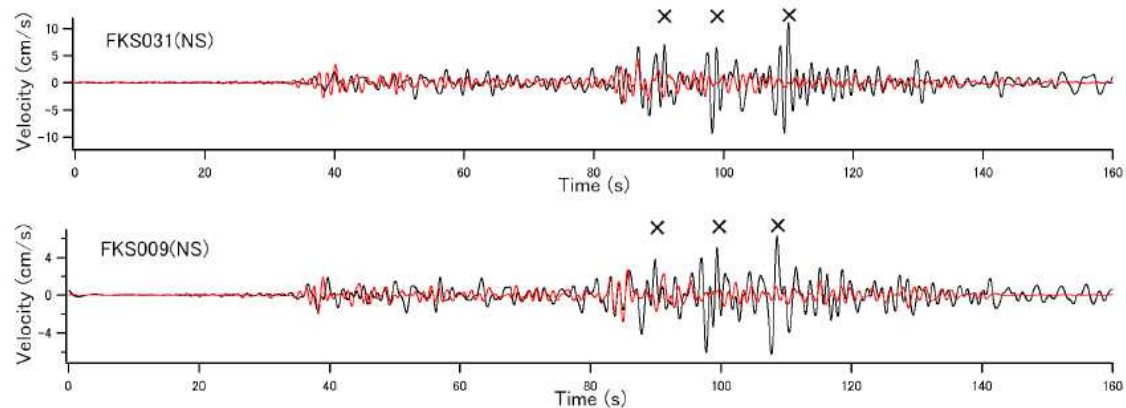
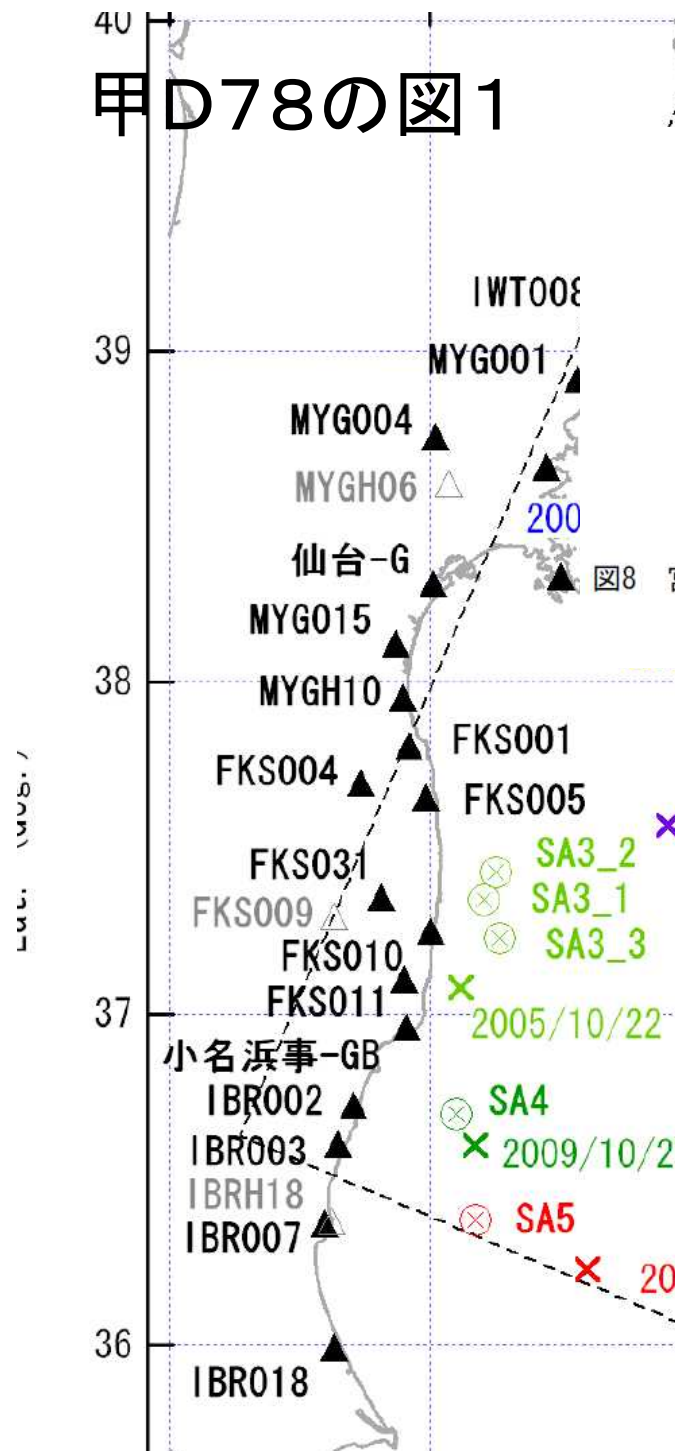


図8 宮城県沖の4つのスーパーアスペリティを考慮して計算されるFKS031とFKS009での速度波形（赤と観測波（黒）の比較（0.2-1Hz）

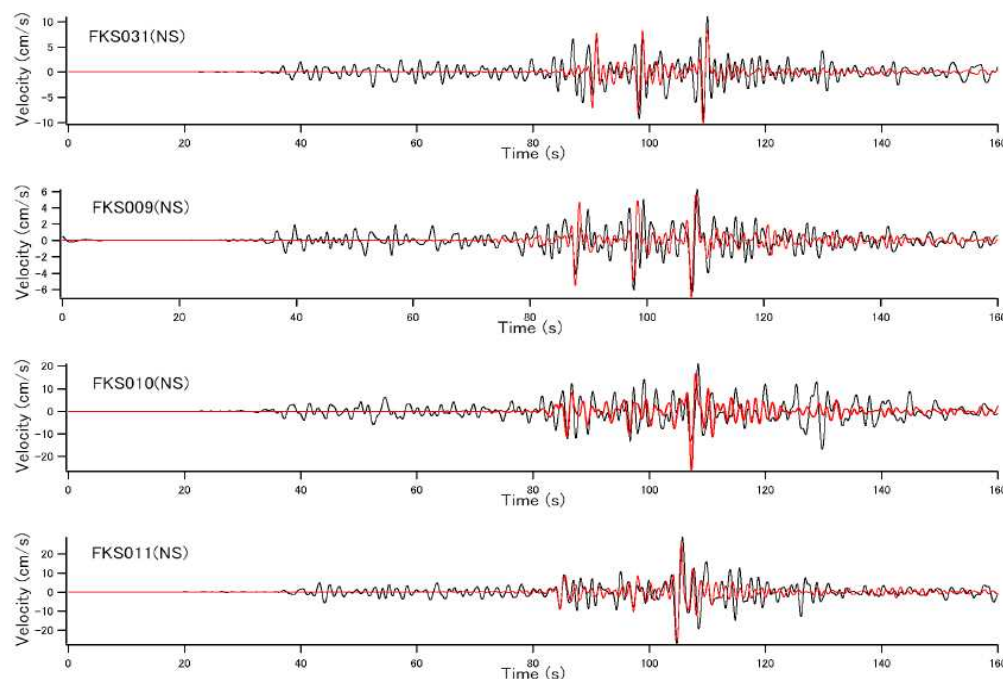


図10 福島県沖の3つのスーパーアスペリティを考慮して計算される各地の速度波形（赤）と観測波（黒）の比較（0.2-1Hz）

甲D78の図1

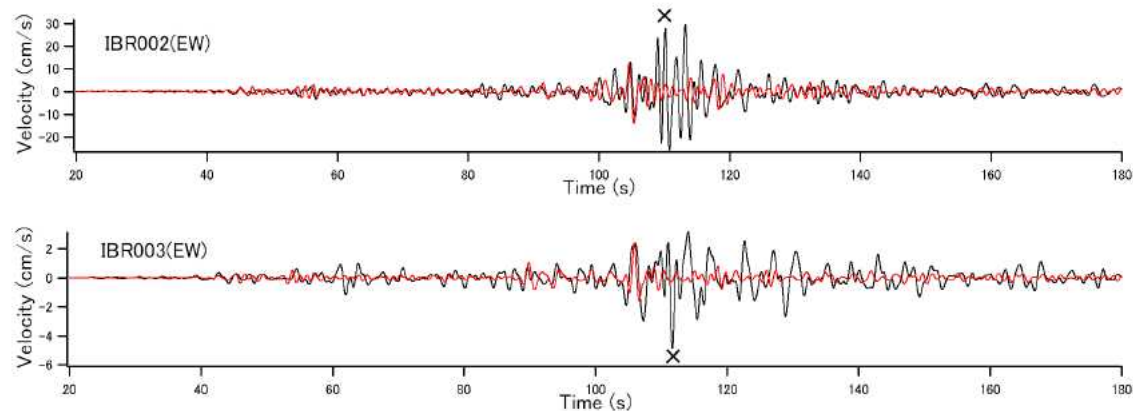
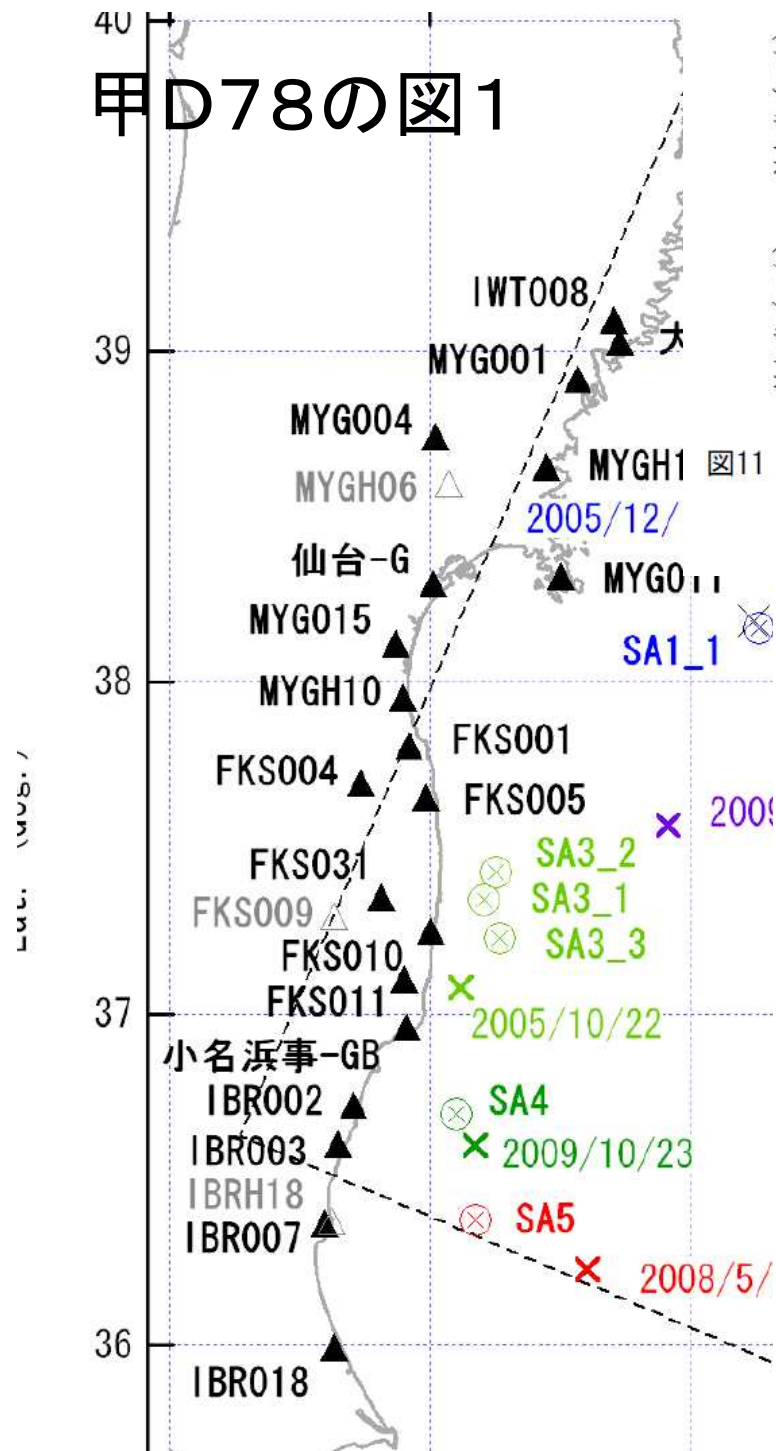


図11 宮城県沖～福島県沖のスーパーアスぺリティを考慮して計算されるIBR002とIBR003で速度波形（赤）と観測波（黒）の比較（0.2-1Hz）

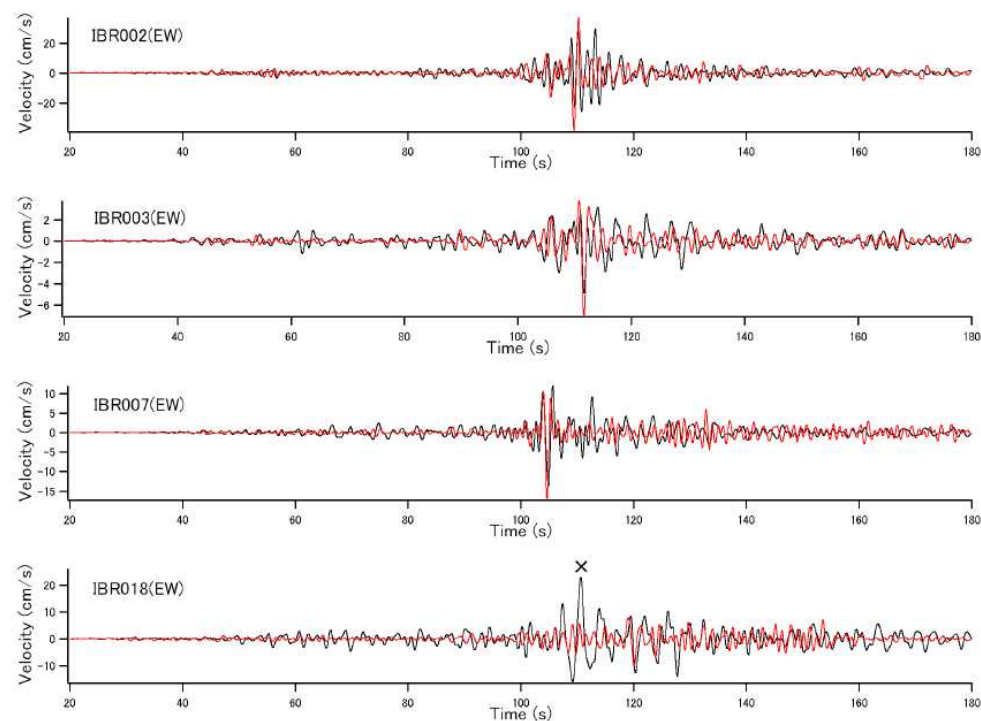
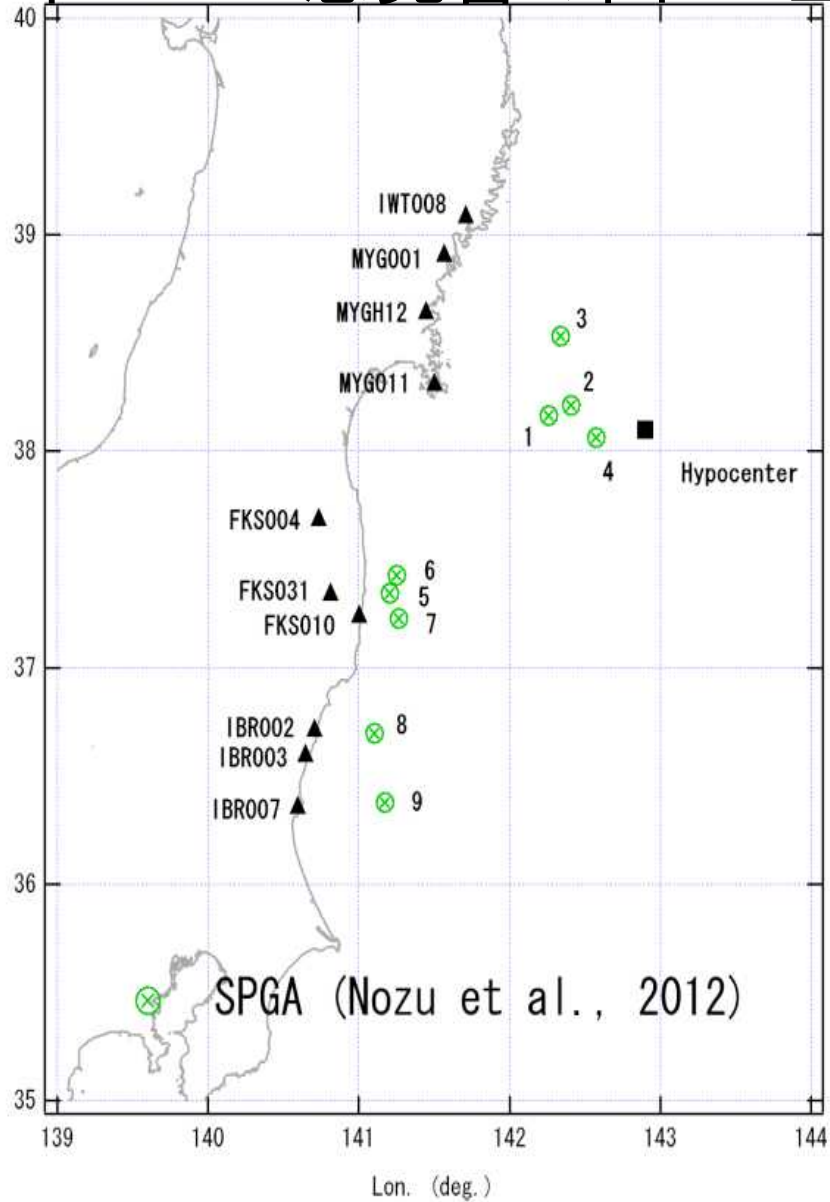
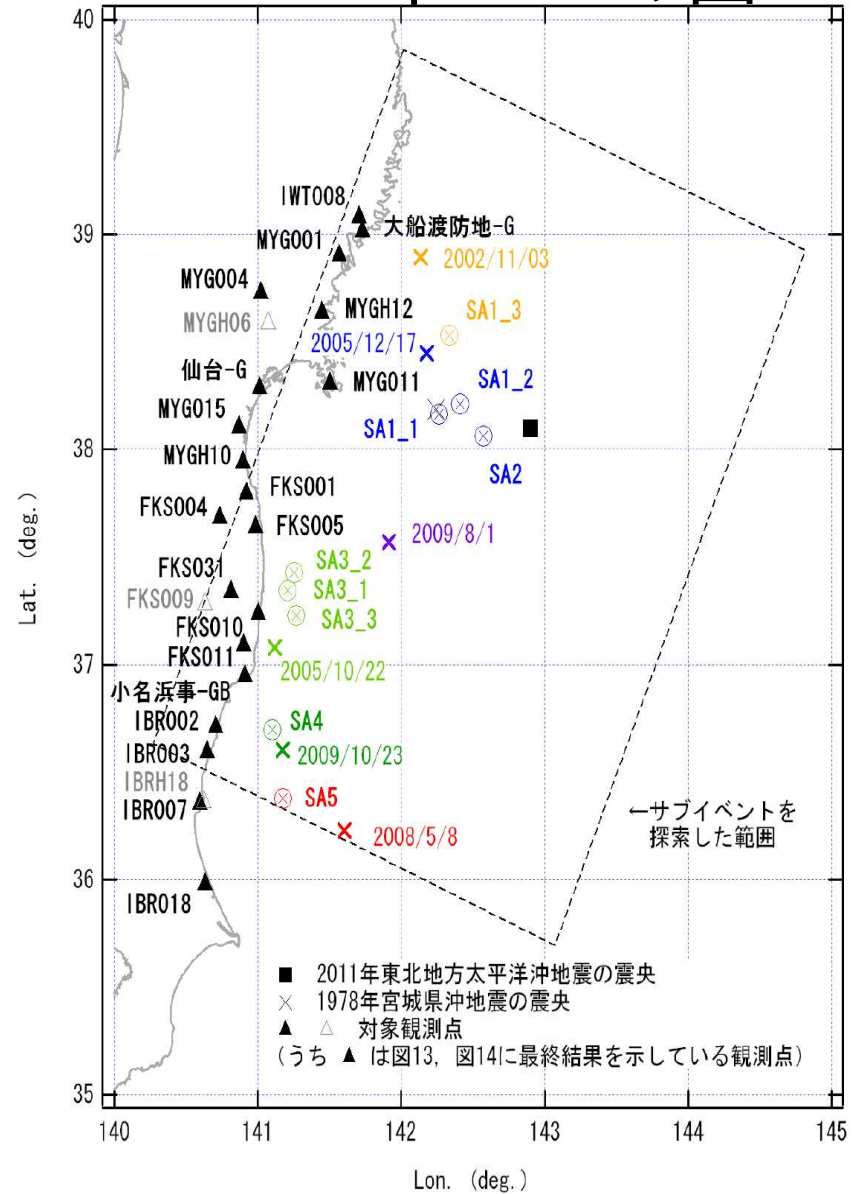


図12 宮城県沖～福島県沖のスーパーアスぺリティに加え、SA4の寄与を考慮して計算される各地の速度波形（赤）と観測波（黒）の比較（0.2-1Hz）

甲D194意見書の図12左



甲D78の図1

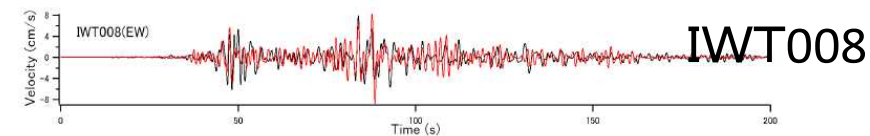
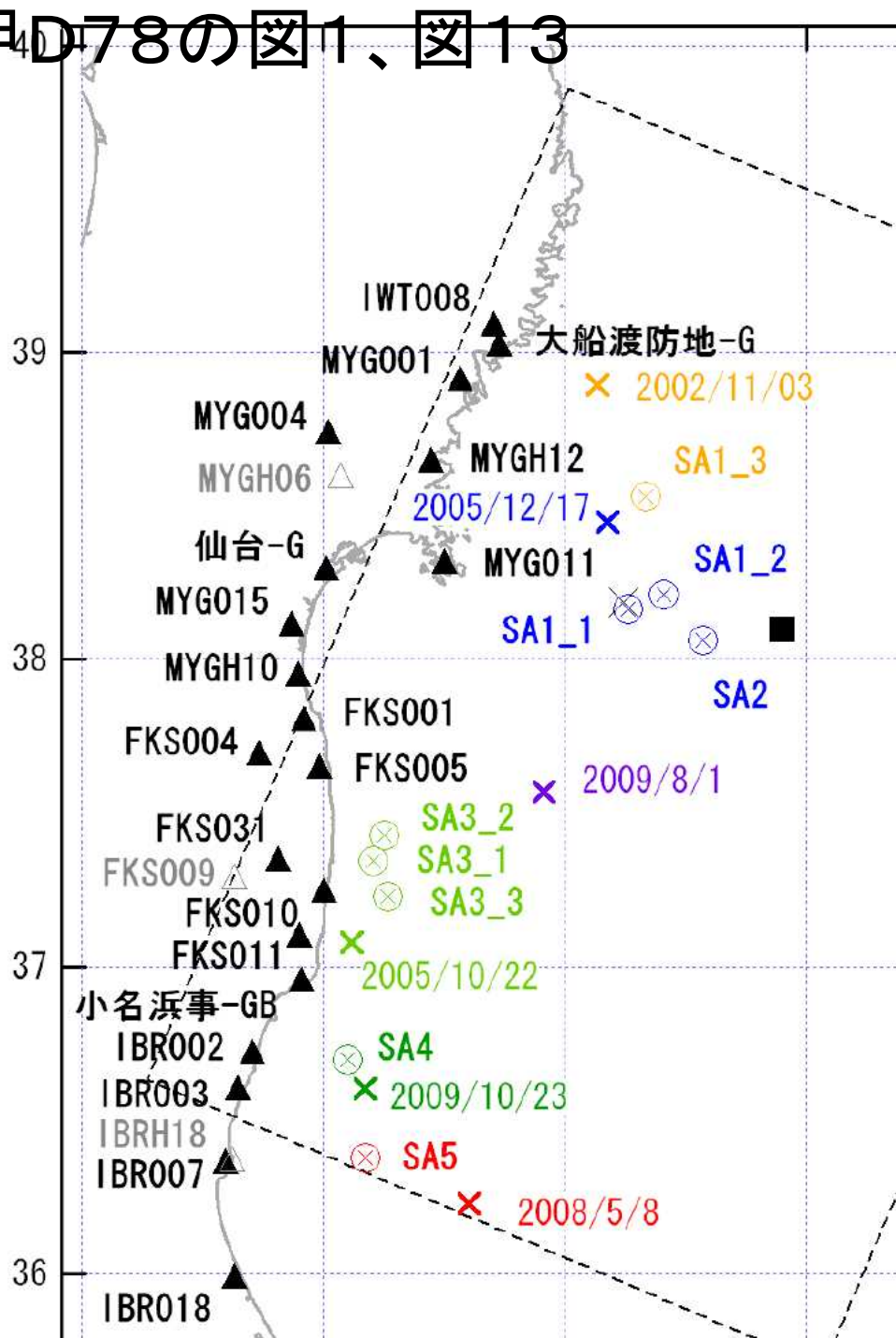


