

# 福島第一原子力発電所 福島第二原子力発電所

## 基準地震動Ssの策定について (参考資料)

平成21年7月22日  
東京電力株式会社



## 【本資料の構成】

### ■ 福島第一・福島第二サイト基準地震動 $S_s$ の策定に関する参考資料

【参考1】 耐専スペクトルのサイト補正係数

【参考2】 双葉断層（断層長さ37km）の地震動評価

【参考3】 他の距離減衰式による地震動評価

【参考4】 地震発生層の設定

【参考5】 地質調査結果等を踏まえた地下構造モデルの再構築

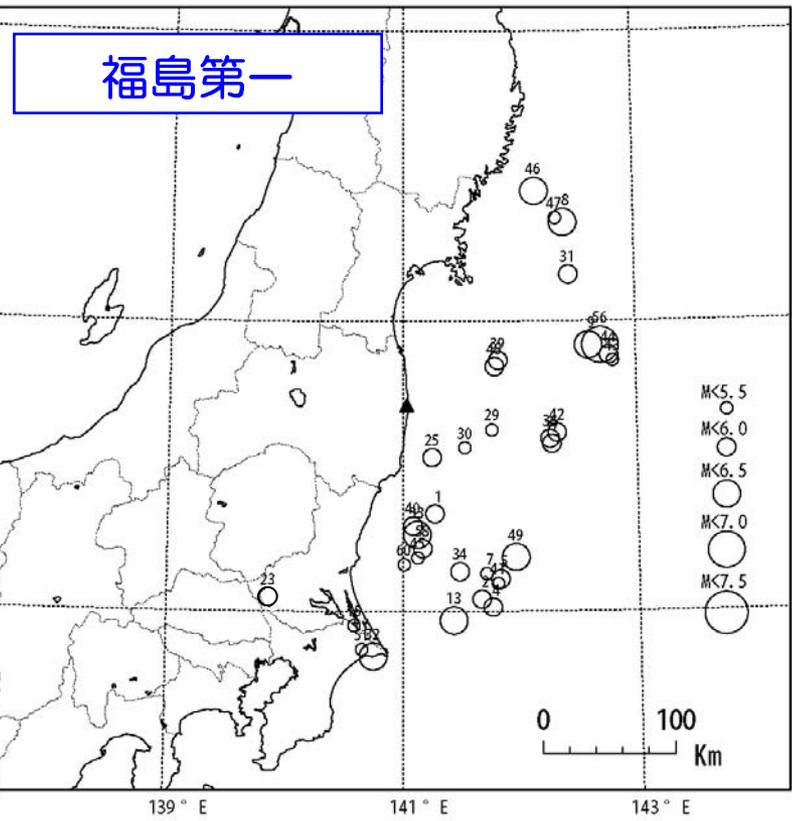
【参考6】 地震観測記録に基づく地下構造の影響評価

## 【参考1】耐専スペクトルのサイト補正係数

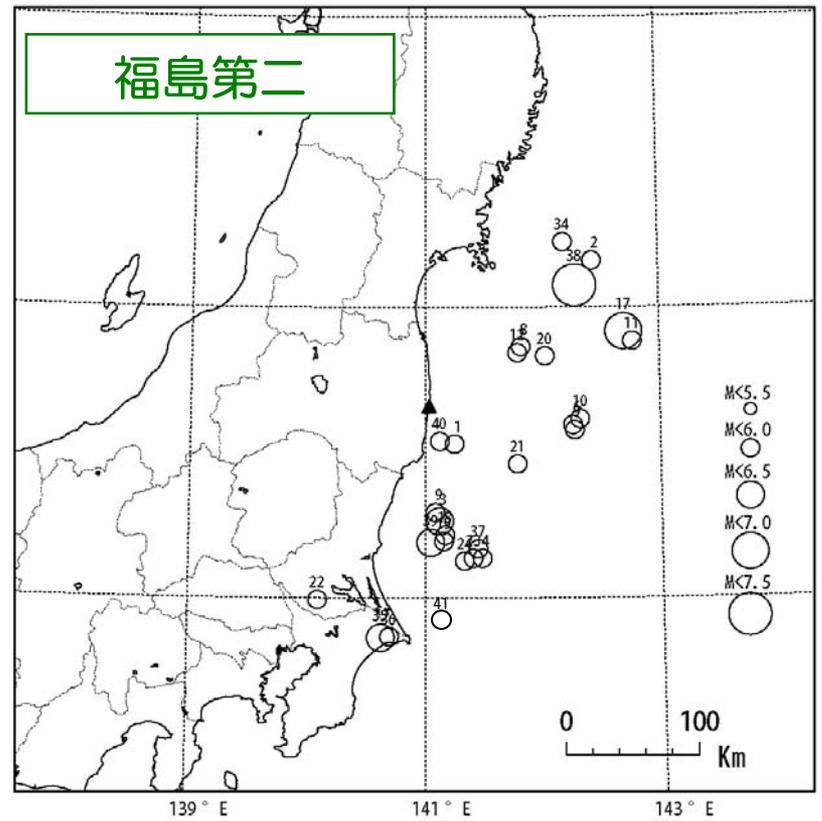