見書

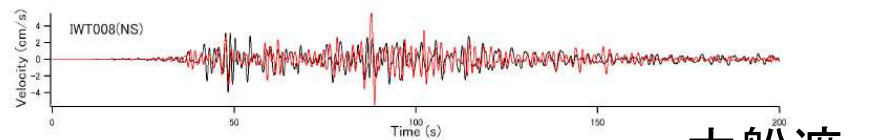
図1 解析対象観測点、スーパーアスペリティの位置、および解析に用いた主な中小地震の震央

図12 2011年東北地方太平洋沖地震を対象

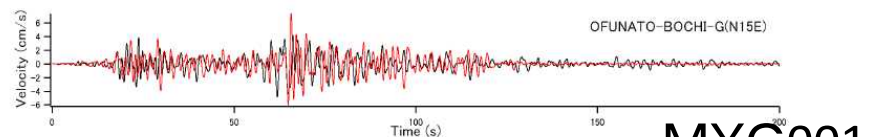
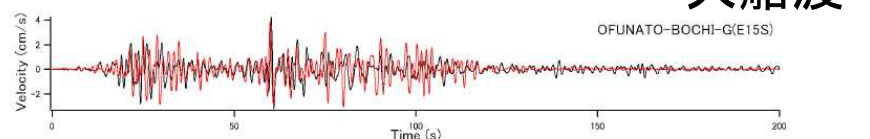
甲D78の図1、図13



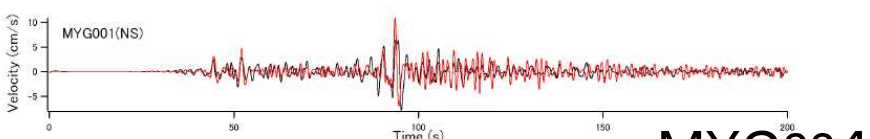
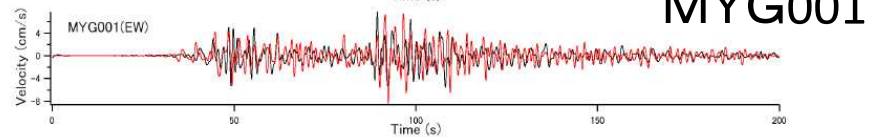
IWT008



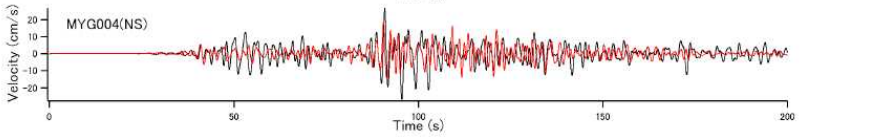
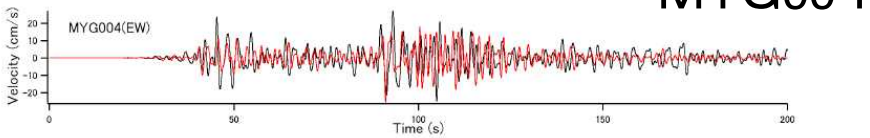
大船渡



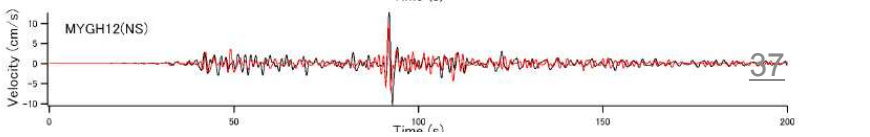
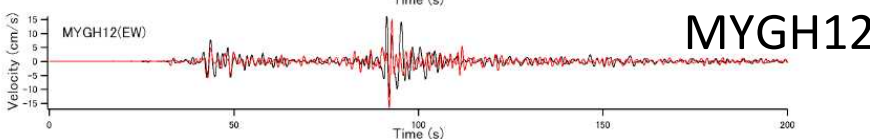
MYG001



MYG004

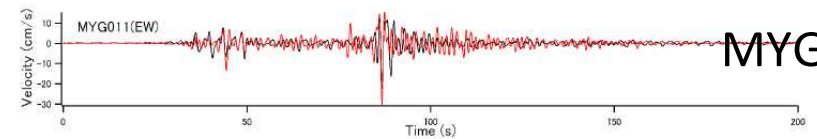
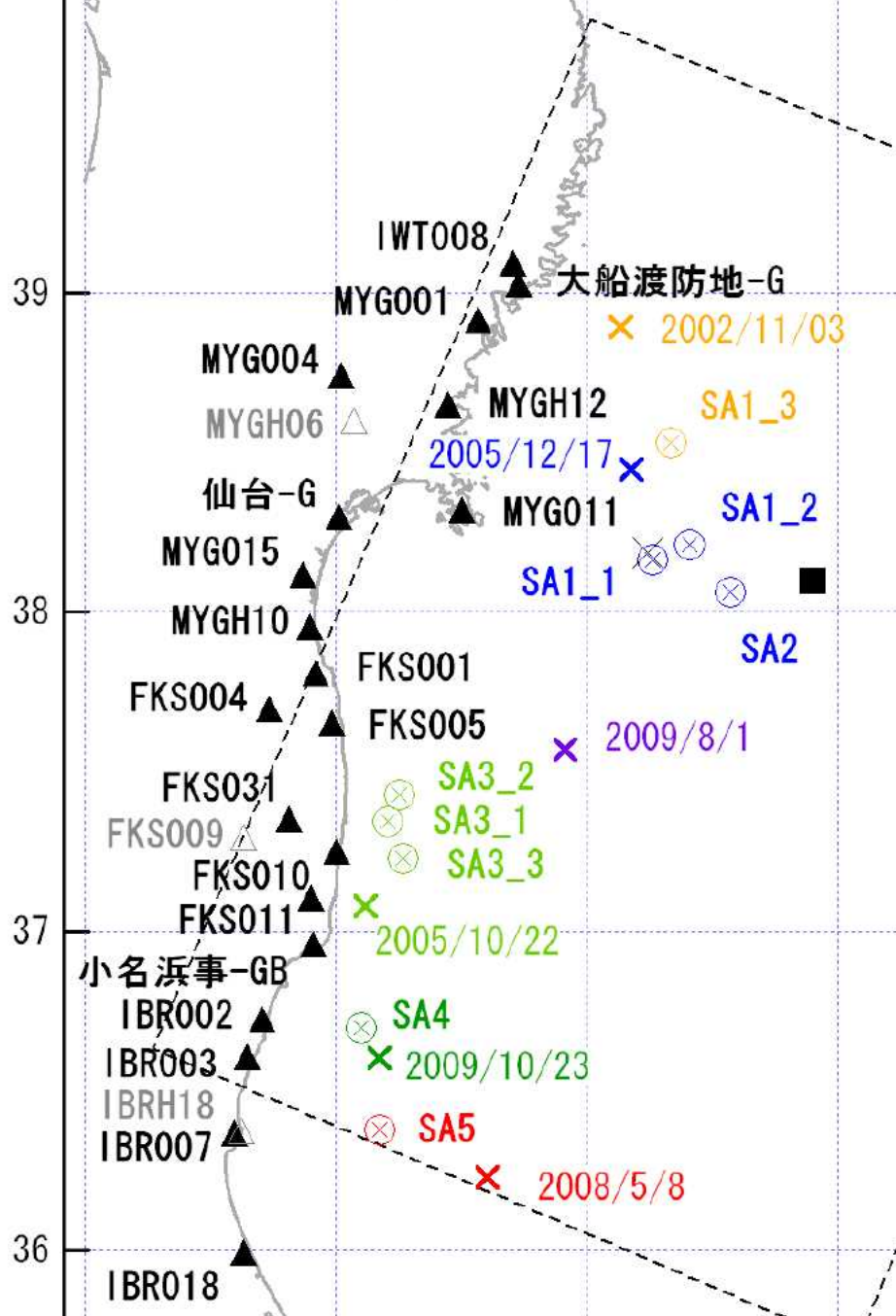


MYGH12

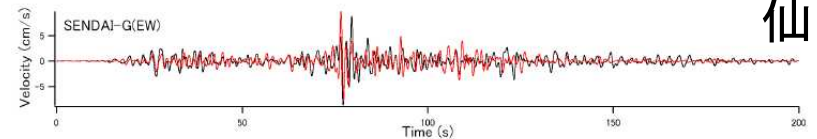
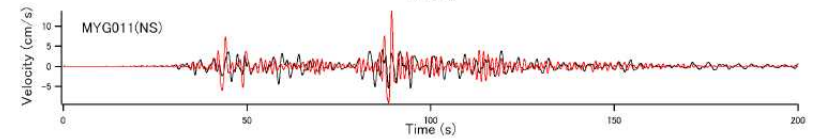


37

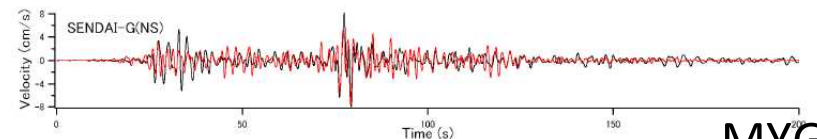
甲D78の図1、図13



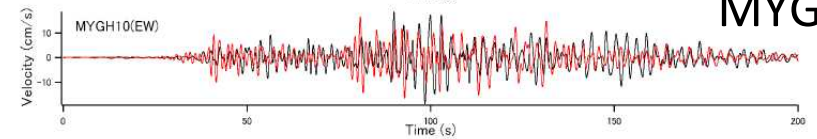
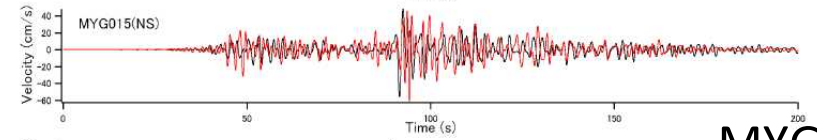
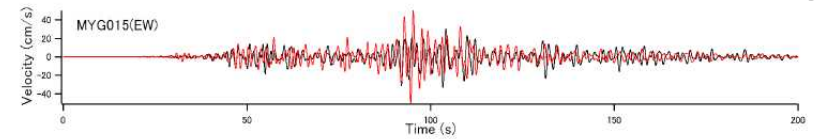
MYG011



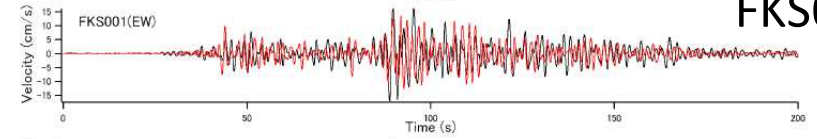
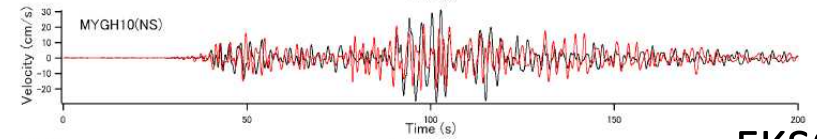
仙台



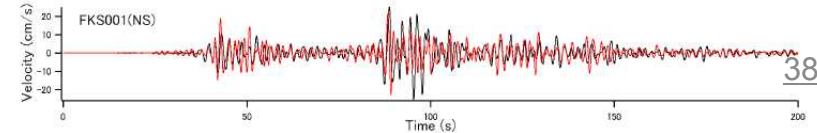
MYG015



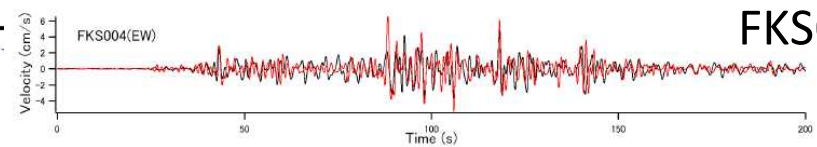
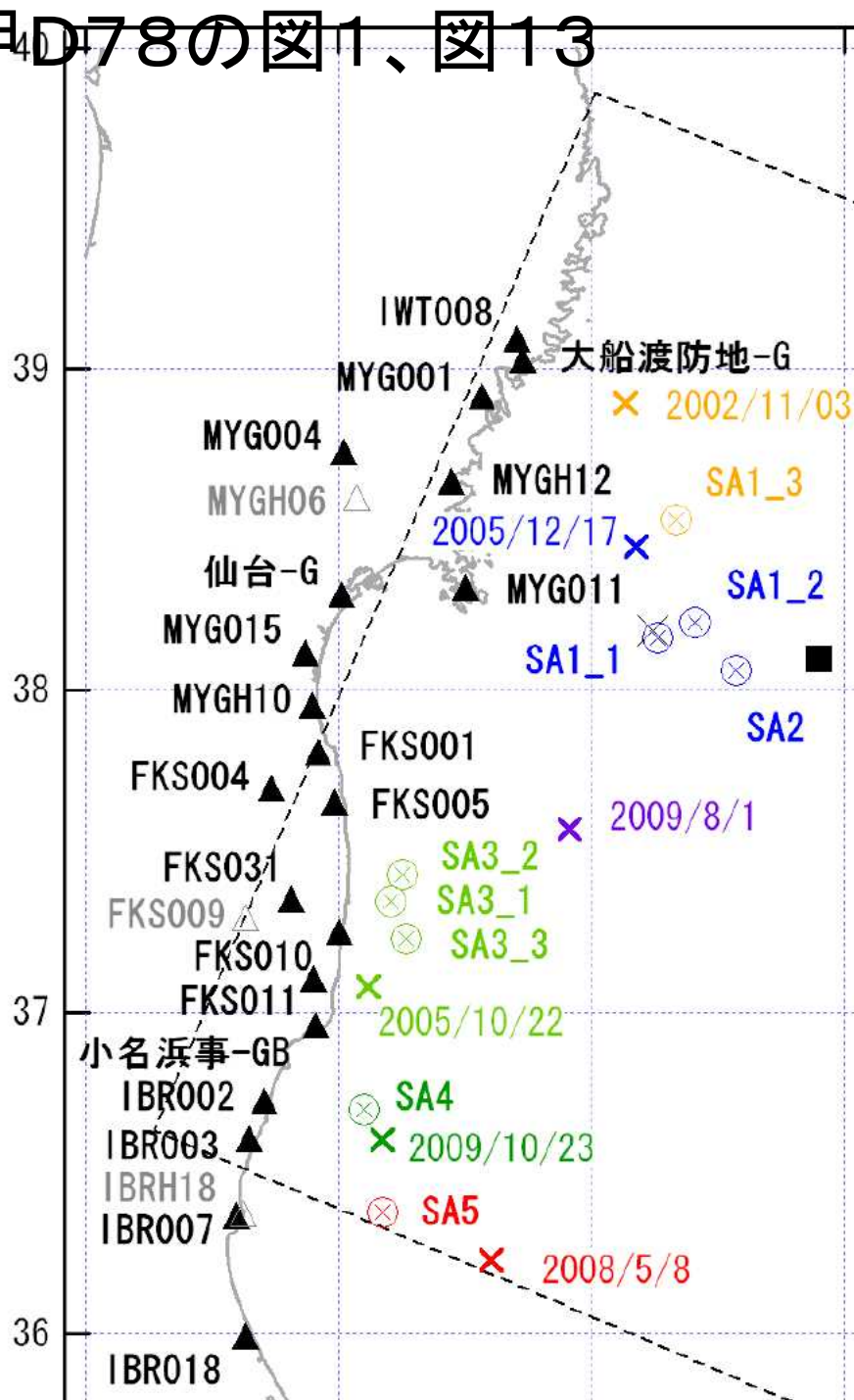
MYGH10



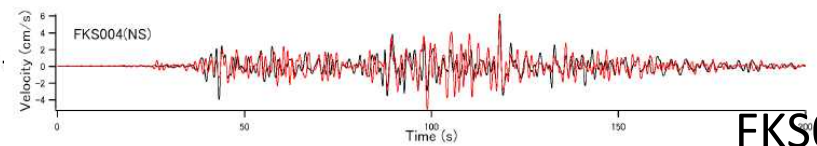
FKS001



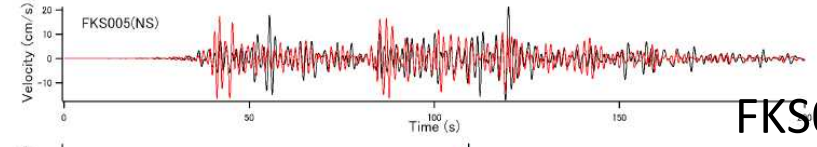
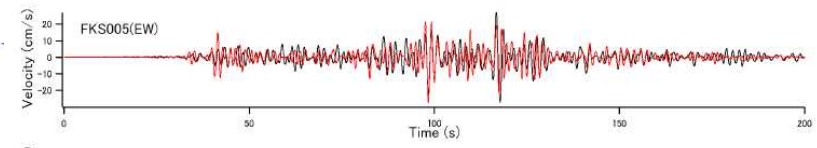
甲D78の図1、図13



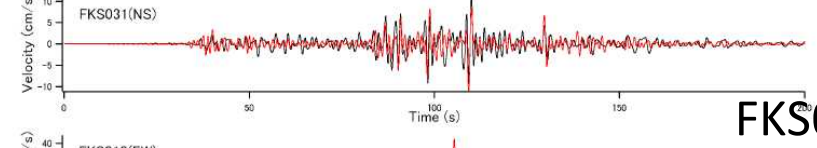
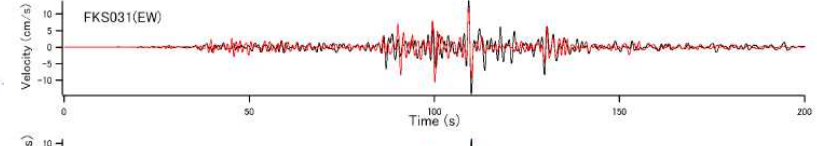
FKS004



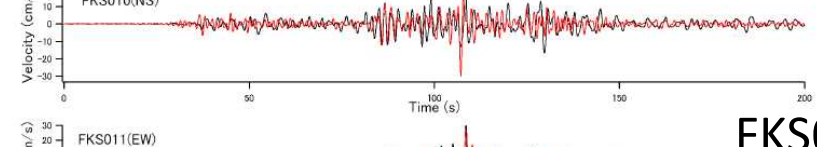
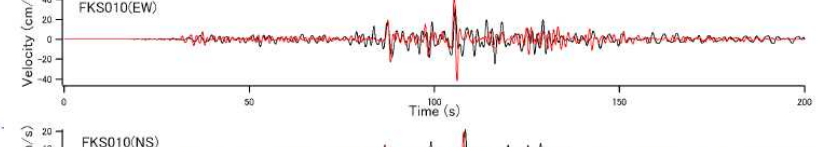
FKS005



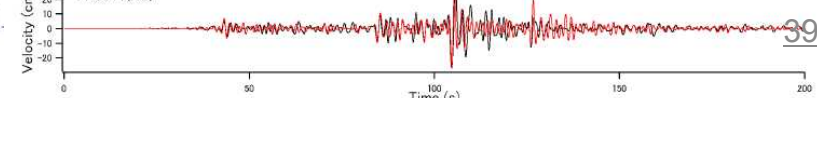
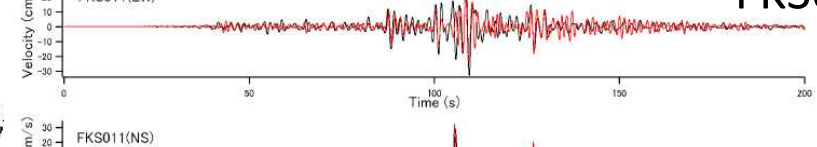
FKS031



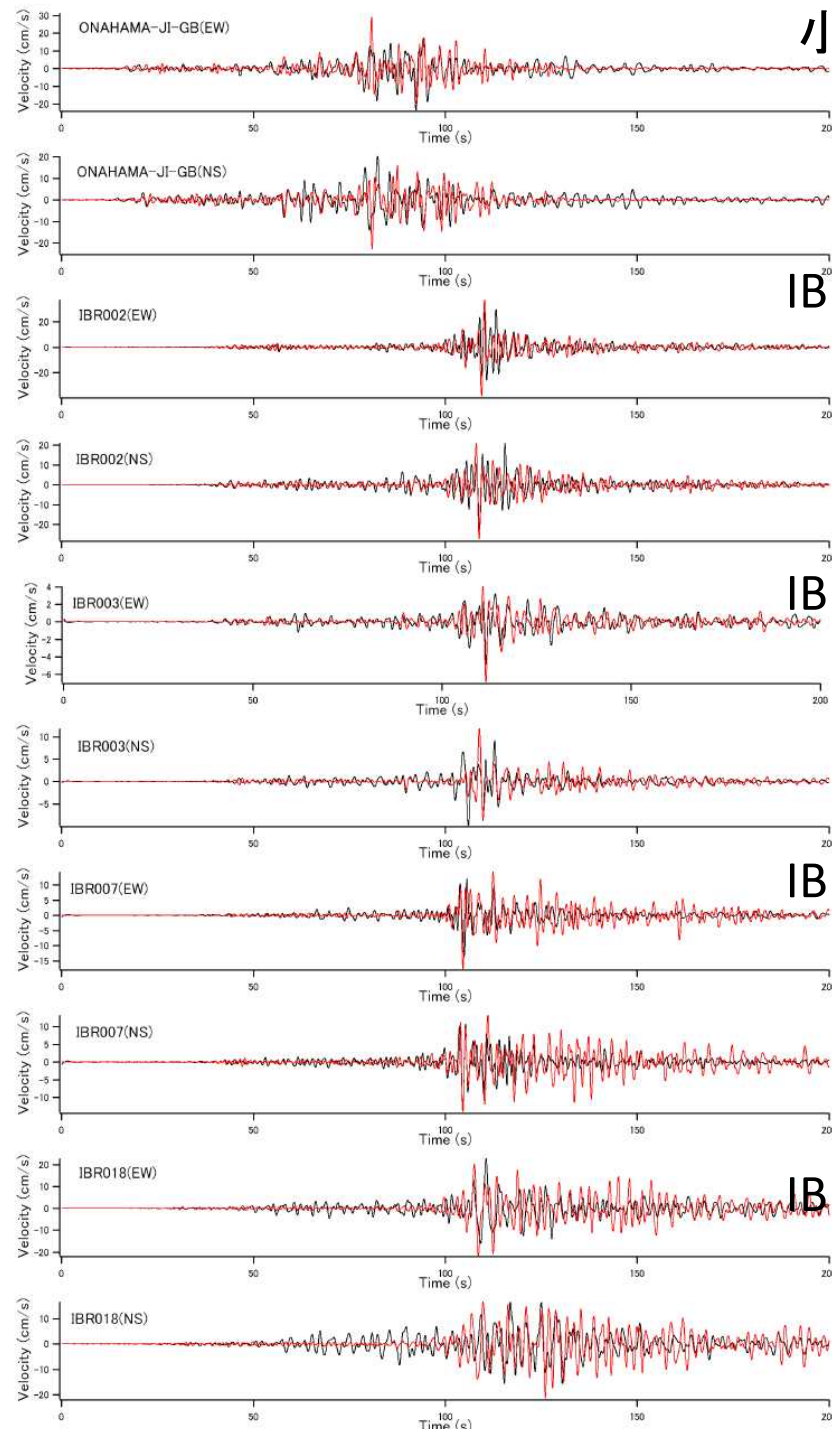
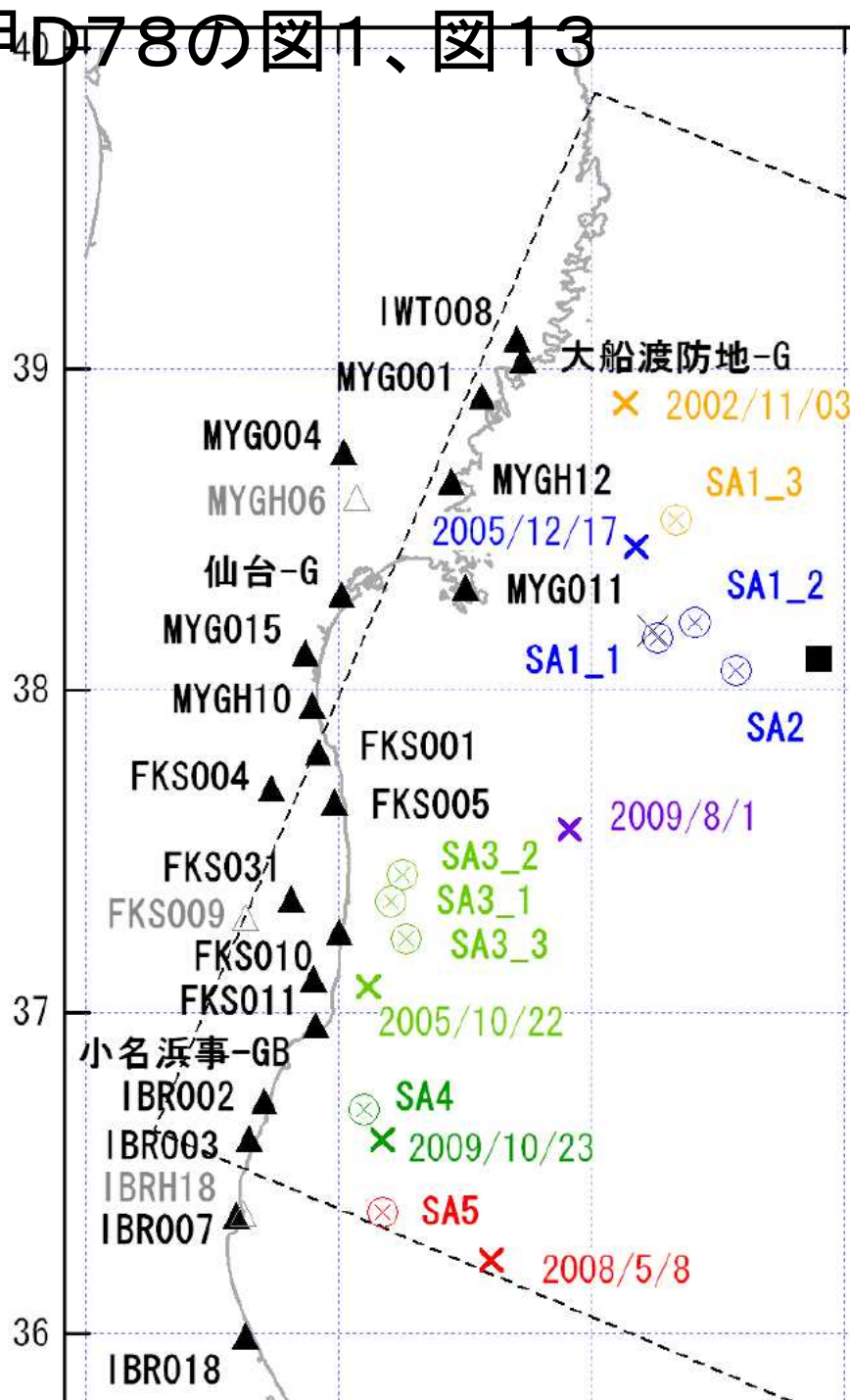
FKS010



FKS011



甲D78の図1、図13



小名浜

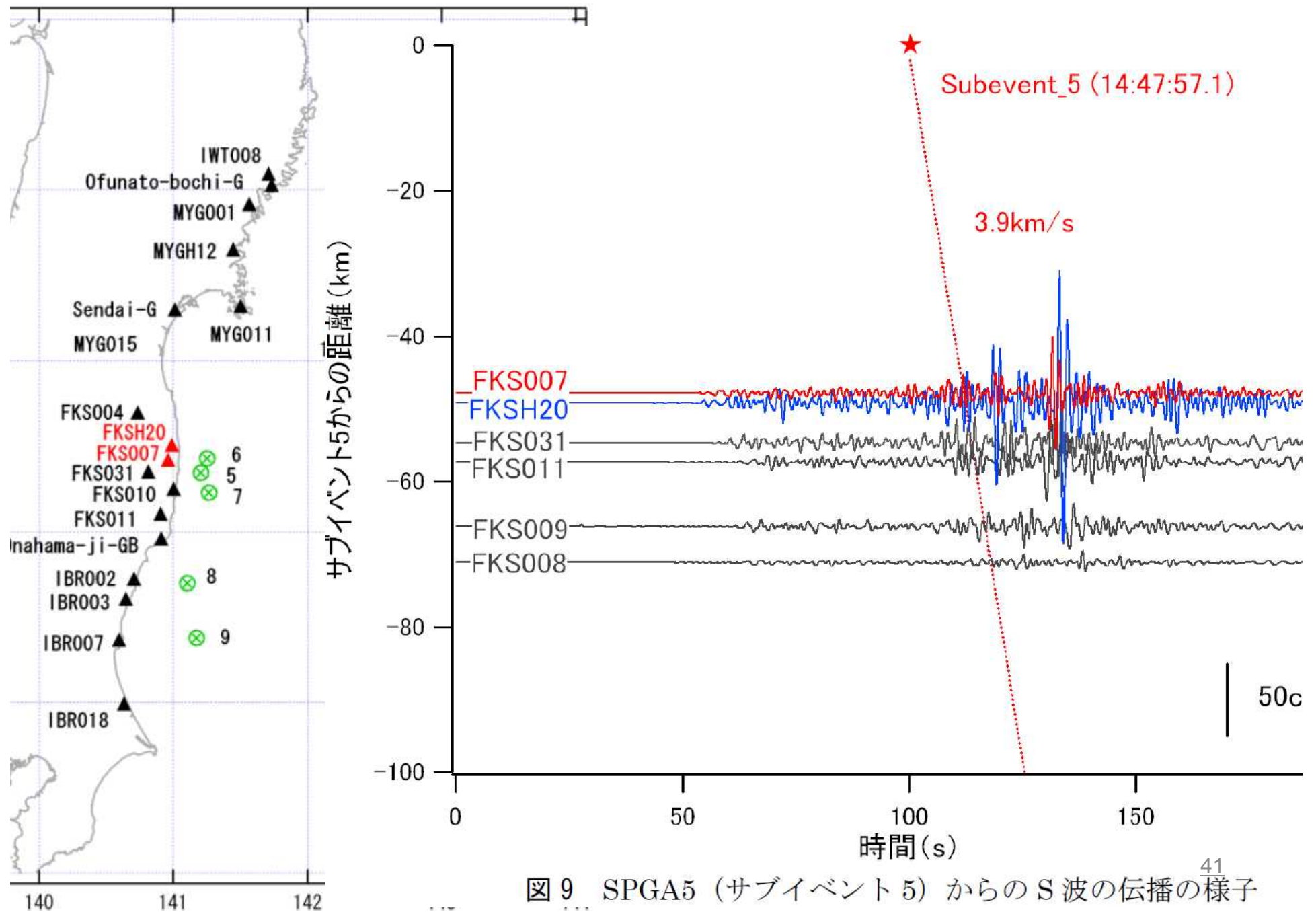
IBR002

IBR003

IBR007

IBR018

甲D194野津意見書



甲D194野津意見書

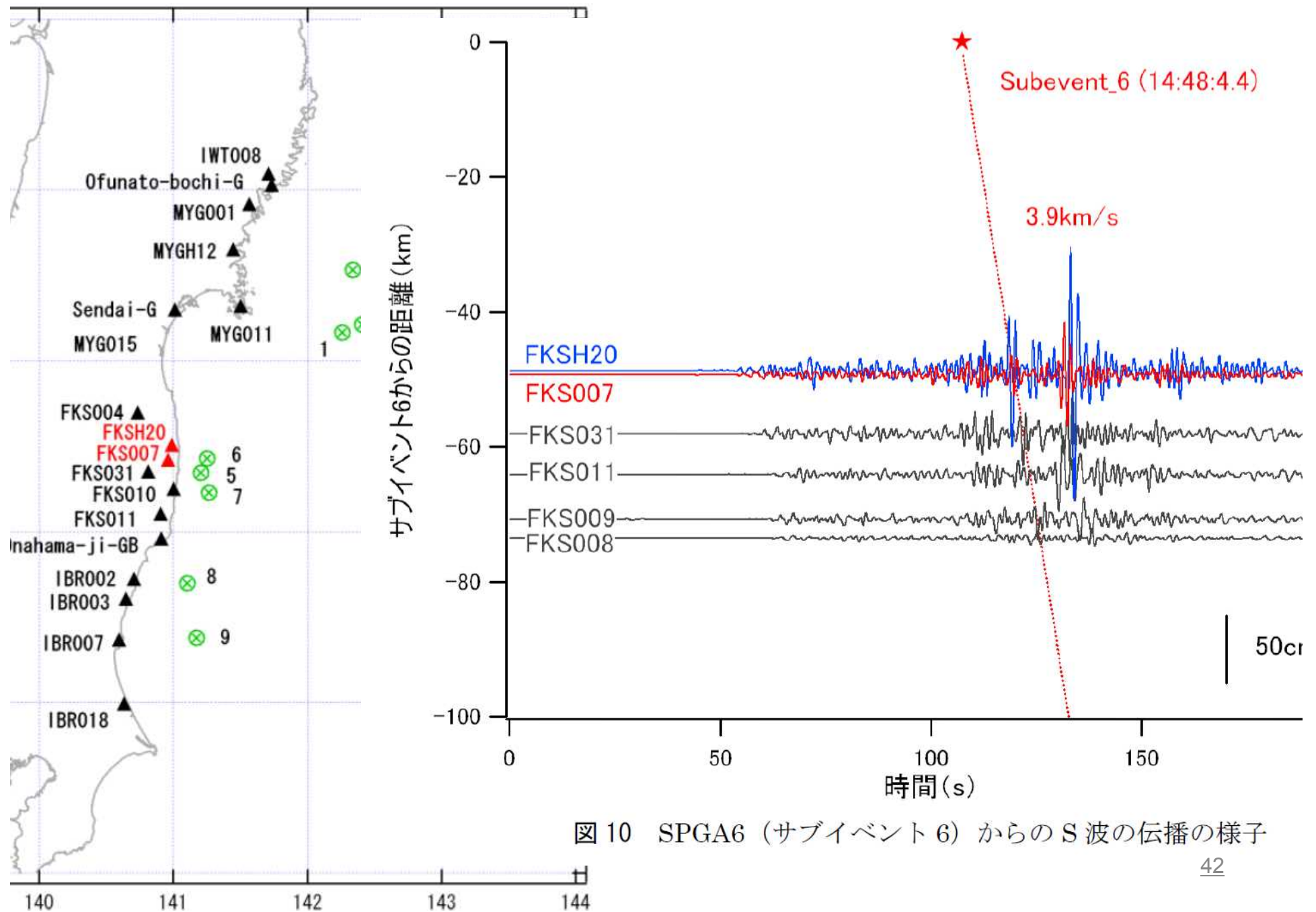


図 10 SPGA6 (サブイベント 6) からの S 波の伝播の様子

甲D194野津意見書

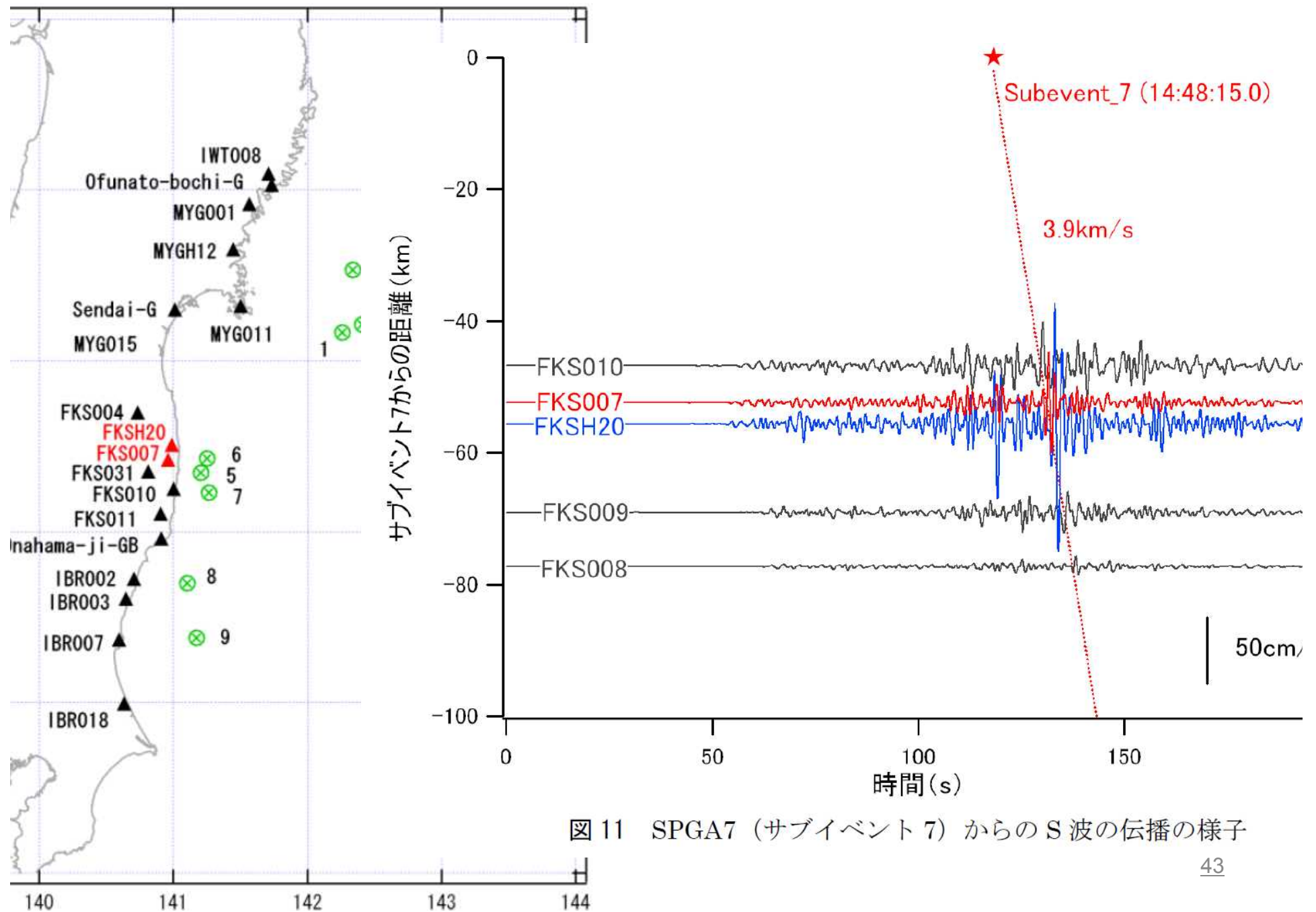
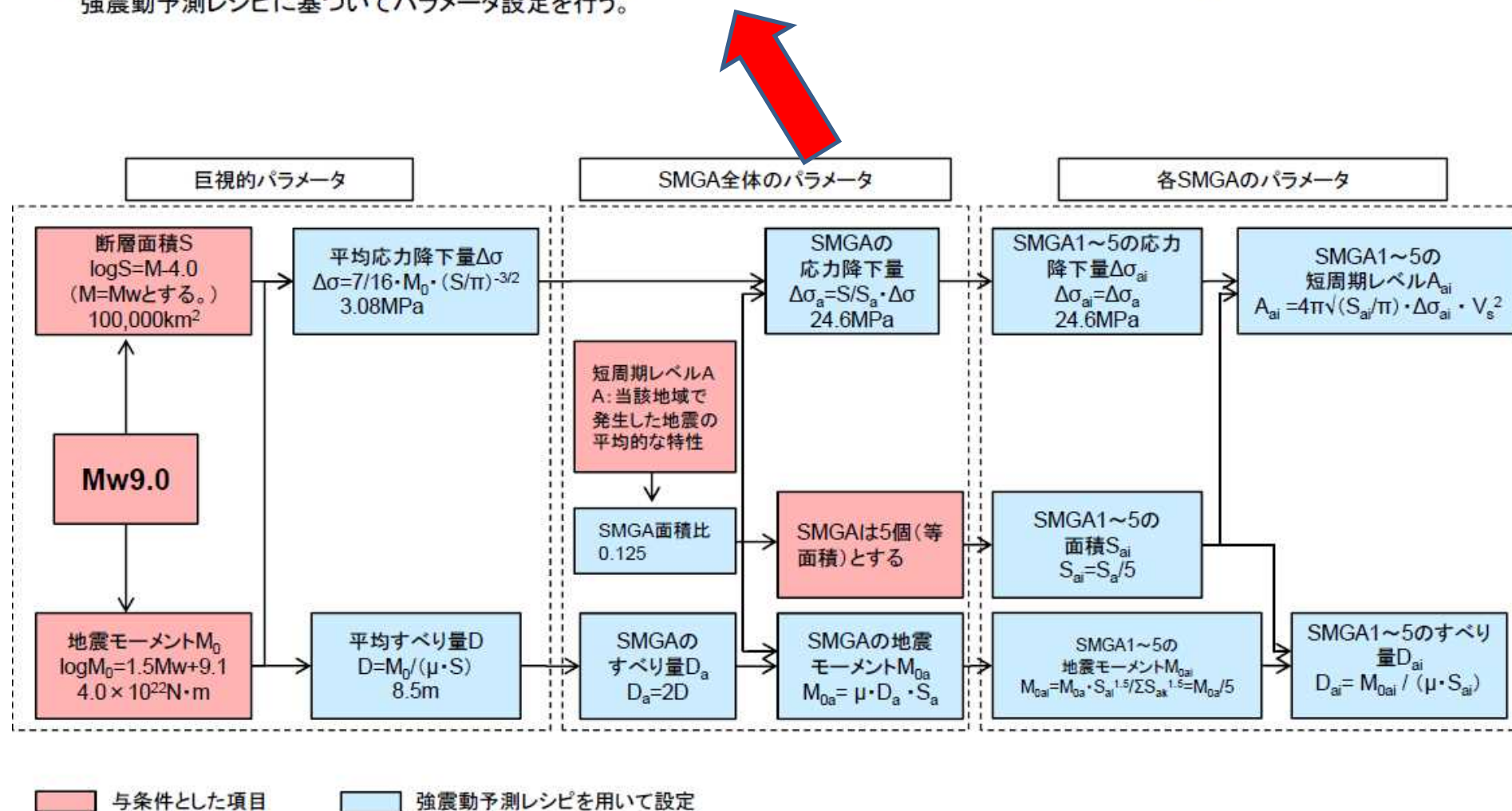


図 11 SPGA7 (サブイベント 7) からの S 波の伝播の様子

基本震源モデルの設定フロー

■ 巨大プレート間地震に対し強震動予測レシピが適用できることは諸井ほか(2013)で示されている。よって基本震源モデルについて、強震動予測レシピに基づいてパラメータ設定を行う。



(SMGA: 強震動生成域)

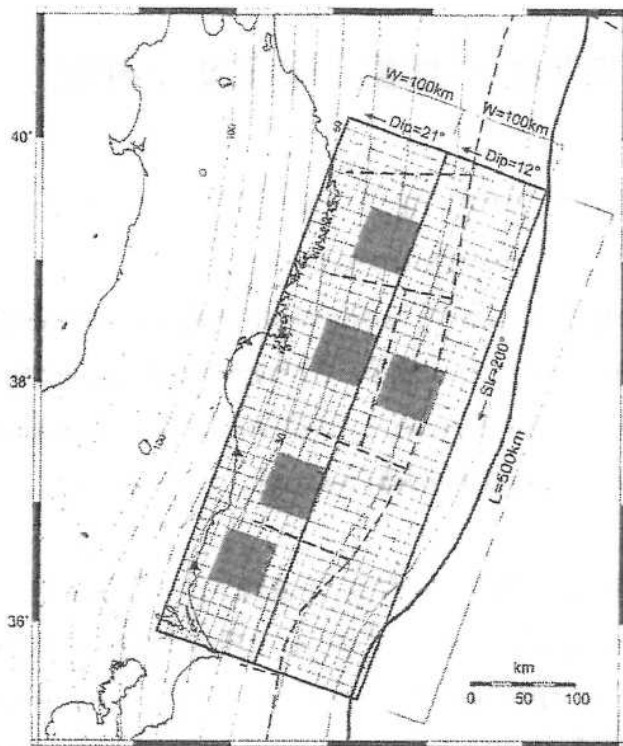


図 1 震源モデル (背景の太線は日本海溝, 破線は海溝型地震の発生領域, 点線はJ-SHISの太平洋プレート上面等深線)