# プレート間地震のサイト補正係数

■ プレート間地震の耐専スペクトルによる評価で用いるサイト補正係数算定に用いた地震は以下のとおり。

( $M_j \geq 5.3$ ,  $X \leq 204\text{km}$ )  
1992年6月～2004年3月 34地震



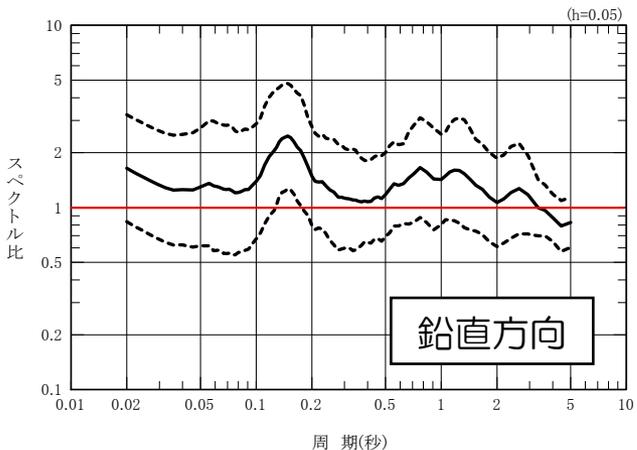
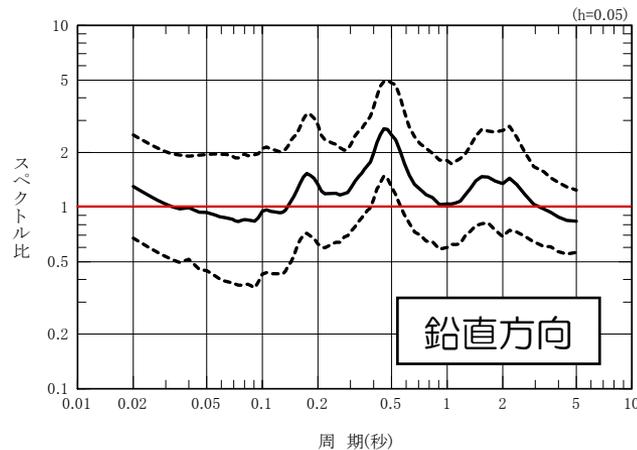
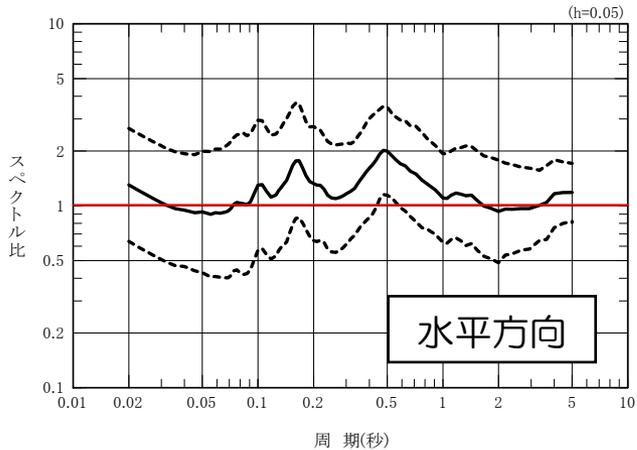
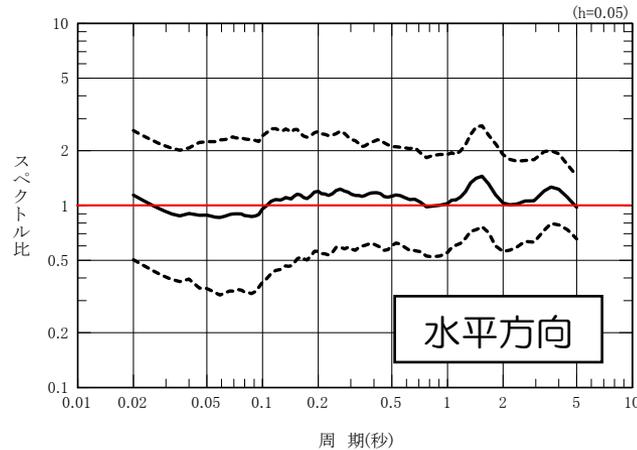
( $M_j \geq 5.5$ ,  $X \leq 200\text{km}$ )  
1997年3月～2005年10月 27地震