表 1 断層パラメータ

	面積 $S(\text{km}^2)$	地震モーメント $M_0(\text{Nm})$	平均すべり量 $D(\text{m})$	応力降下量 $\Delta\sigma(\text{MPa})$	短周期レベル $A(\text{Nm/s}^2)$
断層全体	100,000	$4.0\text{E}+22$	8.5	3.08	$2.97\text{E}+20$
SMGA1個あたり	2,500	$2.0\text{E}+21$	17.1	24.6	$1.33\text{E}+20$
背景領域	87,500	$3.0\text{E}+22$	7.3	4.9	—

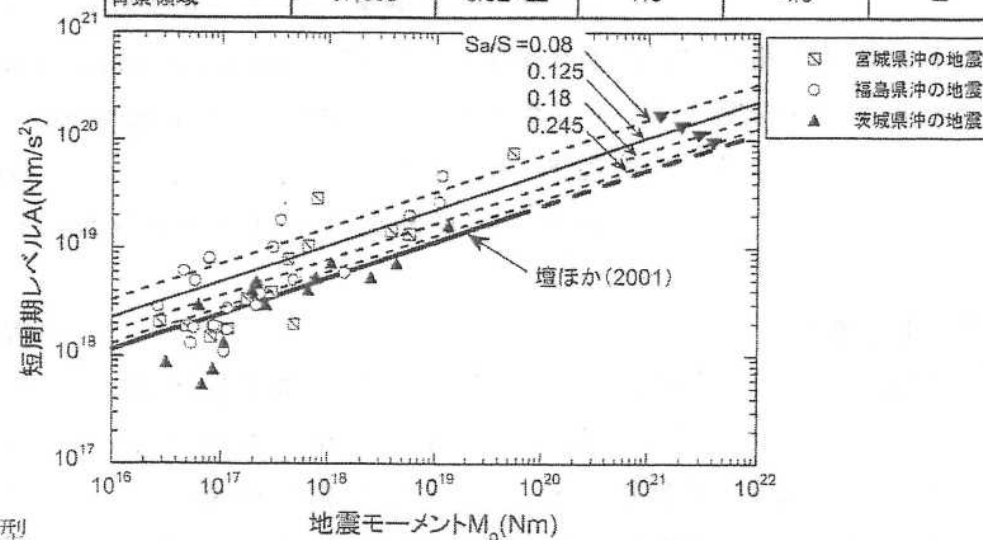
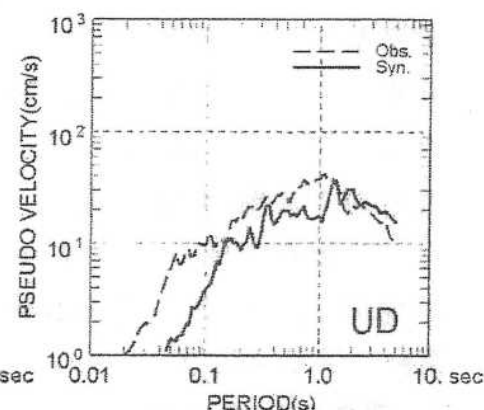
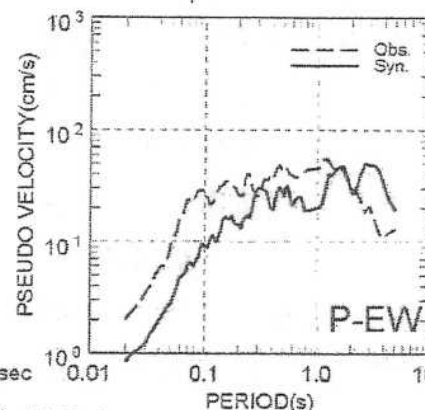
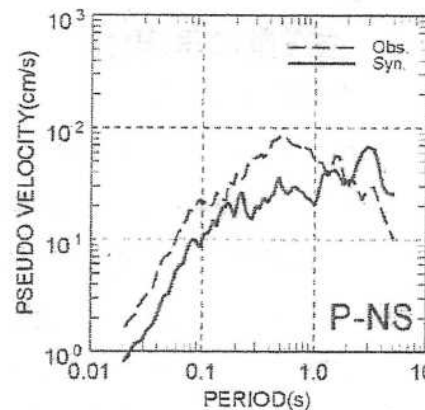
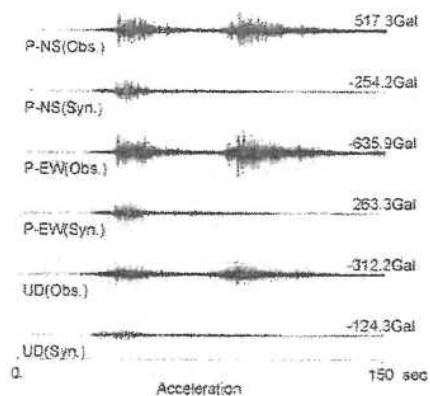
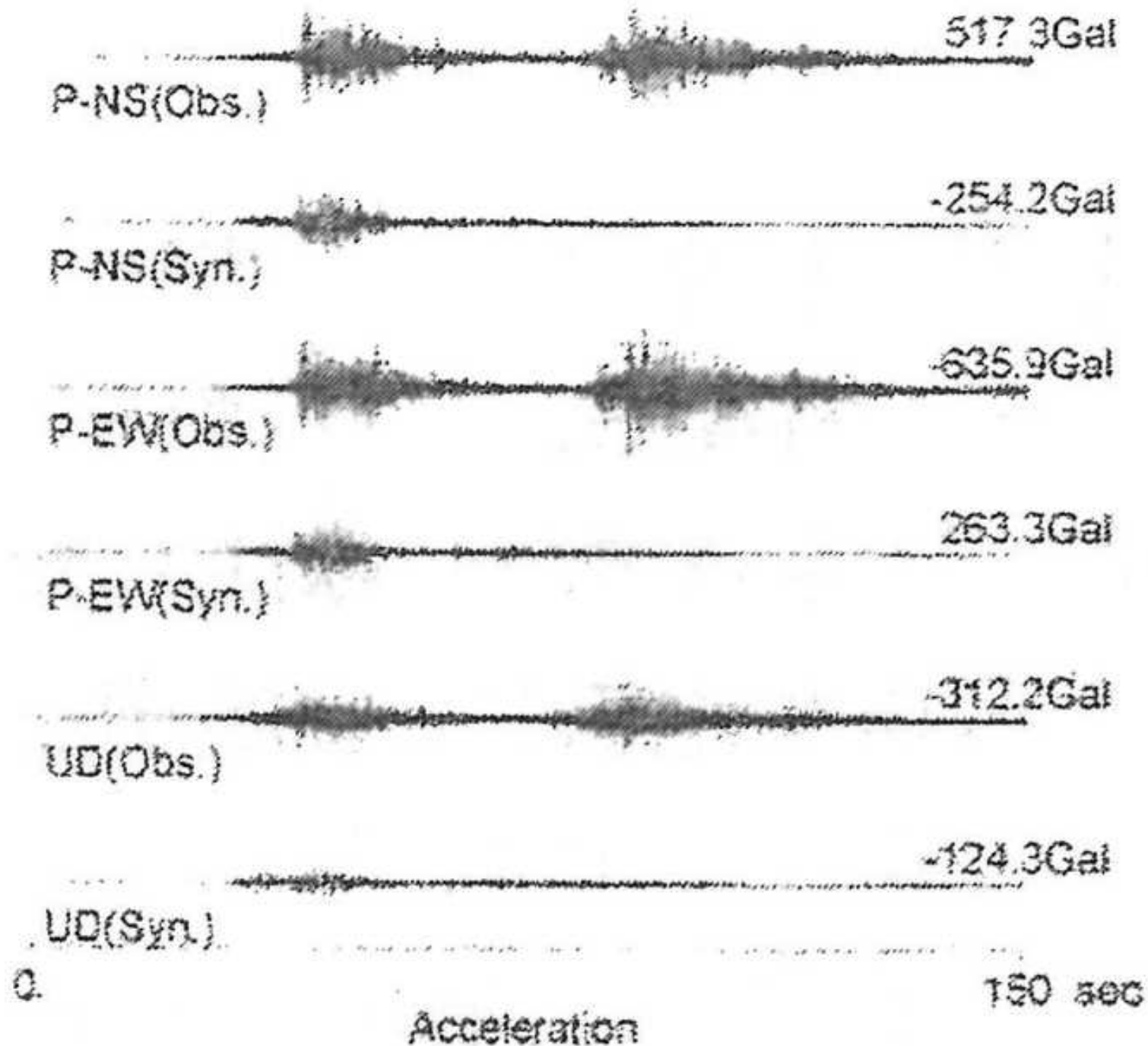


図 2 当該 3 地域の中小地震と SMGA の M_0 -A 関係



丙D44

図3(a)女J



○諸井孝文¹⁾・広谷 浄²⁾・石川和也³⁾・水谷浩之⁴⁾・引間和人⁵⁾・川里 健⁶⁾・生玉真也⁷⁾・釜田正毅⁸⁾

1)正会員 (株)小堀鐸二研究所,東京都港区赤坂6-5-30,moroi@kobori-takken.co.jp,

2)非会員 東北電力(株),仙台市青葉区本町1-7-1,hirotani.kiyoshi.nv@tohoku-epco.co.jp, 3)同,ishikawa.kazuya.yp@tohoku-epco.co.jp,

4)非会員 東京電力(株),東京都千代田区内幸町1-1-3,mizutani.hiroyuki@tepc.co.jp, 5)正会員 同,hikima.kazuhiro@tepc.co.jp,

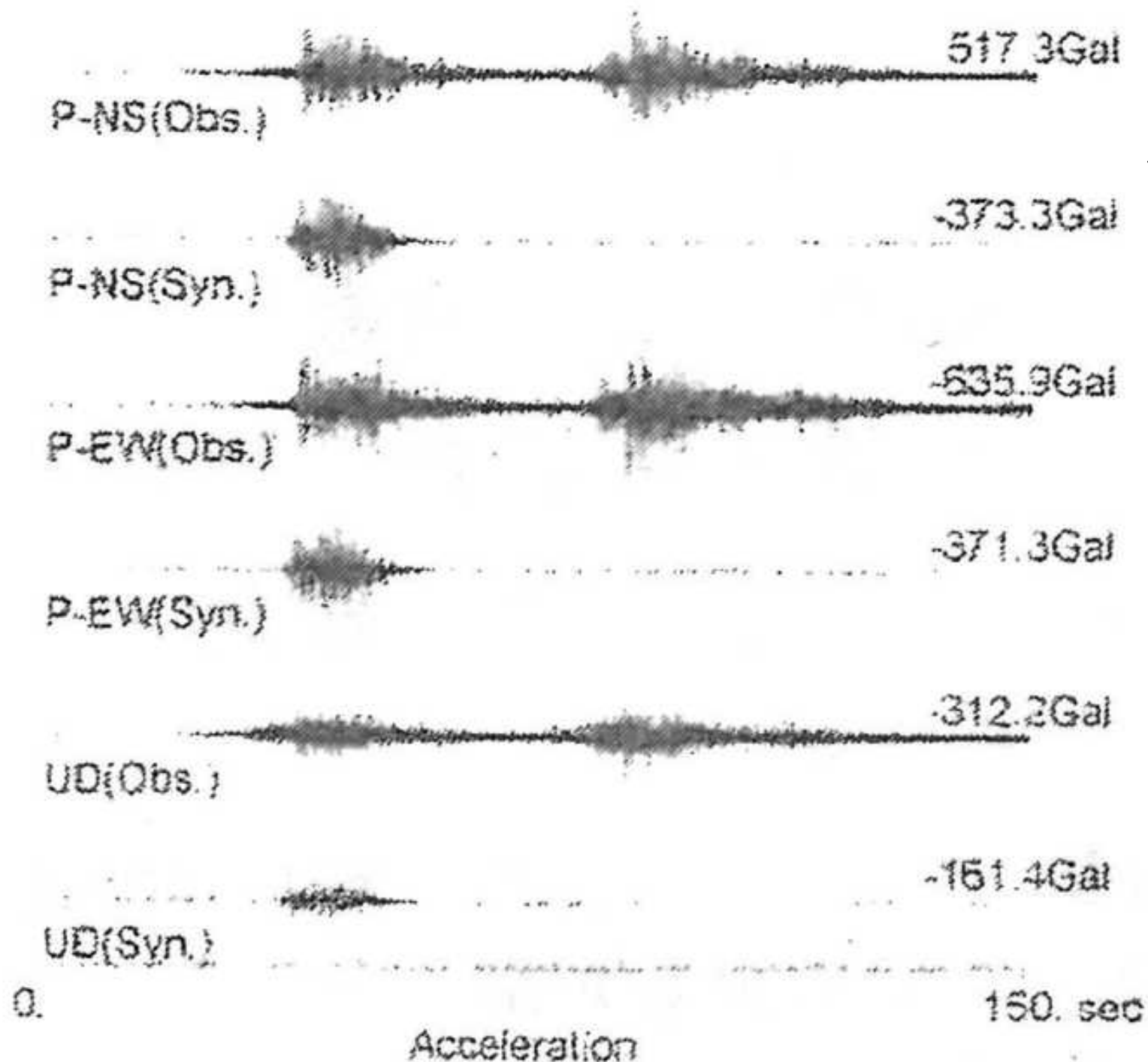
6)正会員 日本原子力発電(株),東京都千代田区神田美土代町1-1,takeshi-kawasato@japc.co.jp, 7)同,shinya-ikutama@japc.co.jp,

8)非会員 鹿島建設(株),東京都港区赤坂 6-5-11,kamata-masaki@kajima.com

次に、地震動レベルの観測記録との整合性を地点ごとに見ると、東海地点に比較して女川地点の解析結果はやや過小評価となっている。これは先に示した中小地震の M_0 -A関係に関する地域間のばらつきが標準的なモデルに考慮されておらず、結果的に宮城県沖SMGAの短周期レベルが過小評価となっている可能性が考えられる。

そこで1978年宮城県沖地震を参考に、宮城県沖SMGAの短周期レベルをかさ上げすることで、震源の地域性の影響を取り込んだ評価を行った。その結果は図4のとおりであり、地震動レベルの再現性が有意に高まっている。

丙D44
 図4女川
 短周期レベ
 を1.4倍



SPGAモデル

東北地方太平洋沖地震をはじめとする海溝型巨大地震において特徴的な強震動パルスのパルス幅と調和的なサイズのサブイベント(SPGA)から構成される震源モデルであり、サブイベントのサイズは対象地震の場合一辺が数km程度.

SMGAモデル

より広い領域(対象地震の場合、一辺が数十km程度)からまんべんなく強震動が生成されるとする震源モデル.

甲D194野津意見書

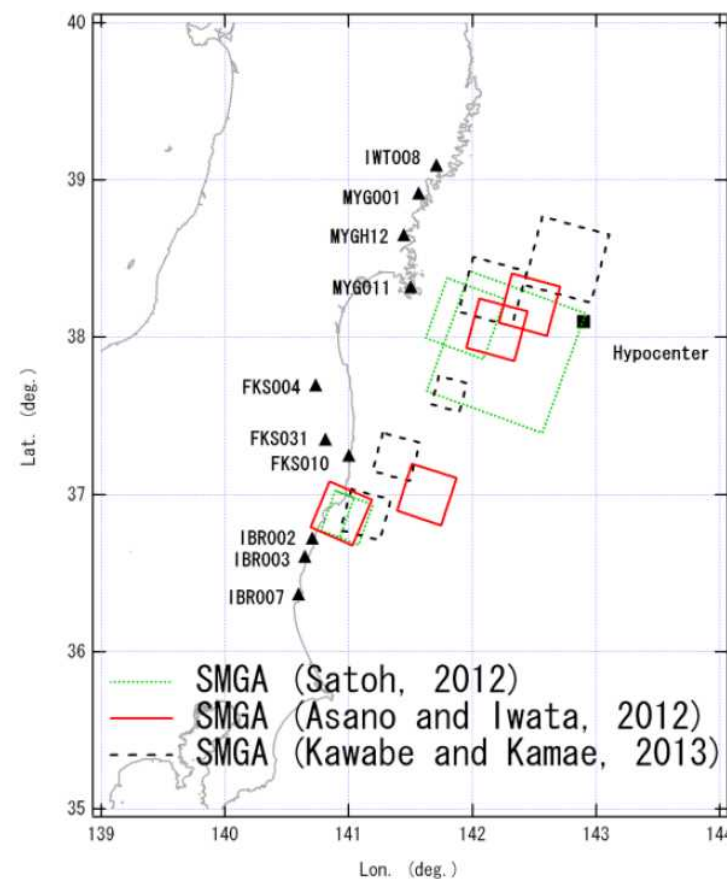
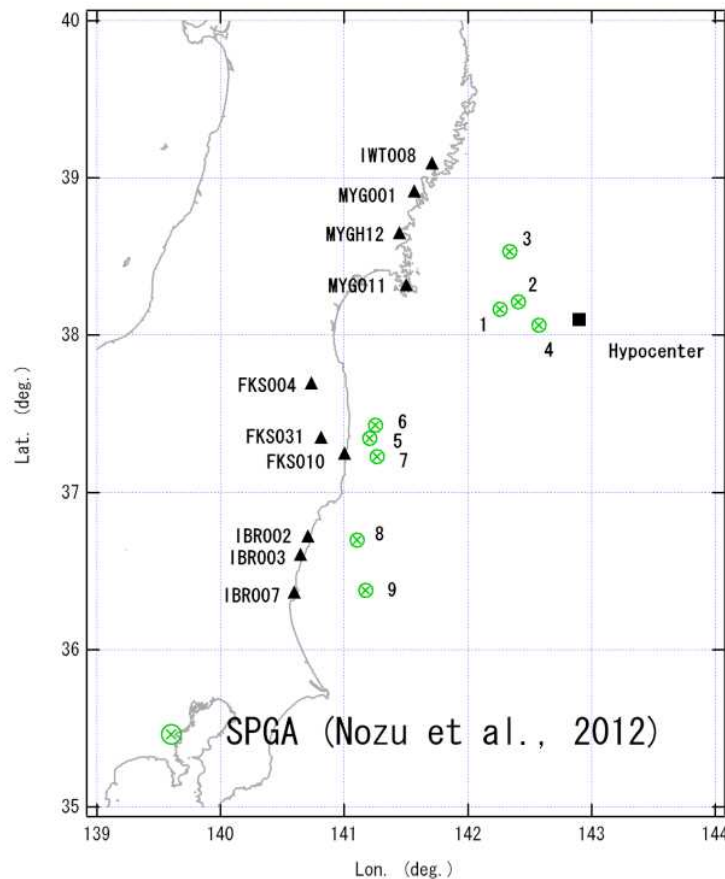


図 12 2011 年東北地方太平洋沖地震を対象とした SPGA モデルと SMGA モデルの比較

甲D194野津意見書

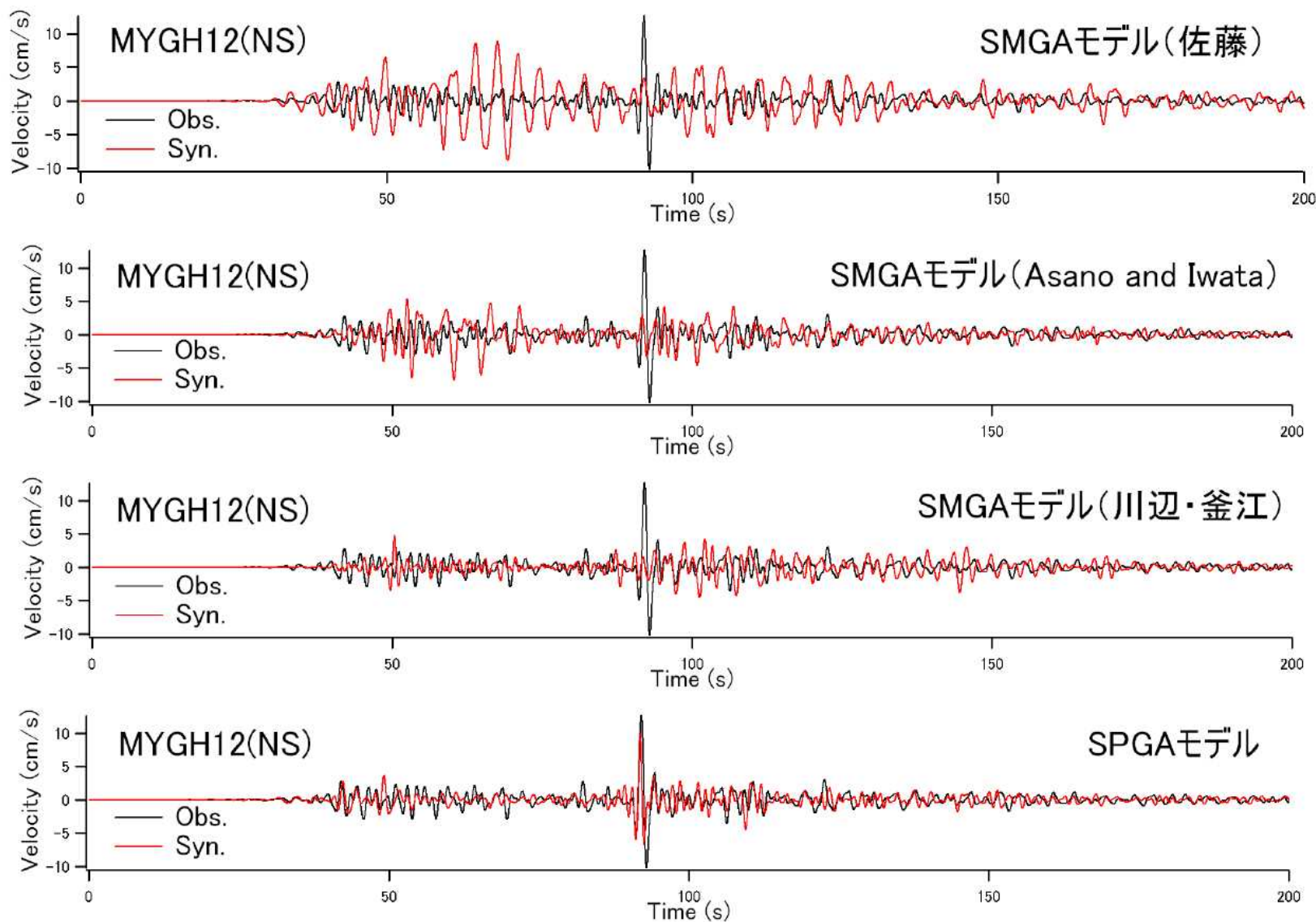


図 13 MYGH12 における速度波形 (0.2-1Hz) の観測結果 (—Obs.) と SMGA モデルおよび SPGA モデルによる計算結果 (—Syn.)

甲D123

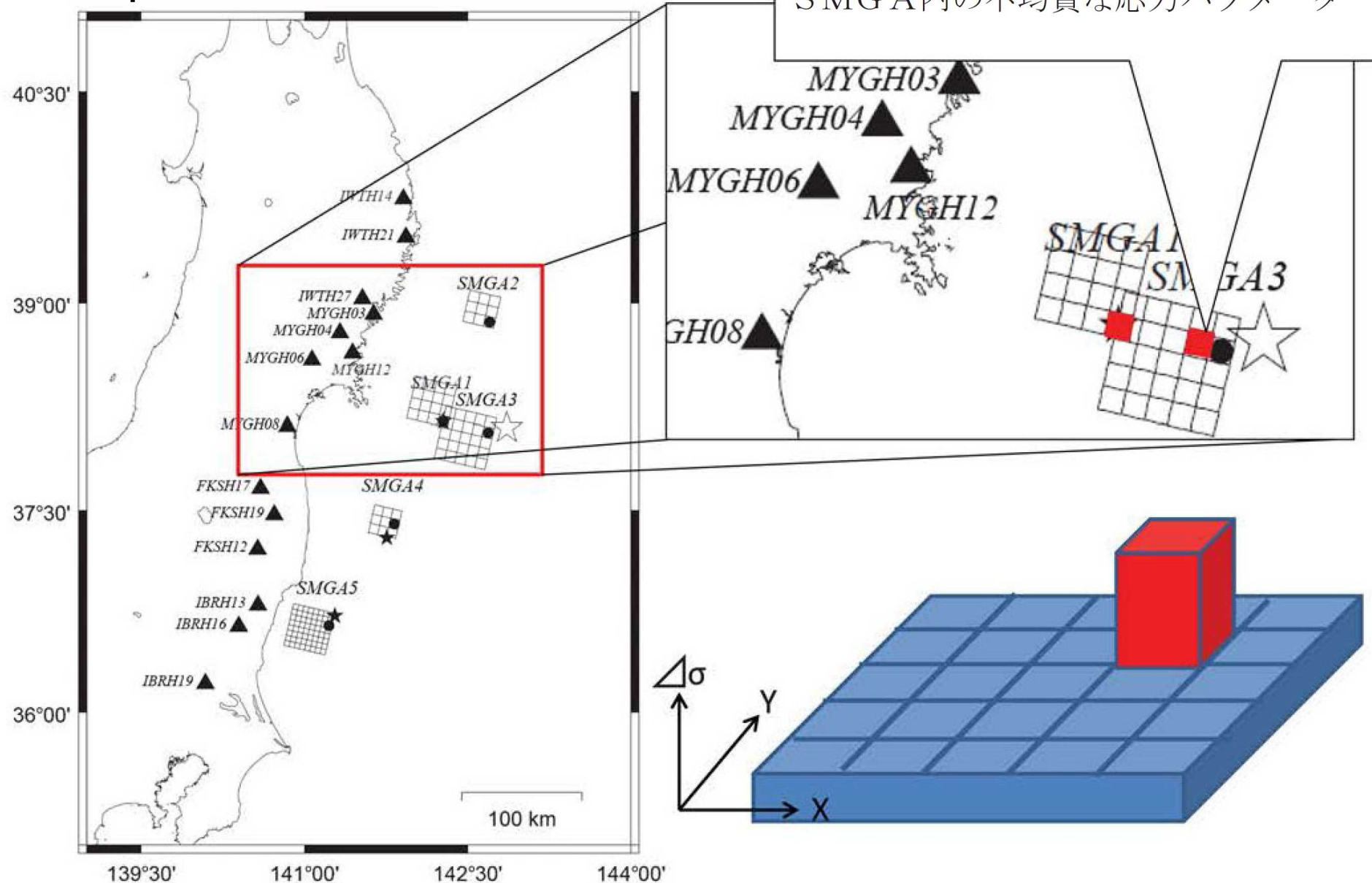


図 17. (左) この研究で使用された短周期震源モデル。(右上) 強震動生成域 1 (SMGA 1) と強震動生成域 3 (SMGA 3) の拡大図。より高い応力パラメータが赤枠内に含まれる。(右下) 空間的に様々な応力パラメータを入力した不均質 SMGA モデル。 51

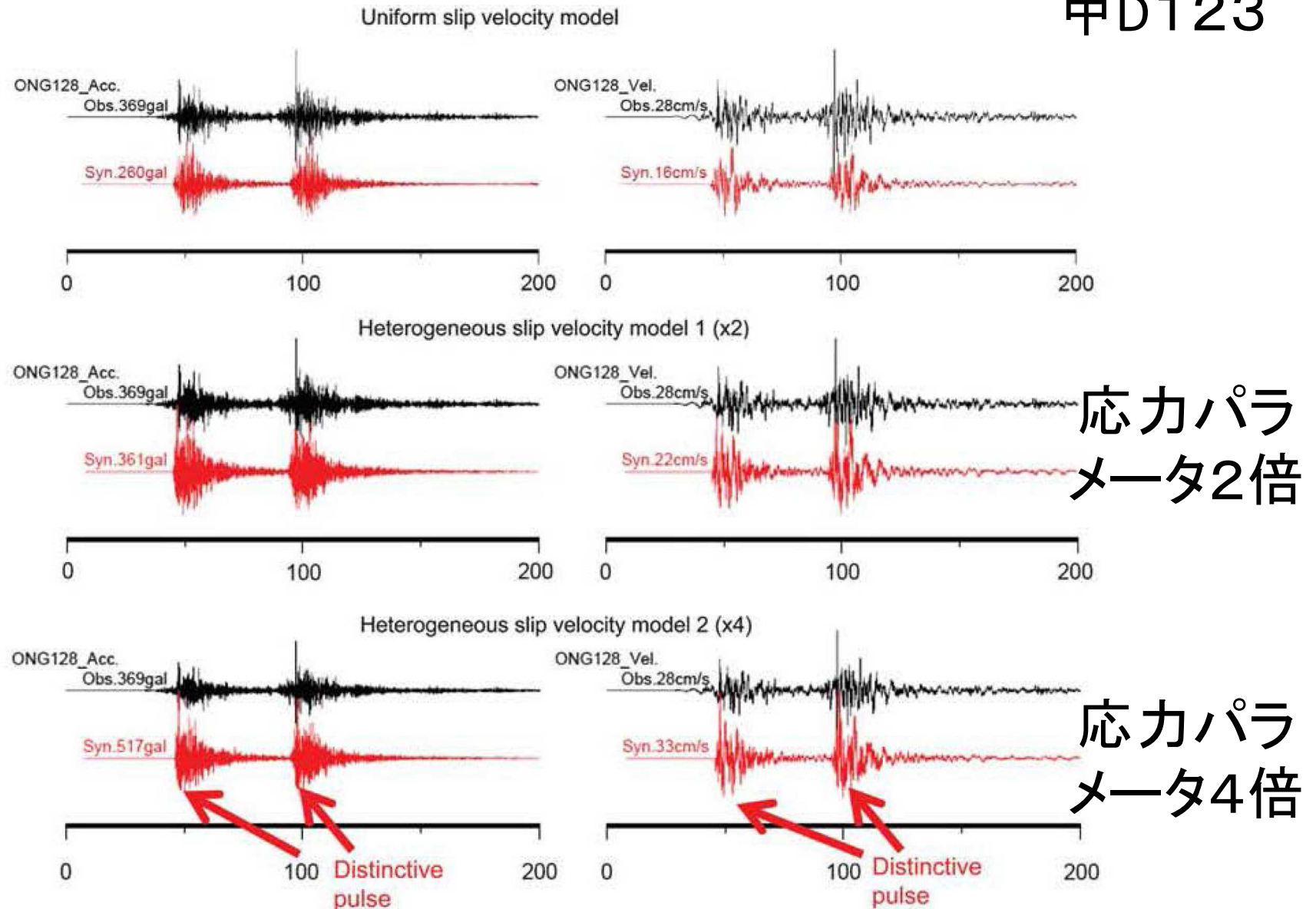
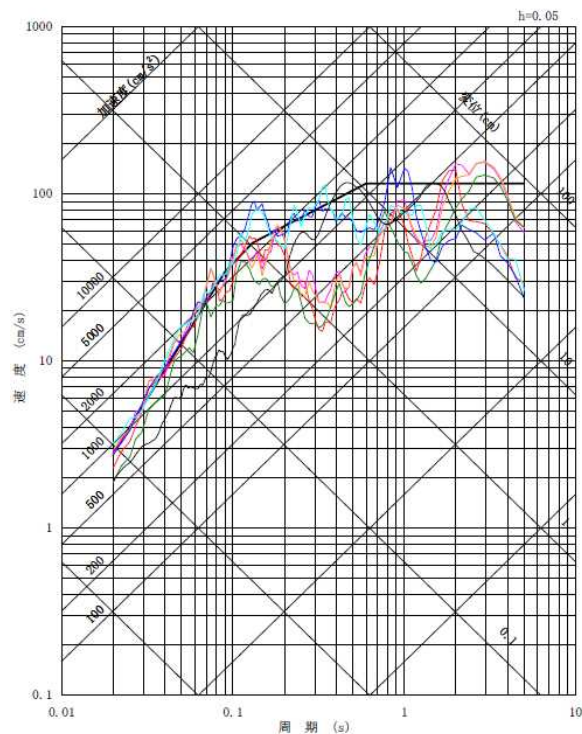


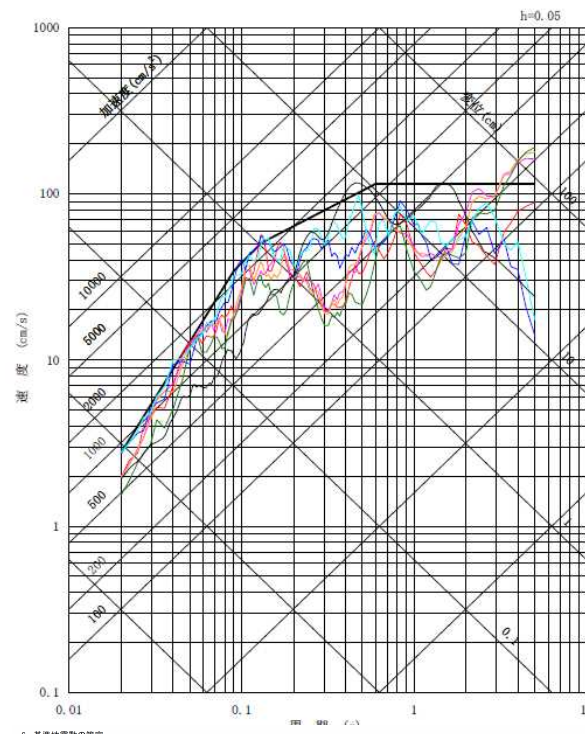
図 18. (ONG128 女川観測点での) 南北成分の速度の観測記録と合成記録の比較。均質なすべり速度モデル（上），応力パラメータを 2 倍に増加させた不均質なすべり速度モデル 1（中），応力パラメータを 4 倍にした不均質なすべり速度モデル 2（下）。（※訳注：中段，下段の不均質モデルで特徴的なパルス波が再現できている）

- Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-11 F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ、破壊開始点1)
- Ss-12 F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ、破壊開始点2)
- Ss-13 F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ、破壊開始点3)
- Ss-14 F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震(断層傾斜角の不確かさ、破壊開始点2)
- Ss-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)
- Ss-22 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- Ss-31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動

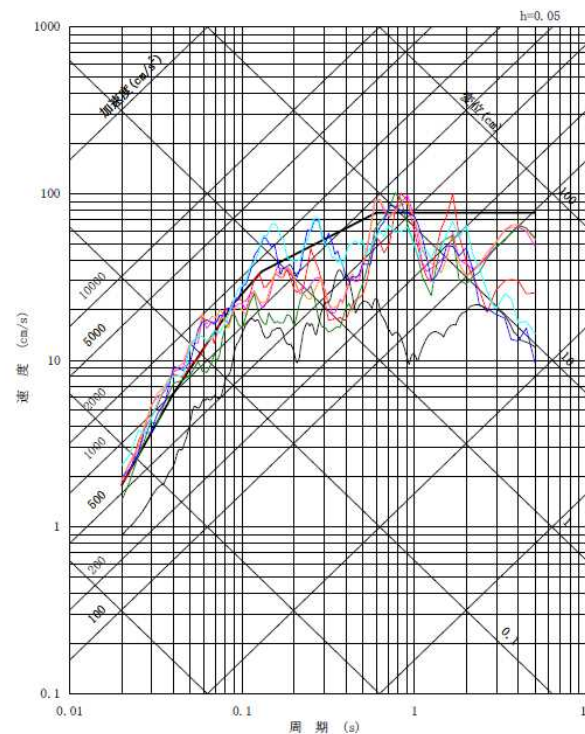
甲D53



NS成分



UD成分



6. 基準地震動の算定
基準地震動Ss(2/2)

■ 基準地震動Ssの最大加速度の一覧を示す。

基準地震動	最大加速度 (cm/s²)		
	NS成分	EW成分	UD成分
Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動	870	870	560
Ss-11 F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ、破壊開始点1)	717	619	579
Ss-12 F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ、破壊開始点2)	871	626	602
Ss-13 F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ、破壊開始点3)	903	617	599
Ss-14 F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震(断層傾斜角の不確かさ、破壊開始点2)	586	482	451
Ss-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)	901	887	620
Ss-22 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)	1009	874	736
Ss-31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動	610	610	280

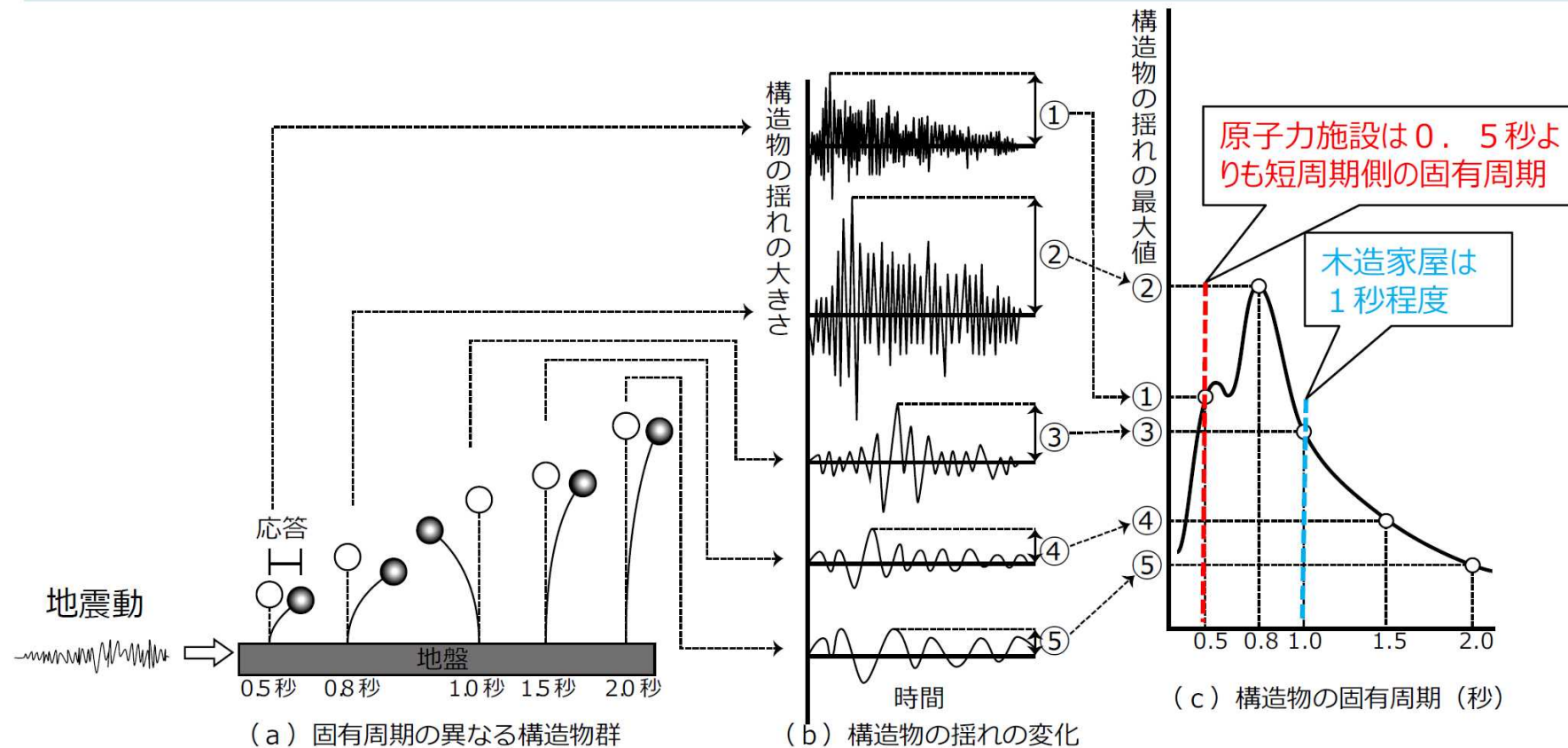


4-219

53



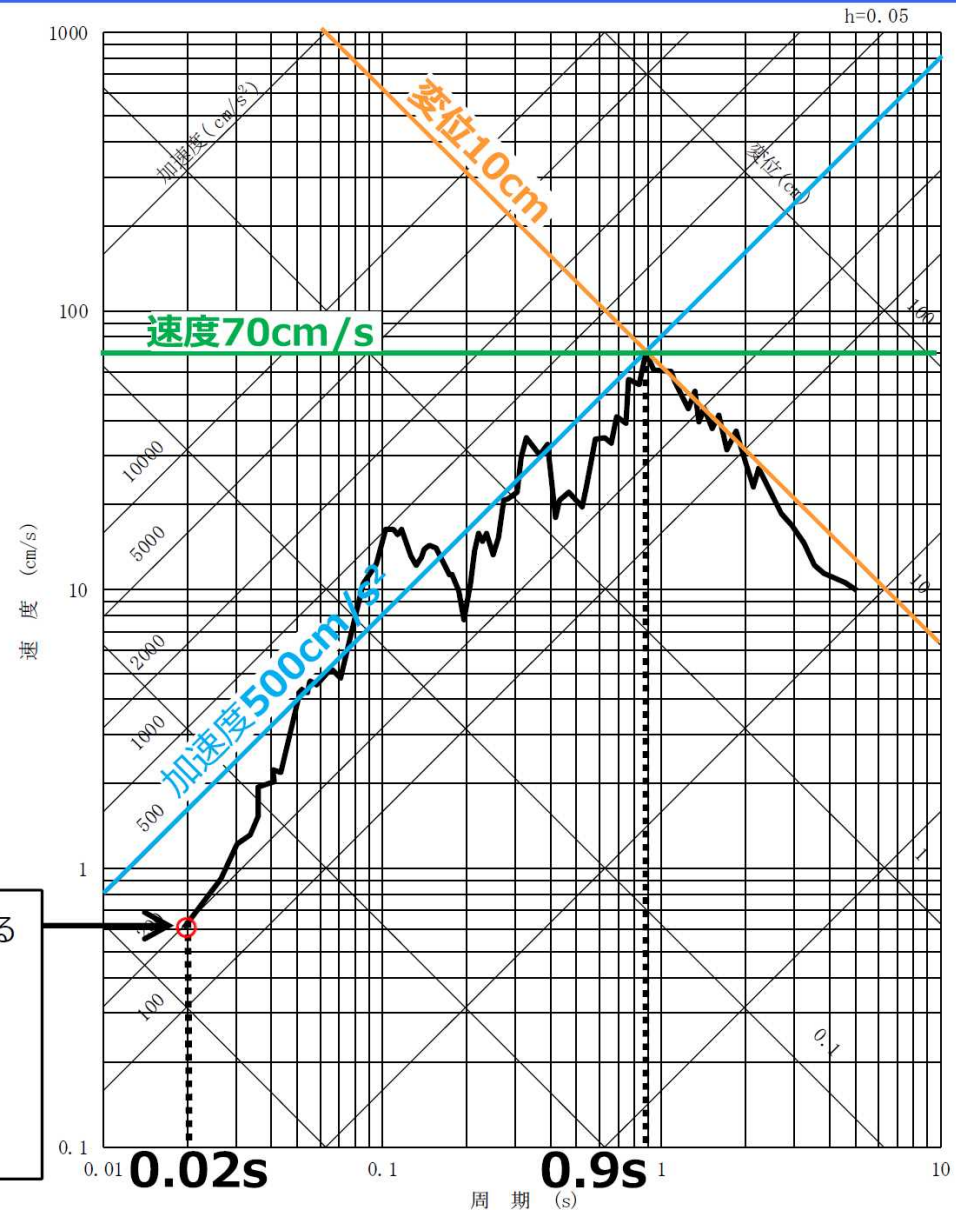
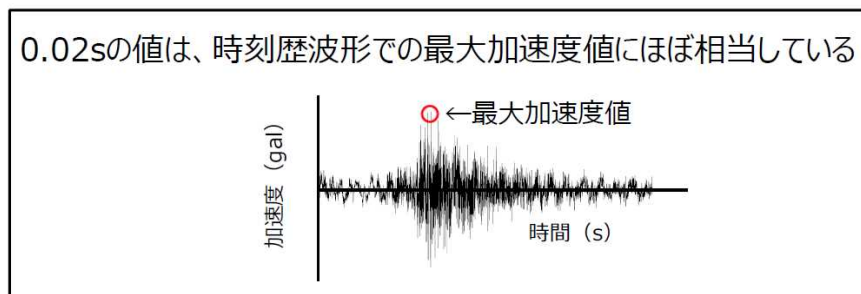
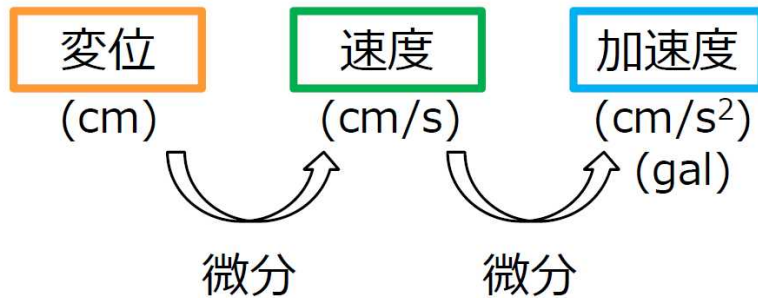
- 地震動には様々な周期の波が含まれる。
- 建物等には特定の揺れやすい周期があり、同じ周期を持つ地震動が到来すると大きく揺れる。
- 「応答スペクトル」とは、様々な周期を有する建物等に対して地震動がどのくらいの揺れを生じさせるかを、横軸に周期、縦軸に最大応答値をとって分かりやすく描いたもので、その地震動によって建物等に生じる揺れの大きさが把握できる。