※上記のうち、両サイト共通で得られているのは13地震。

# プレート間地震のサイト補正係数

■観測記録に基づく解放基盤表面の地震動と耐専スペクトルとの残差を求め、耐専スペクトルによる評価で用いるサイト補正係数として採用。

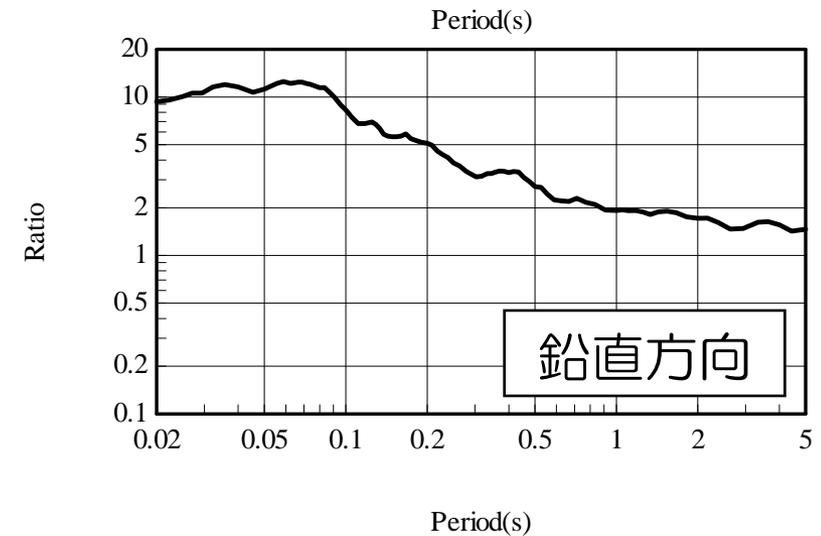
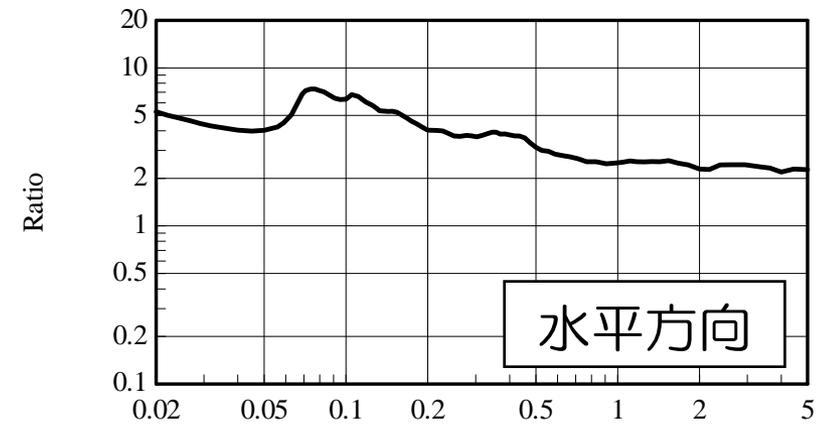
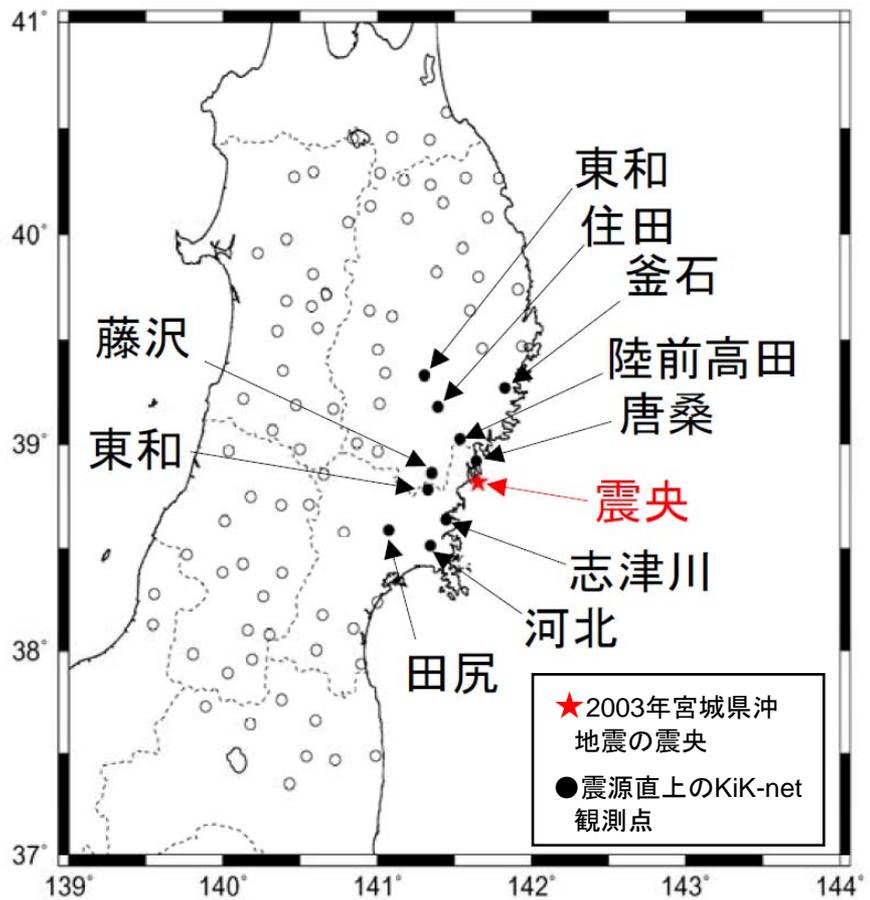