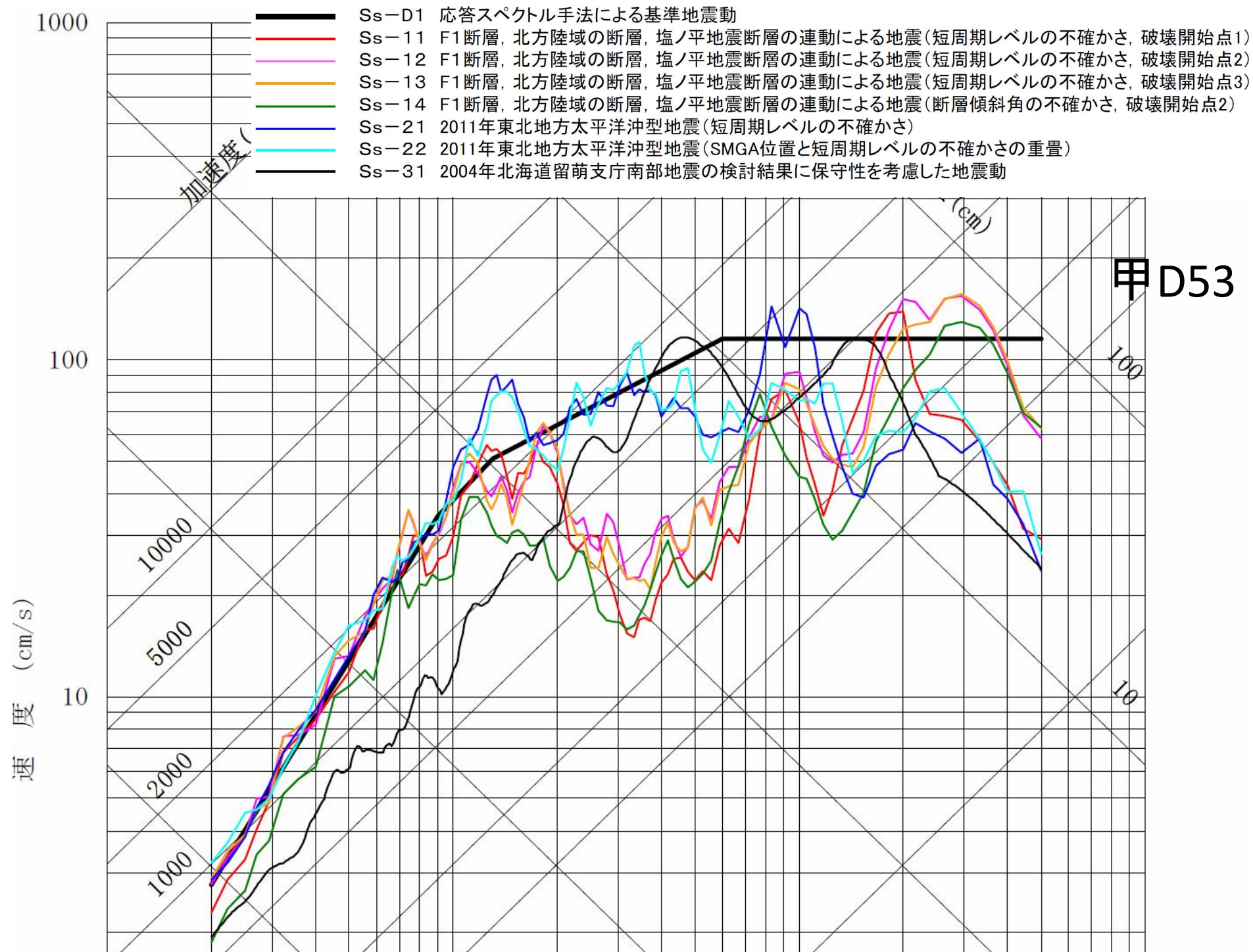


【解説】応答スペクトル（トリパタイト）のグラフの見方

丙D159

○トリパタイトとは、正弦波 $\sin(\omega t)$ を微分すると円振動数 $(1/\omega)$ 倍になる関係を利用して、変位・速度・加速度の関係を一つのグラフに示したもの。





東北地方太平洋沖地震の知見を踏まえた東海第2原発を襲う可能性がある地震動

表1 SPGA4 のパラメタ

パラメタ	値
長さ×幅	3.5 km × 3.0 km
地震モーメント	2.1×10^{19} Nm
短周期レベル	5.23×10^{20} Nm/s ²
破壊伝播速度	3.0 km/s
ライズタイム	0.25 s
分割数	5×5×5

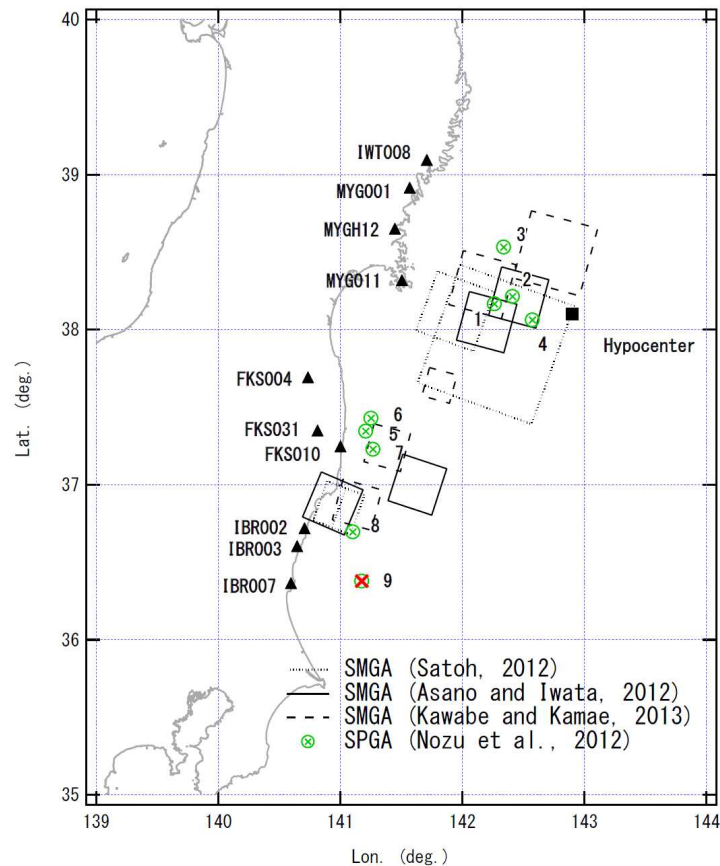


図15 地震動の計算に用いた SPGA の位置

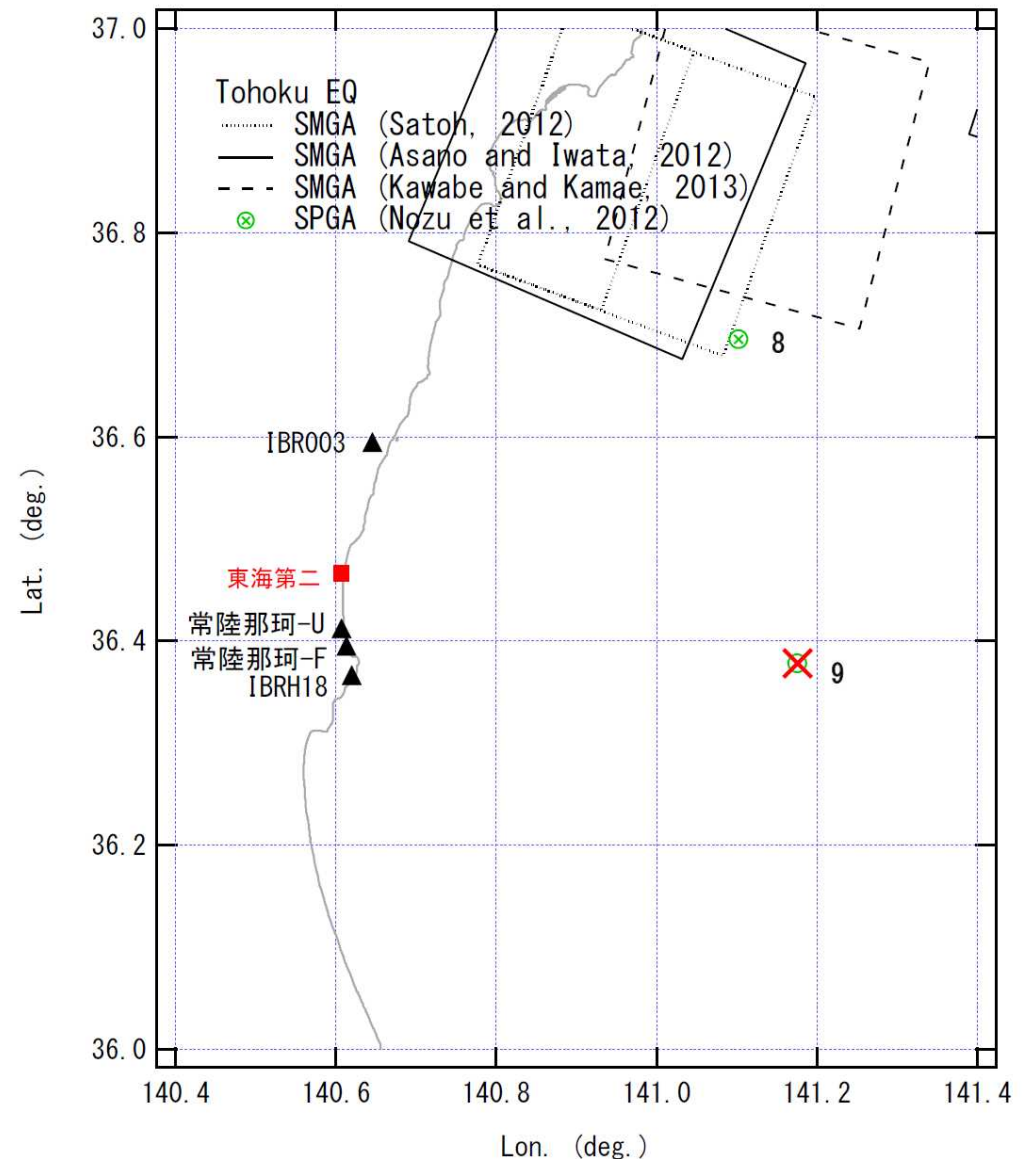
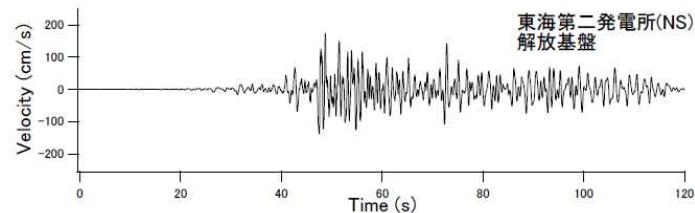
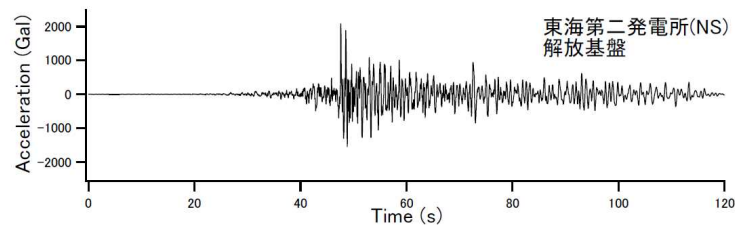
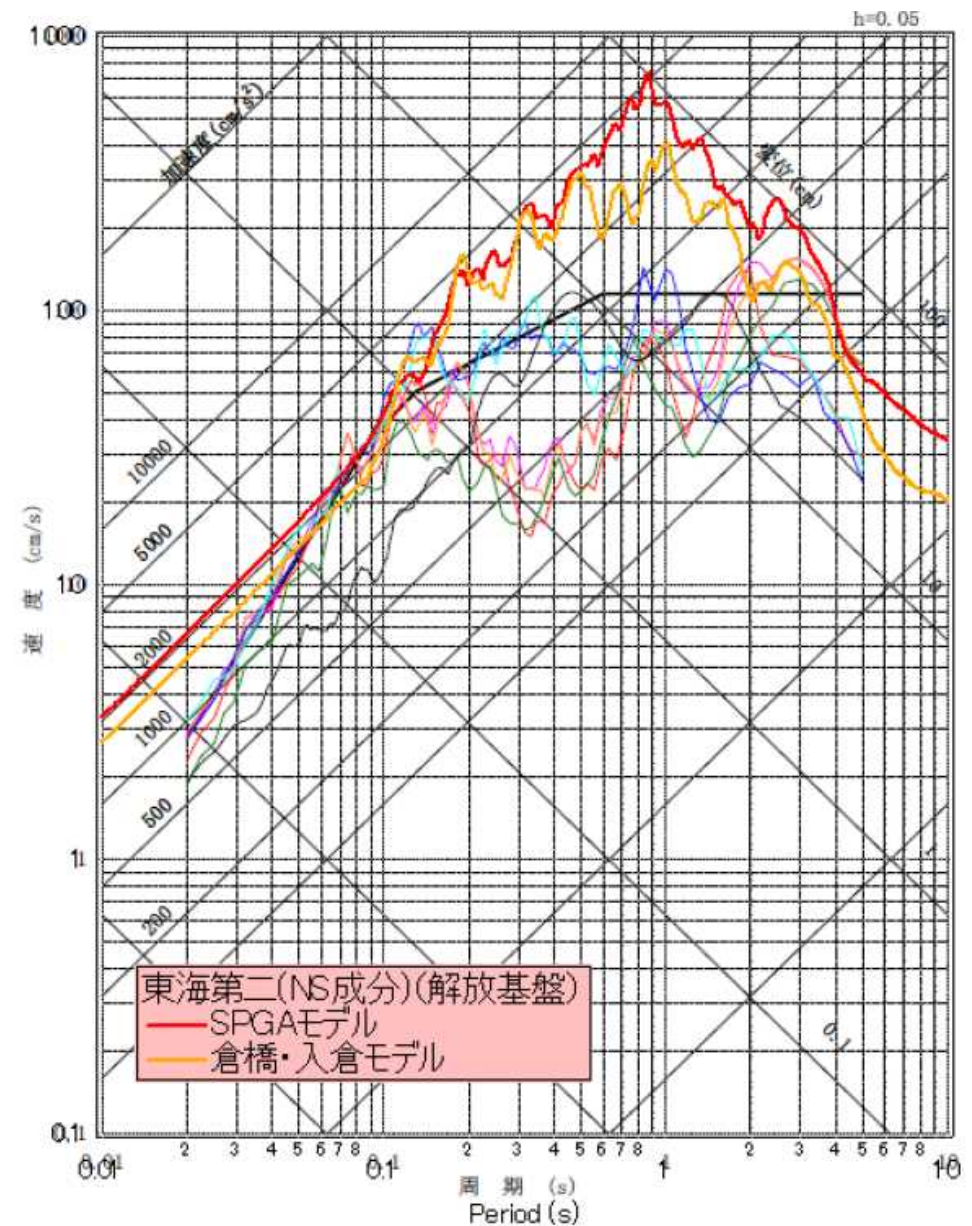


図16 地震動の計算に用いた SPGA の位置 (拡大図)

東北地方太平洋沖地震の知見を踏まえた東海第2原発を襲う可能性がある地震動



甲D194野津意見書



NS成分

図 20 応答スペクトル（減衰定数 5%）のトリバタイト表示（標準地震動と58比較 NS 成

東北地方太平洋沖地震の知見を踏まえた東海第2原発を襲う可能性がある地震動

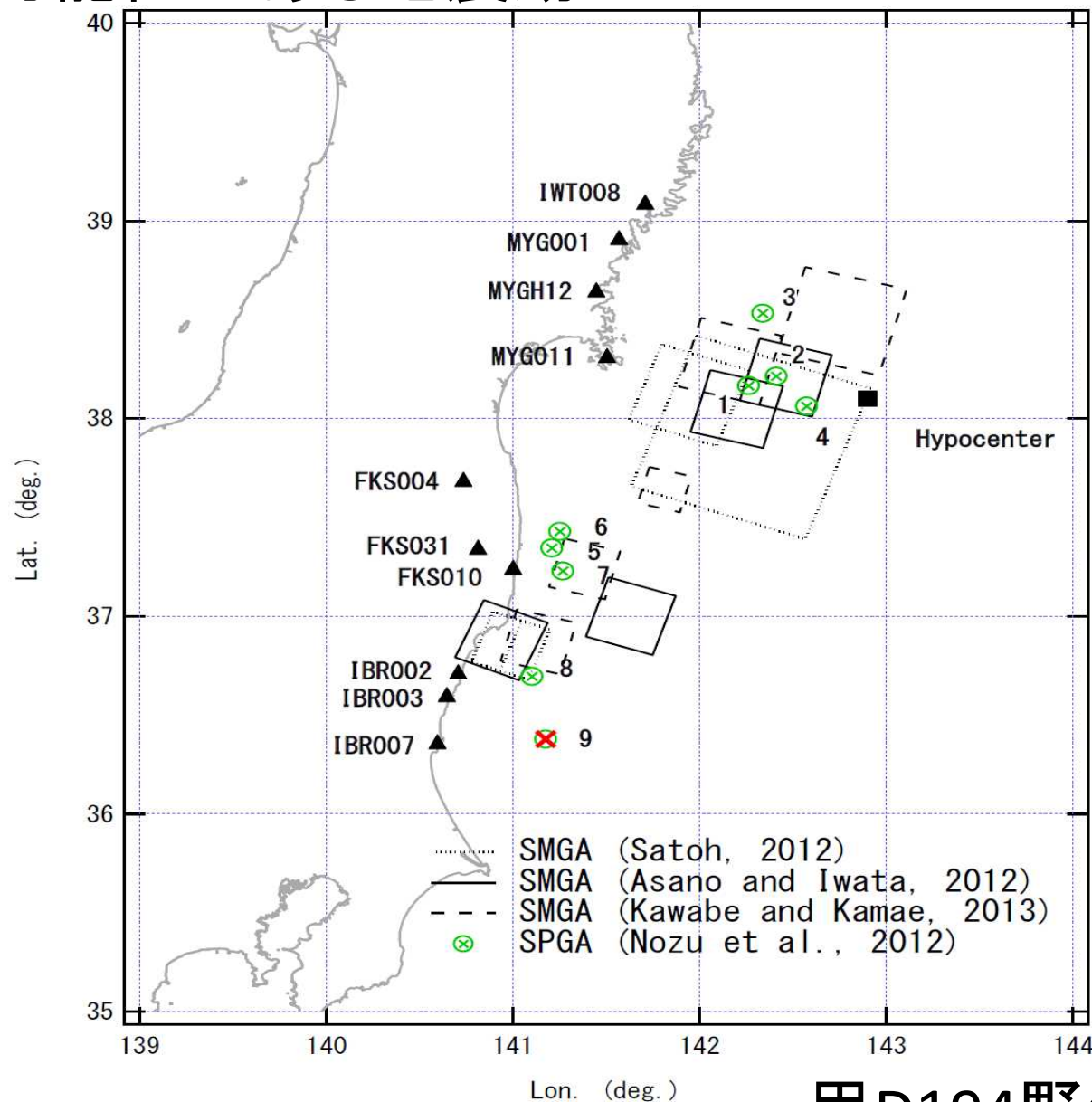
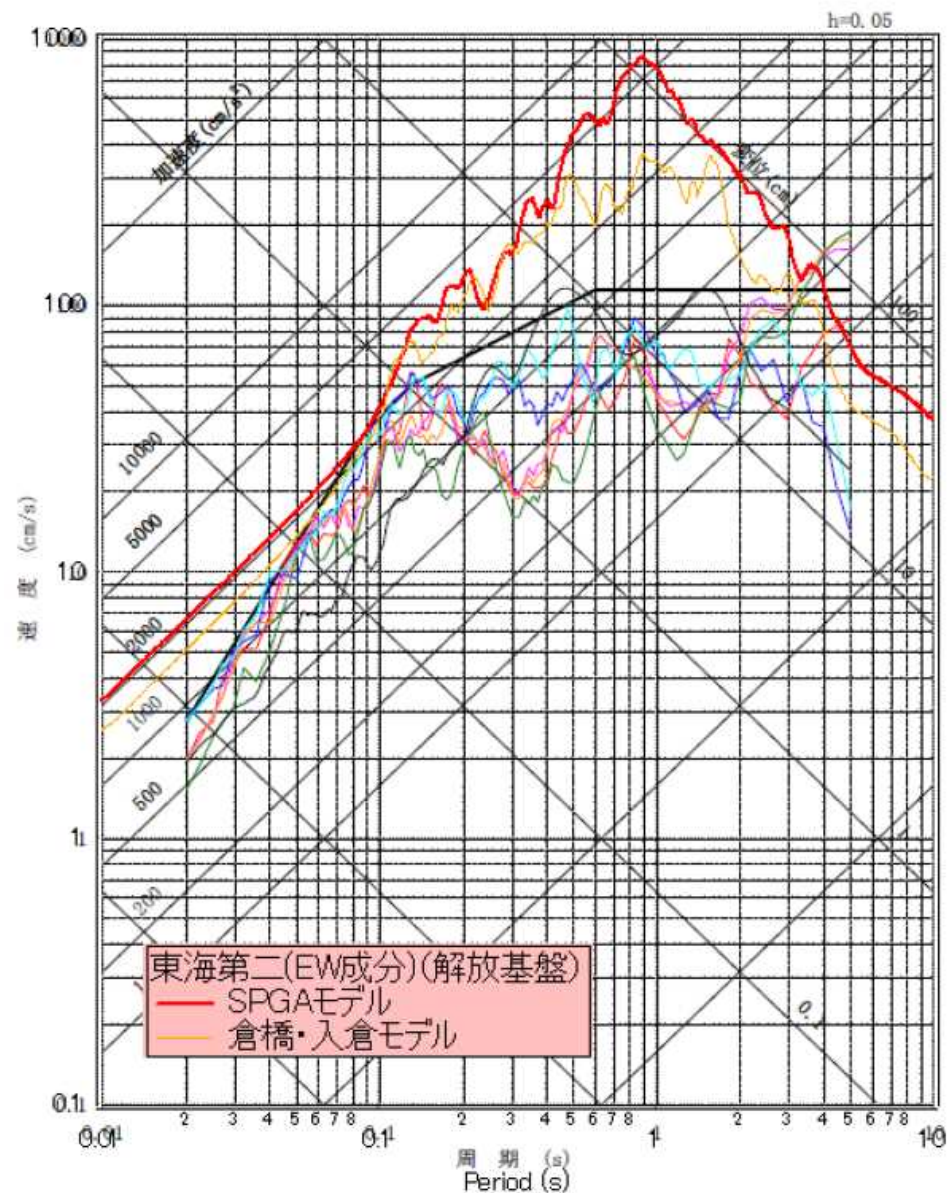
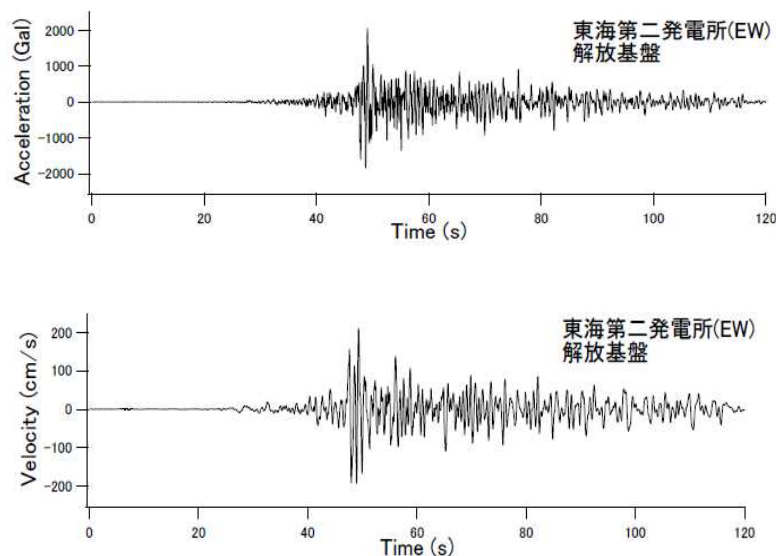


図 15 地震動の計算に用いた SPGA の位置

東北地方太平洋沖地震の知見を踏まえた東海第2原発を襲う可能性がある地震動



EW成分

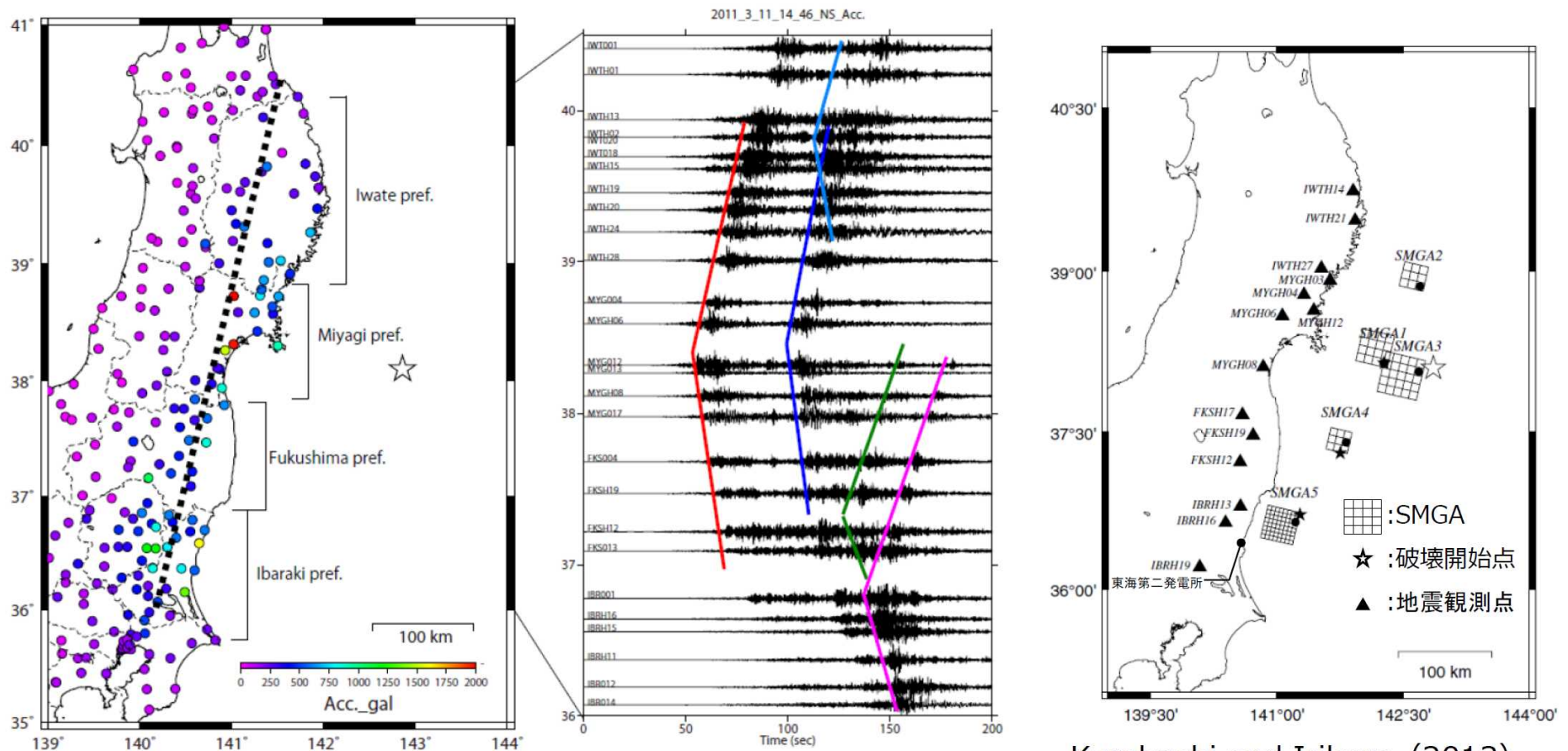
甲D194野津意見書

図 21 応答スペクトル (減衰定数 5%) のトリパタイト表示 (基準地震動との比較 EW 成分)

丙D159

基本震源モデルの設定－地震観測記録を説明する各研究者の震源モデルの知見①

○2011年東北地方太平洋沖地震では東北日本で多数の地震観測記録が得られており、この記録を再現する震源モデルが提案されている。



東北地方太平洋沖地震の地震観測記録

入倉・倉橋 (2012) より抜粋

Kurahashi and Irikura (2013)

による震源モデル (一部加筆)

SPGAモデルに対する反論1

・地震動評価手法については、野津氏らの提案するSPGAモデルに限らず様々なものが存在し、日々不断に研究が行われているのであって、新たな知見が公表されるたびに、当該知見の着目する範囲、当該知見の学会や実務における定着等を考慮することなく、直ちに地震動評価に反映しなければならないというものではない。(被告準備書面(10)121頁)

SPGAモデルに対する反論2

- ・SMGAモデルの代表的手法である強震動予測レシピは、複数の観測記録によって検証されているなど、信頼性は高く、多くの場面で実用されている実績のある手法である。
- ・内閣府に設置された南海トラフ検討会が策定した「最大クラスの地震・津波」の地震動評価において採用したモデルもSMGAモデルである(丙D48)。(被告準備書面(10)121頁)

SPGAモデルに対する反論3

- ・SPGAモデルによる強震動予測はほとんど実用されていない。

(被告準備書面(10)121頁)

(被告準備書面(10)124頁)

SPGAモデルに対する反論4

- ・SPGAモデルは、港湾の分野では岸壁に対して最も影響を及ぼしやすい周波数帯域は0.3～1Hz(約3秒～1秒)であるとされていることなどをあげて、主に1.0秒～5.0秒の周期帯(0.2～1Hzの周波数帯域)における強震動の特性に着目した検討を行っている。
- ・本件発電所を含む原子力施設における主要設備の固有周期は0.5秒以下であり、野津氏らの対象とする上記の周期帯とは異なる。
(被告準備書面(10)122頁)

SPGAモデルに対する反論5

原子力規制委員会も、

- ・SPGAモデルは、再現モデルであって、得られた観測データに対しては精緻なモデルであっても、モデル化過程に不確かさが大きく、基準地震動評価には適さない(甲D86平成30年度原子力規制委員会第32回会議議事録18頁)

- ・提案者(野津厚氏のこと)も論文で、SPGAの位置設定等が今後の課題とされていて、強震動予測のパッケージとして確立されていない(同8頁)

- ・まだ、規制に取り入れるだけの科学的・技術的な熟度に至っていない(同19頁)

と述べている(被告準備書面(10)122頁)

SPGAモデルに対する反論6

（甲D90川瀬博「震源近傍強震動の地下構造による増幅プロセスと構造物破壊能」）

「兵庫県南部地震のようなやや短周期の大速度パルスによって構造物が塑性化すれば、その弾性時固有振動数は意味を持たなくな」る、としつつも、「被害に直結する地震動特性の卓越すべき周波数帯域は1秒を中心とする狭い範囲（概ね2秒～2Hz）に限定されており、「これが震源域の地震動で最も警戒すべき「やや短周期域」の範囲である」としている。

・この範囲は、「原子力発電所の主要施設の固有周波数と異なる」（被告準備書面（10）124頁）

SPGAモデルに対する反論7

（丙D63川瀬博「海溝型巨大地震の強震動の特性と巨大剛構造物としての原子力発電所の応答」）

・剛構造設計のコンセプトに基づいて水平抵抗強度を付与することを主たる目的としている日本の耐震設計・耐震建築が、加速度が大きいだけのランダムな震動に対しては十分な抵抗力を持っており、一般構造物と同様に剛構造設計のコンセプトに基づいて設計された原子炉建屋については、設計レベルをある周波数で超えることが直ちに被害に結び付くわけではない（被告準備書面（10）125頁）

甲D194野津意見書

図2

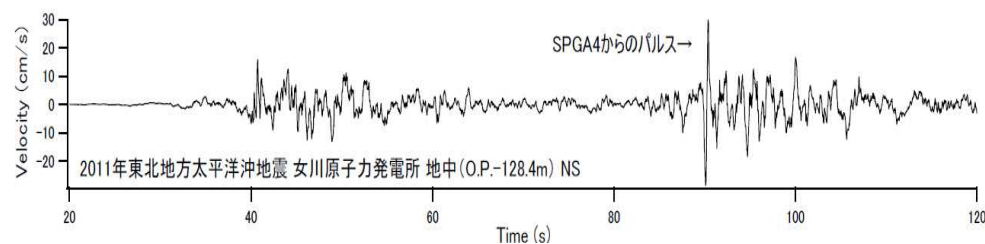
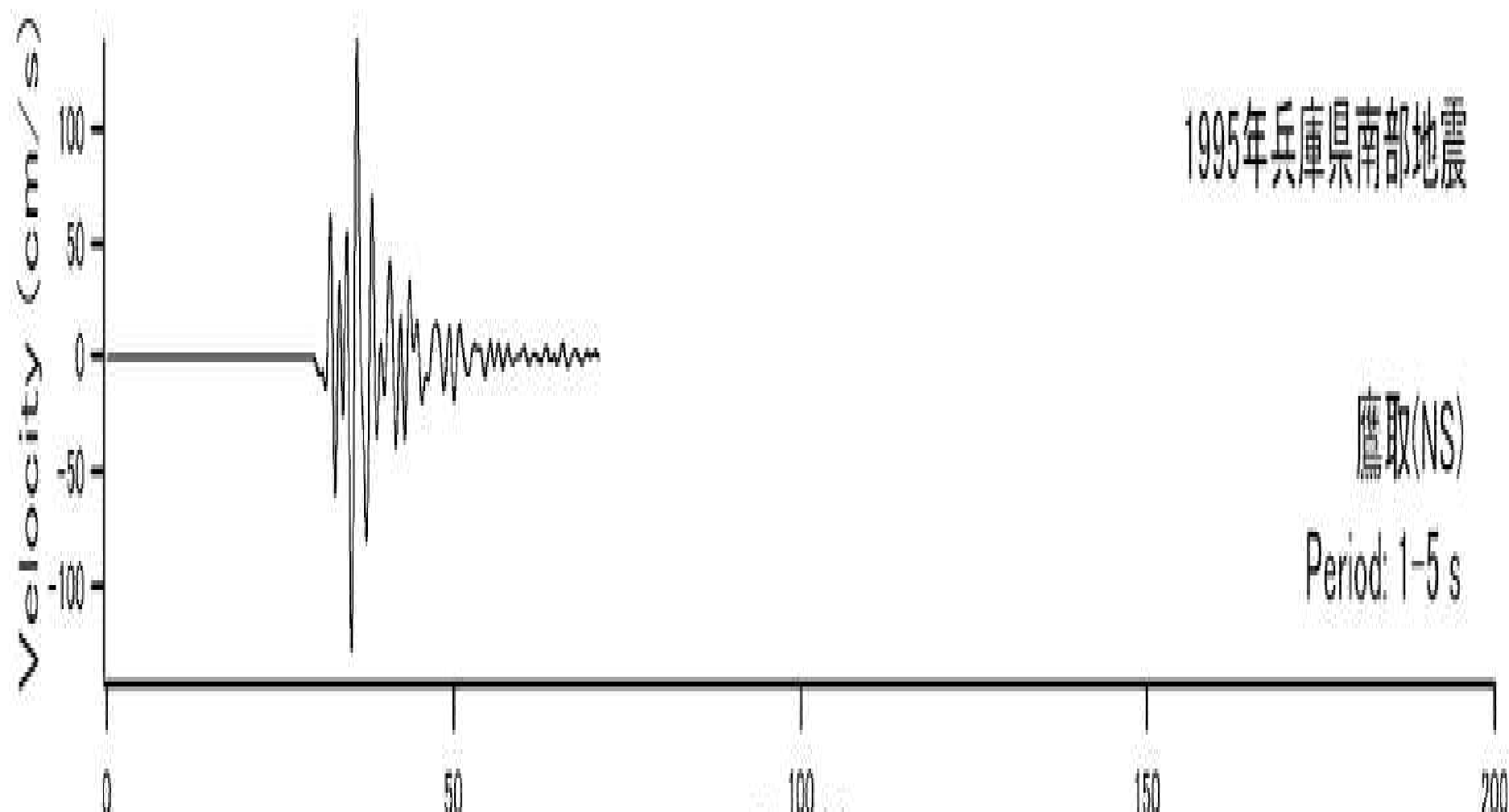
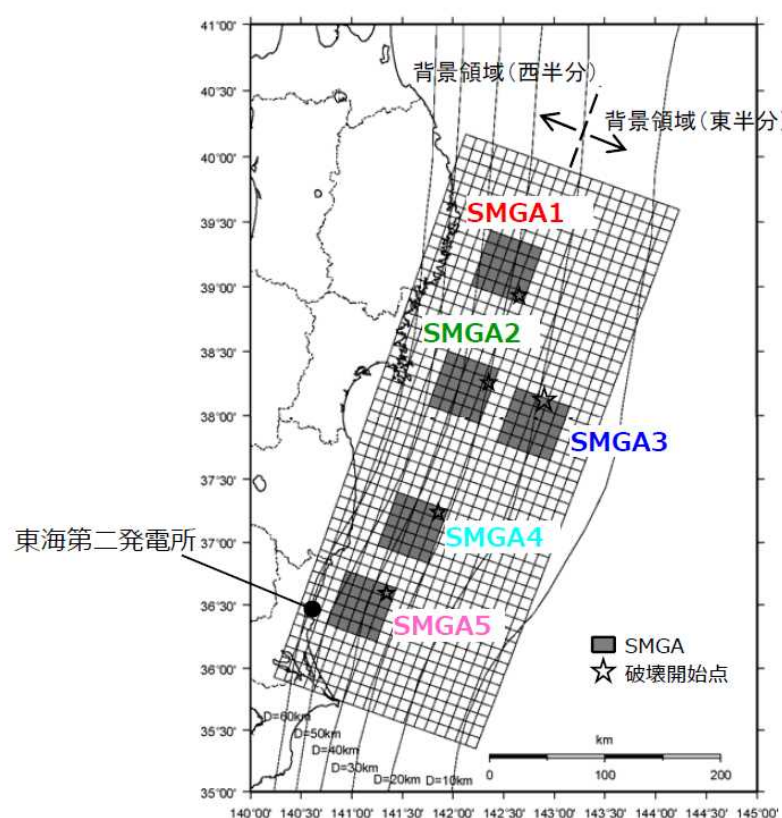


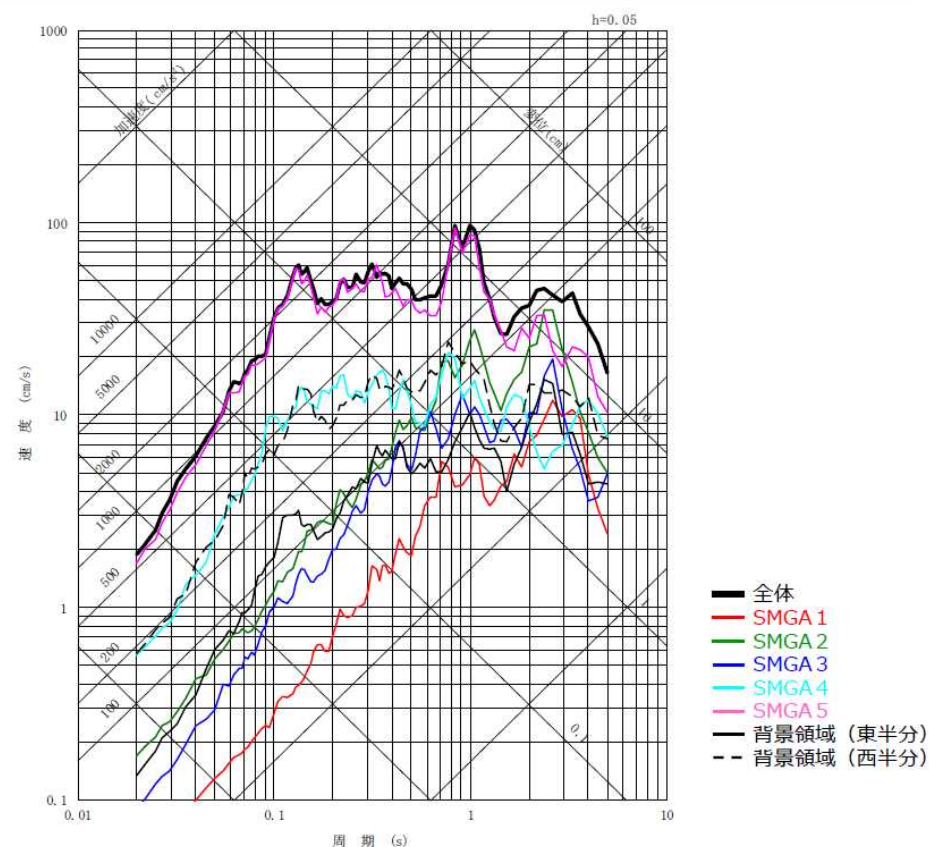
図7



- 各SMGAの本件発電所の解放基盤表面における揺れの強さを比較する。
- 南北に500kmと巨大な断層面であるが、敷地の地震動は茨城県沖のSMGA5でほぼ決まっている。
(他のSMGAは敷地の地震動にほとんど影響しない。)
- SMGA5の位置と短周期レベルが地震動評価上重要である。

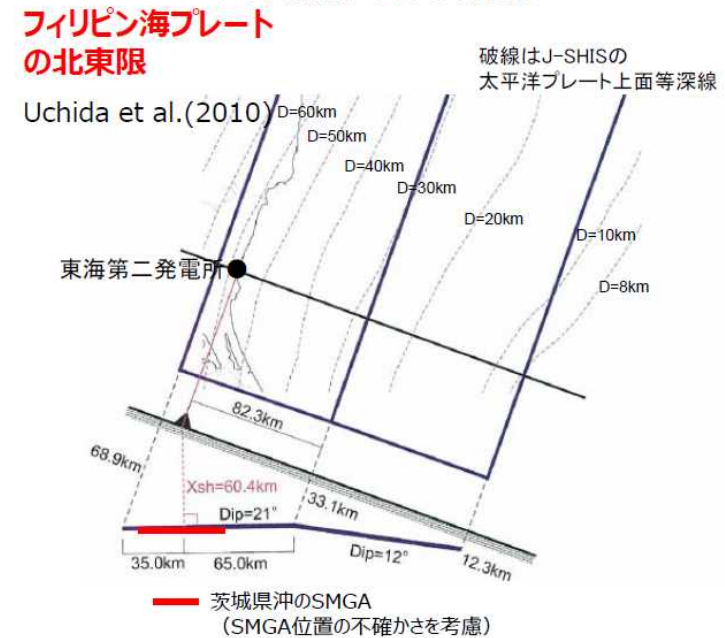
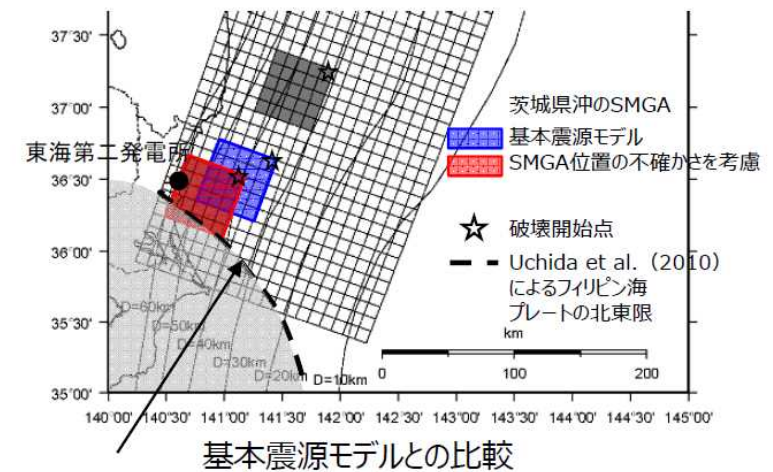


基本震源モデル



NS成分

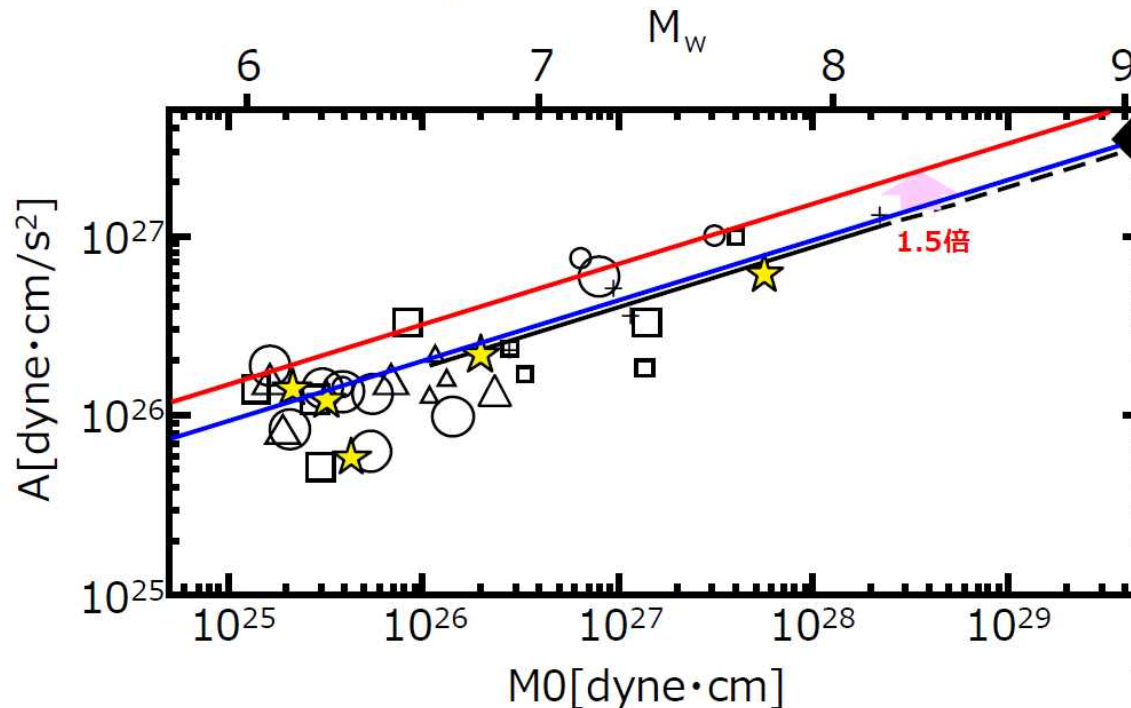
- 前述の通り、基本震源モデルのSMGA5の位置は、地震調査研究推進本部（2012）による茨城県沖で繰り返し発生する地震の領域や、他の研究者の震源モデルのSMGAに比べて本件発電所に近い位置としている。
- さらに、フィリピン海プレートの北東限が破壊のバリアとなるため、SMGA5がこれよりも敷地に近づくことは考えにくいが、敷地からの距離が最短となる位置までSMGA5を近づけたケースを考慮する。



SMGA位置（断面図）

○不確かさとして考慮する短周期レベルについては、太平洋プレートの領域で発生する地震の短周期レベルを概ねカバーするように基本震源モデルの1.5倍を考慮する。

- 基本震源モデルのA-M₀関係 — 短周期レベルの不確かさケースのA-M₀関係
- 太平洋プレートのプレート境界地震の平均（佐藤（2012））
- ◆ 東北地方太平洋沖地震（佐藤（2012）） + 北海道沖（片岡他（2006）） □ 岩手県沖（佐藤（2012））
- 岩手県沖（片岡他（2006）） ○ 宮城県沖（佐藤（2012）） ○ 宮城県沖（佐藤（2004）、Sato（2006））
- △ 福島県沖（佐藤（2012）） △ 福島県沖（片岡他（2006）） ★ 茨城県沖（佐藤（2012）） ★ 茨城県沖（片岡他（2006））



佐藤(2012)に基づき作成

佐藤（2012）における太平洋プレートのプレート間地震のAとM₀の関係

○SMGA位置、短周期レベルの不確かさを考慮した地震動評価を行う。

○さらに、これらの不確かさの重畳を考慮して安全側の評価とする。

評価ケース	地震規模	短周期レベル	SMGA位置	破壊開始点
基本震源モデル	Mw9.0	宮城県沖、福島県沖、茨城県沖で発生する地震の平均※1	過去に発生した地震の震源域を参考に配置	破壊が敷地に向かう位置に設定
SMGA位置の不確かさ	Mw9.0	宮城県沖、福島県沖、茨城県沖で発生する地震の平均※1	SMGA 5 を敷地に最も近い位置に移動	破壊が敷地に向かう位置に設定
短周期レベルの不確かさ	Mw9.0	基本震源モデルの1.5倍※2	過去に発生した地震の震源域を参考に配置	破壊が敷地に向かう位置に設定

不確かさの重畳を考慮して安全側の評価とする

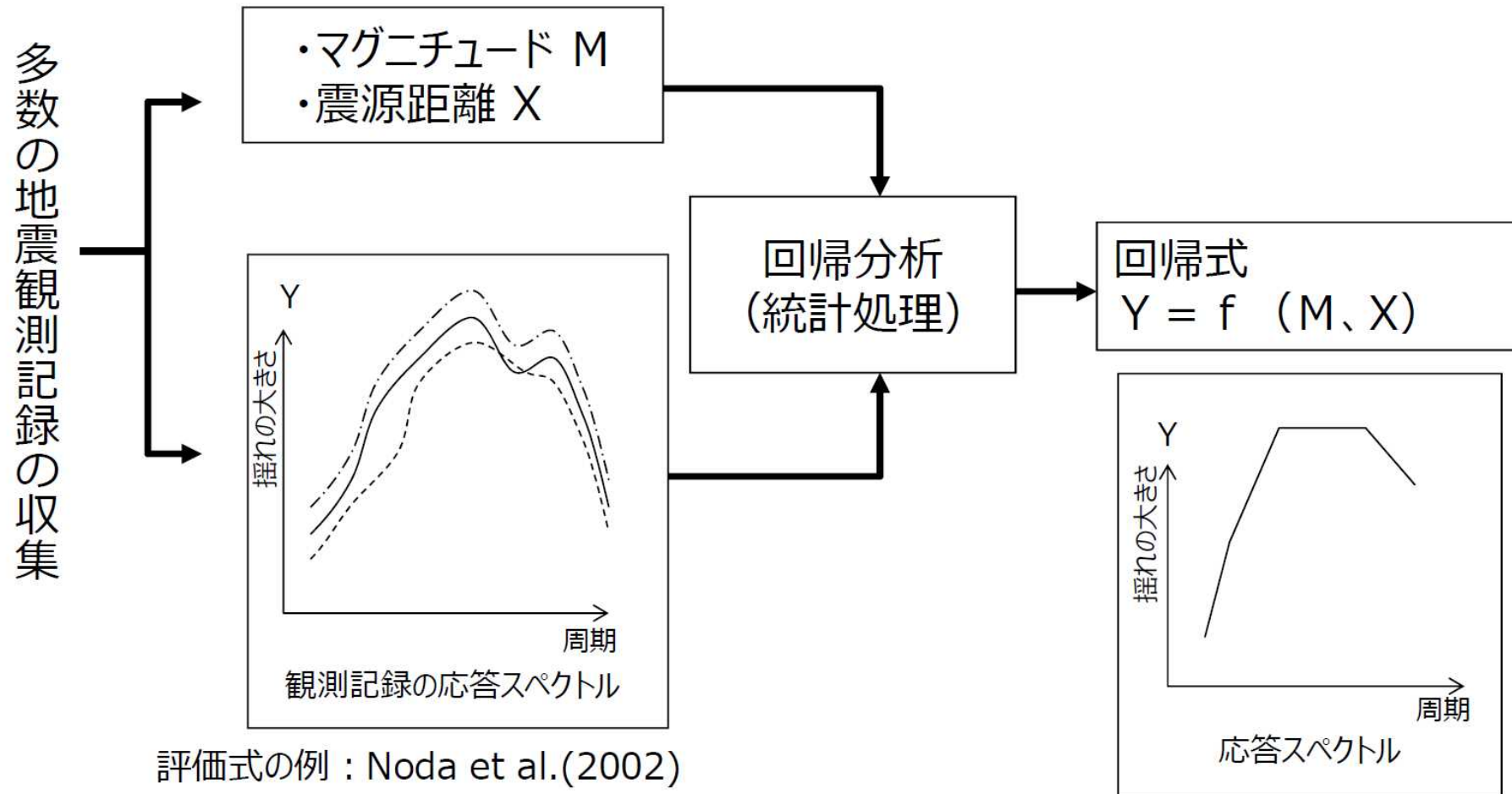
SMGA位置の不確かさと短周期レベルの不確かさの重畳	Mw9.0	基本震源モデルの1.5倍※2	SMGA 5 を敷地に最も近い位置に移動	破壊が敷地に向かう位置に設定
----------------------------	-------	----------------	----------------------	----------------

 不確かさを考慮して設定するパラメータ

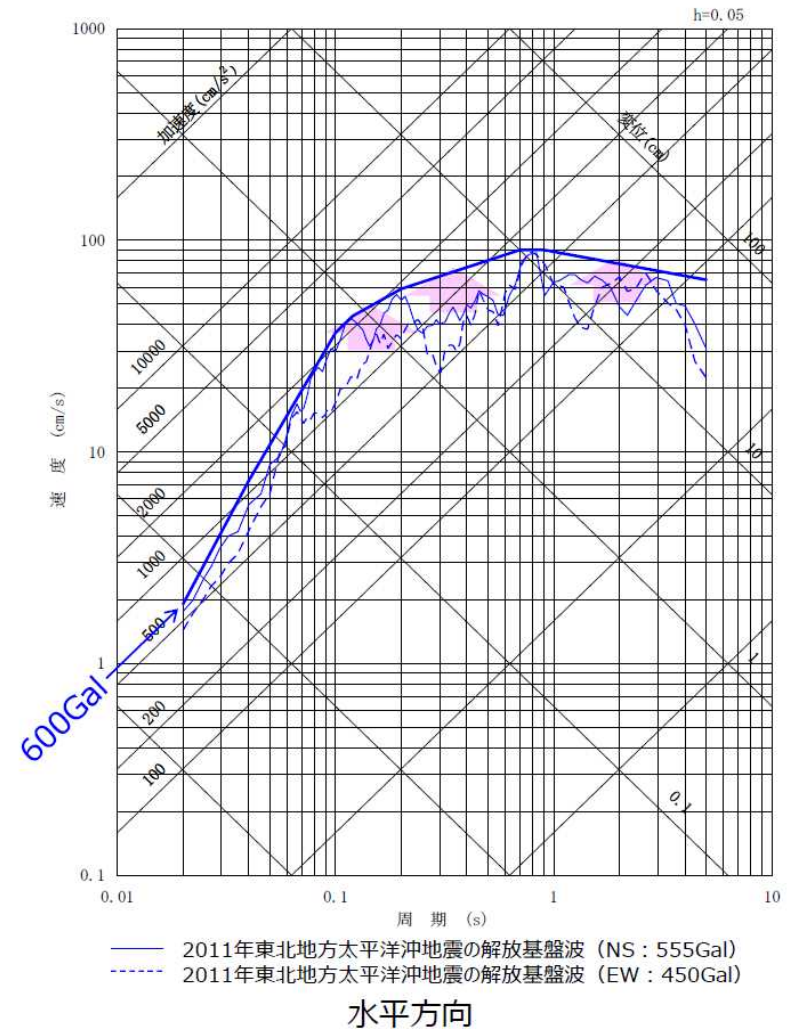
※1 茨城県沖で発生する地震に対しては大きめの設定となっている。

※2 すべてのSMGAの短周期レベルを1.5倍している。

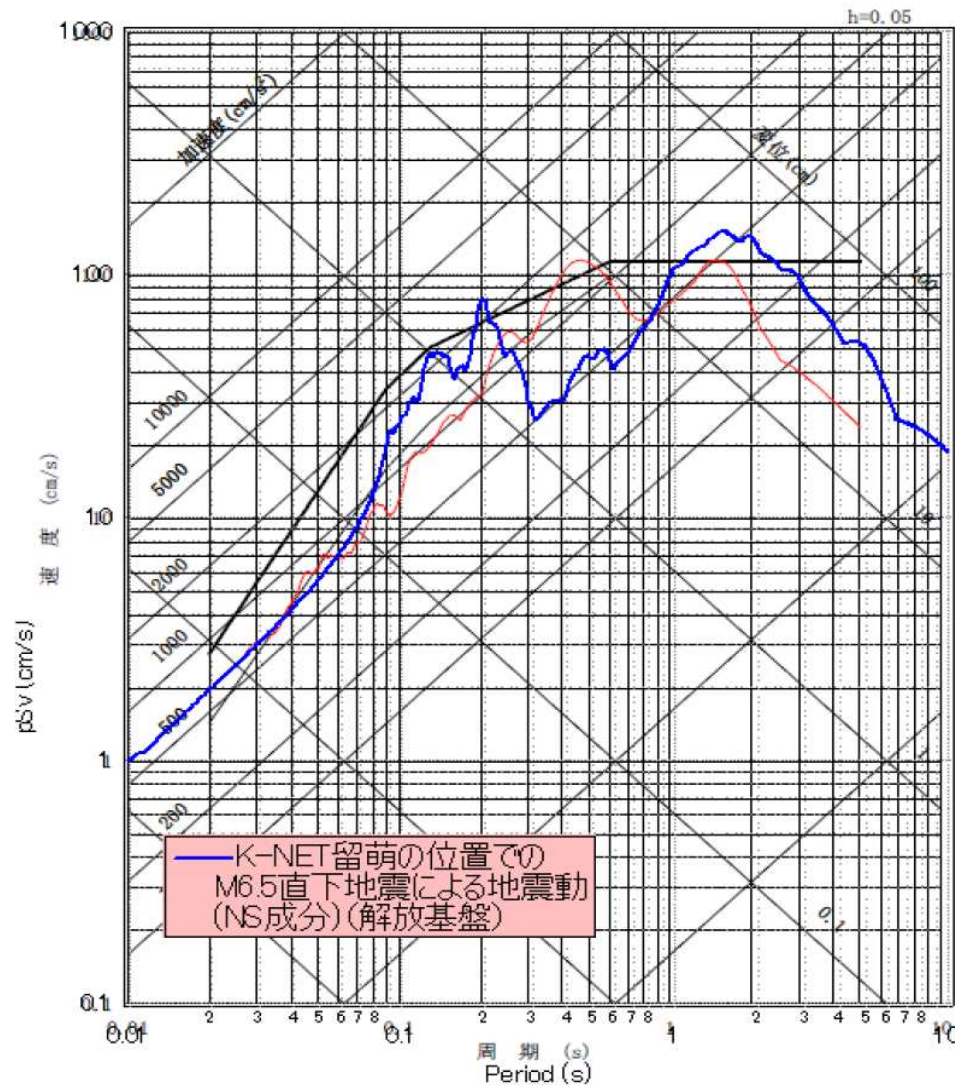
- 地震の規模：M（マグニチュード）、震源距離：Xと、その地震の応答スペクトルとの関係を多数の地震観測記録から回帰分析等により求めたもの。
- ただし、回帰に用いた地震のデータベース等に基づく適用範囲を吟味する必要がある。



- 実際に発生した地震の観測記録の応答スペクトルは、山となる周期や谷となる周期が不規則に並び、歪な形状である。本件発電所の敷地における東北地方太平洋沖地震も、こうした形状であり、周期帯ごとに大きな山谷がある。
- 周期帯全般に亘り、山となる周期をつないで谷となる周期帯を包絡させていることから、全体として、相応の保守性を備えている。



- Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動
- 加藤ほか(2004)による応答スペクトル



水平成分

震源を特定せず策定する地震動

甲D194野津意見書

図 22 応答スペクトル（減衰定数 5%）のトリパタイト表示
 （赤線で示す日本原子力発電が考慮している地震動との比較；NS 成分）

震源規模，震源距離が想定している地震動レベルと近く，地盤条件が良好である（基盤深度10m以内），大きな加速度が得られている記録を収集

甲D111の2の2

内陸活断層による地震（スペクトルII）

番号	地震名	発生年月日	Mj	Mw	記録数
1	兵庫県南部地震	1995/1/17 5:46	7.3	6.9	10
2	鳥取県西部地震	2000/10/06 13:30	7.3	6.8	34
3	新潟県中越地震	2004/10/23 17:56	6.8	6.7	22
4	新潟県中越地震(余震)	2004/10/23 18:34	6.5	6.4	24
5	福岡県西方沖地震	2005/3/20 10:53	7.0	6.7	30
6	能登半島地震	2007/3/25 9:42	6.9	6.7	10
7	新潟県中越沖地震	2007/7/16 10:13	6.8	6.6	22

計152記録

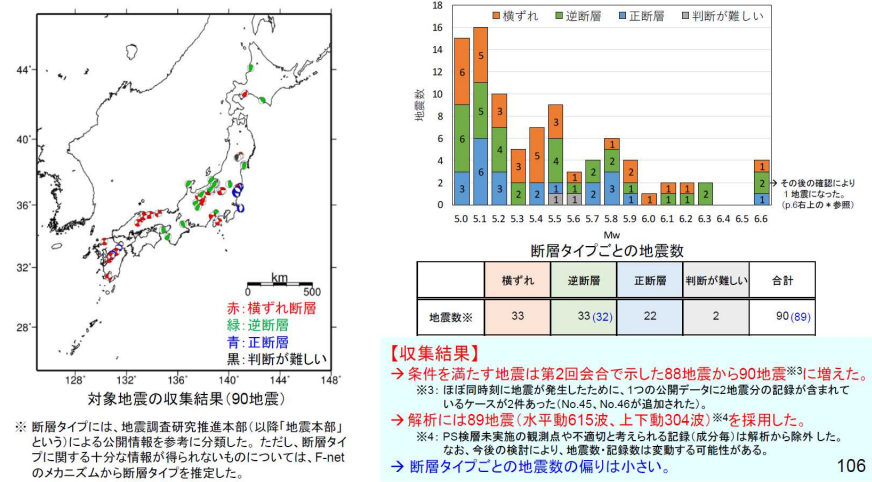
付録D：3. 観測地

対象地震一覧（1）
甲D116の2の2 資料2

（朱書き：予備検討で対象とした
審査ガイドに例示の9地震）

気

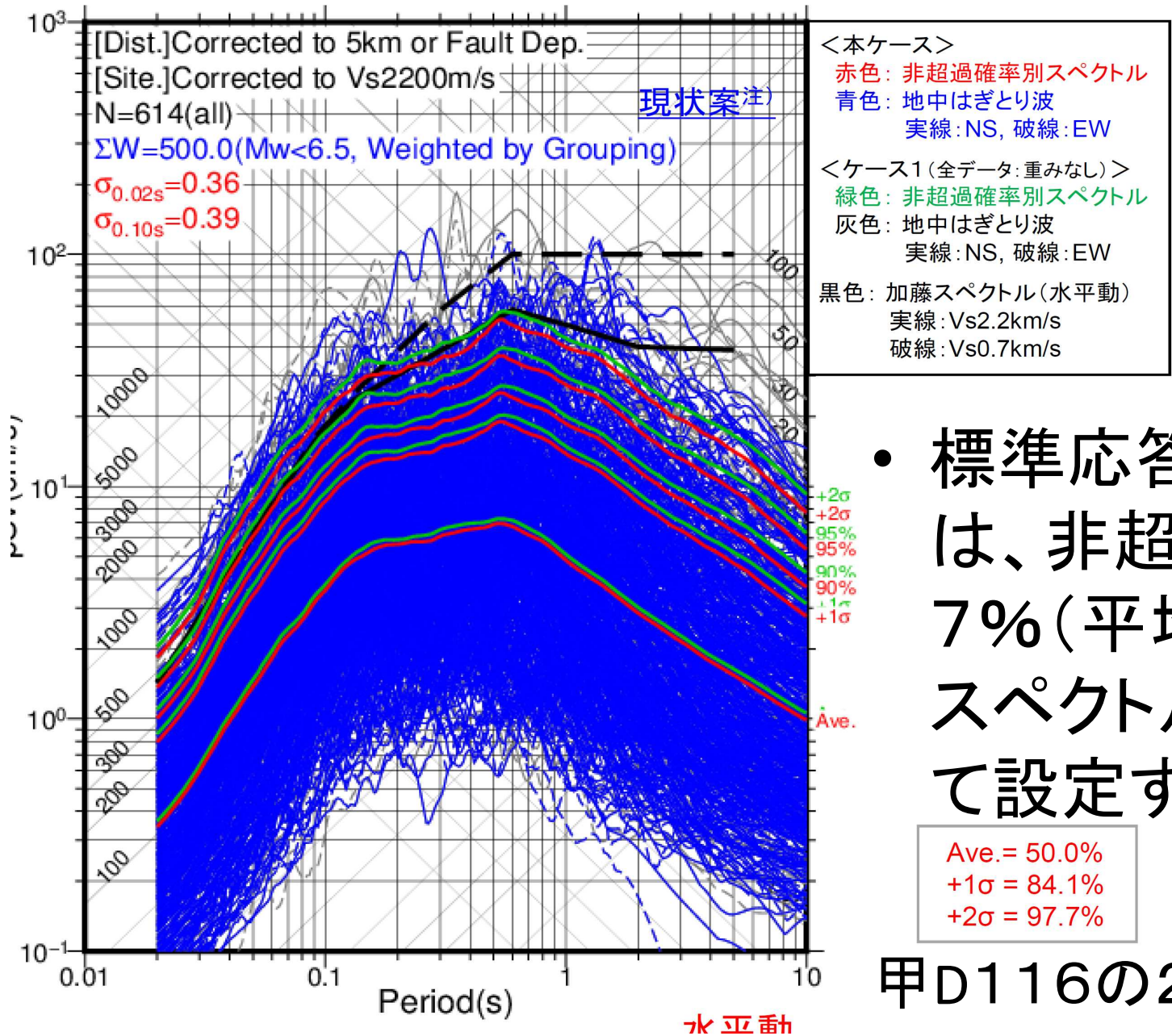
○地震規模： Mw5.0～6.6（F-netの震源メカニズム情報）
○震源深さ： 0～20km*（気象庁一元化震源） * 地殻内地震であることを気象庁資料を参考に確認。
○観測地震動記録： 震央距離30km以内にKiK-netによる記録がある



地震 No.	発生時刻	震央地名	緯度 (°)	経度 (°)	深さ (km)	Mj	Mw	M ₀ (N・m)	断層 タイプ
01	2000/10/06-13:30	鳥取県西部	35.2742	133.3490	8.96	7.3	6.6	8.62E+18	横ずれ
02	2000/10/08-13:17	鳥取県西部	35.1393	133.1502	6.80	5.6	5.1	4.65E+16	横ずれ
03	2000/10/08-20:51	鳥取県西部	35.3688	133.3107	8.30	5.2	5.0	3.11E+16	横ずれ
04	2001/01/04-13:18	新潟県中越地方	36.9565	138.7687	11.23	5.3	5.2	7.50E+16	逆断層
05	2001/01/12-08:00	兵庫県北部	35.4660	134.4900	10.59	5.6	5.2	7.11E+16	横ずれ
06	2001/03/31-06:09	栃木・群馬県境	36.8210	139.3750	4.73	5.2	5.0	3.28E+16	横ずれ
07	2002/09/16-10:10	鳥取県中・西部	35.3700	133.7393	9.64	5.5	5.1	5.43E+16	横ずれ
08	2003/07/26-00:13	宮城県北部	38.4345	141.1642	11.55	5.6	5.5	1.71E+17	逆断層
09	2003/07/26-07:13	宮城県北部	38.4050	141.1710	11.87	6.4	6.1	1.53E+18	逆断層
10	2003/07/26-16:56	宮城県北部	38.5003	141.1895	12.04	5.5	5.3	9.45E+16	逆断層

水平動

※重みをGroup A=1, B=1, **C=0**,
(グループ分けの詳細はp.7参照)



- 標準応答スペクトルは、非超過確率97.7% (平均+2 σ) のスペクトルに基づいて設定するという。

Ave. = 50.0%
+1σ = 84.1%
+2σ = 97.7%

「土木構造物の耐震基準等に関する第3次提言と解説」(土木学会)

- レベル2地震動を地震危険度レベルと定量的に関係づけて定義するには難しい面が多い.
- 兵庫県南部地震の際に経験したような活断層近傍の地震動を荷重評価に反映させるためには、確率論的地震危険度解析において1,000年のオーダーの再現期間を考慮する必要がある.
- しかしながら、過去の地震データが得られている期間や活断層データの精度から見て、このような低頻度の問題を確率論的地震危険度解析で扱うにはオーダーの評価が精一杯で、定量的にこれ以上細かい議論を行うには無理がある.
- 内陸活断層による地震の発生頻度と、陸地近傍で発生する大規模なプレート境界地震(関東地震や東海地震など)の発生頻度には大きな違いがある.
- 現時点ではこうした点をいかに解釈するかを含めて、レベル2地震動を確率論的な地震危険度レベルと定量づけて定義することにコンセンサスが得られているとはいえない.

確率論的地震危険度解析に過度の期待が 寄せられることへの危惧

独立行政法人港湾空港技術研究所 野津 厚

日本の地震学のホームグラウンドとも言える日本海溝で、M9の地震が発生してもおかしくない程度に応力とひずみが蓄積していることに、数十年もの間、誰も気付かなかった。このことは、確率論的地震危険度解析の現時点での実力を如実に示すものと言わざるを得ない。内陸に目を向けてみても、同じように、大地震が起きる直前の状態になっているにも関わらず、われわれ人間がそれに気付いていない場所はかなりあるだろう。現状の確率論的地震動予測地図で危険度が低いとされている場所でも、本来は赤い色に塗られるべき場所は少なくないはずである。

強震動地震学は原子力発電所の安全に寄与できるほどには成熟していない

・強震動研究およびそれに関連する研究分野では、これまでの数十年間、被害地震が起こる度に、それ以前の知見では予測できなかったような事態が生じ、それによって知見が塗り替えられてきています。言い換えればパラダイムシフトが繰り返し起きています。したがって、今後も、少なくとも数十年間程度は、それ以前の知見を覆すような事態が度々生じるであろうと考えられます。これが、「強震動研究はまだ原子力発電所の安全性の保証に活用できるほどには成熟していない」と考える理由です。

・したがって、強震動研究の成果を活用して原子力発電所の安全性の保証することは現段階では不可能であると考えます。

・しかし、それでもなお、原子力発電所の耐震検討に強震動研究の成果を活用しようとするのであれば、現状のパラダイムの下で想定される地震あるいは地震動を考えるだけでは不十分であり、物理的に確実に否定できるシナリオ以外のあらゆるシナリオを考えるべきであると考えられます。