福島第一

福島第二

# 海洋プレート内地震のサイト補正係数

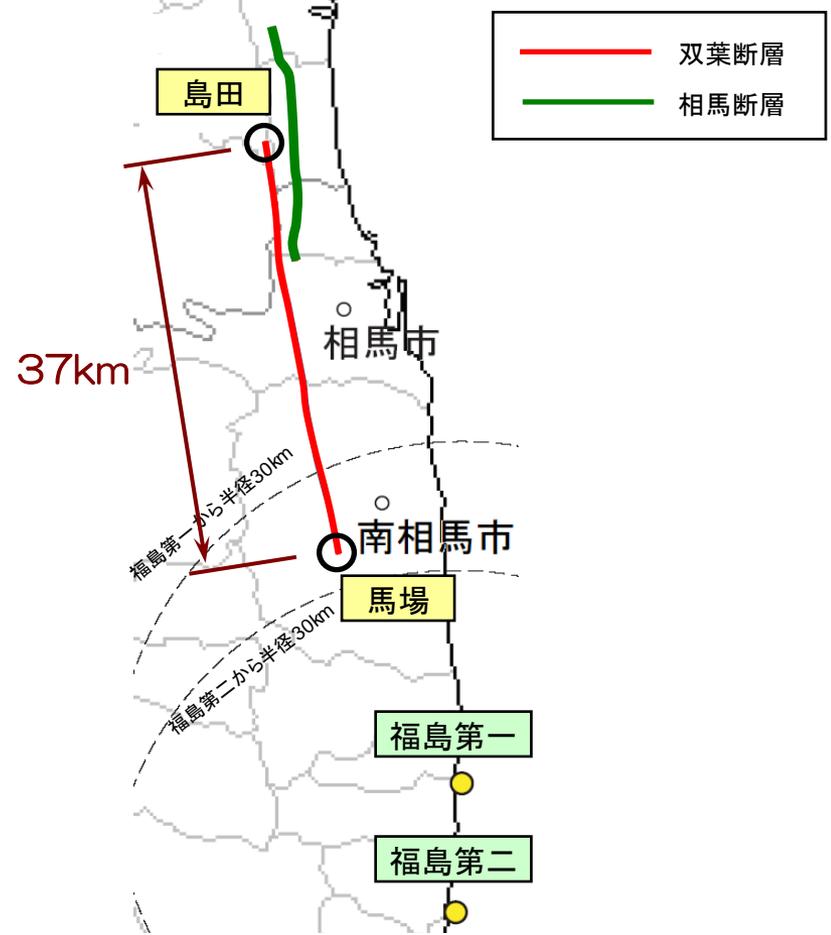
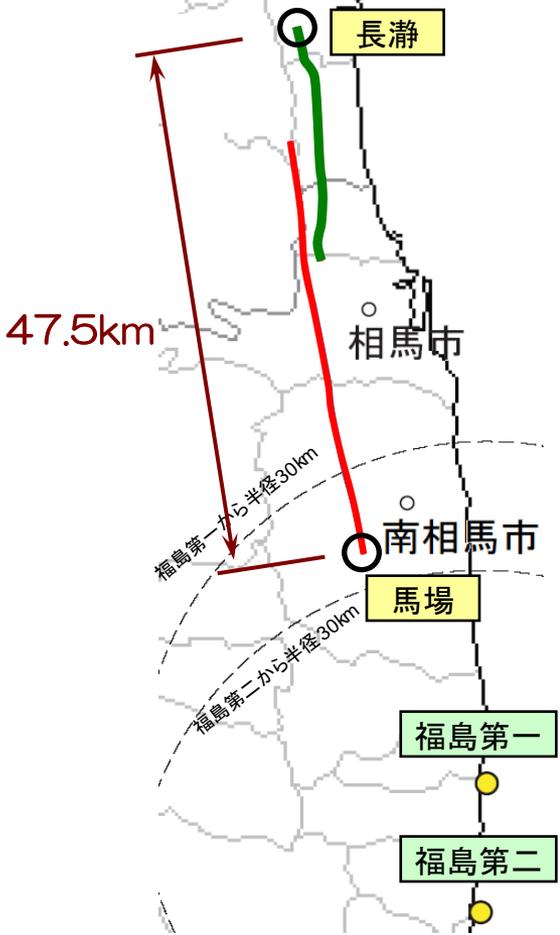
■ 2003年宮城県沖の地震（M7.1）の震源直上KiK-net観測点における記録と耐専スペクトルとの残差を、耐専スペクトルによる評価で用いるサイト補正係数として採用。



## 【参考2】双葉断層（断層長さ37km）の地震動評価

# はじめに

■ 中間報告後に実施した地質調査結果を踏まえ、双葉断層の北端を島田地点とした断層長さ37kmの場合について、基本震源モデルを対象としたハイブリッド法（統計的グリーン関数法+理論的手法）による地震動評価を行い、断層長さの見直しが地震動評価に及ぼす影響を把握する。



中間報告時（断層長さ47.5km）

今回（断層長さ37km）

# 基本と不確かさの整理

■ 中間報告後に実施した地質調査結果を踏まえた断層長さ37kmの場合の基本震源モデルと不確かさの考慮に関する検討ケースは、以下に示す断層長さ47.5kmの場合と同様の考え方にに基づき設定。

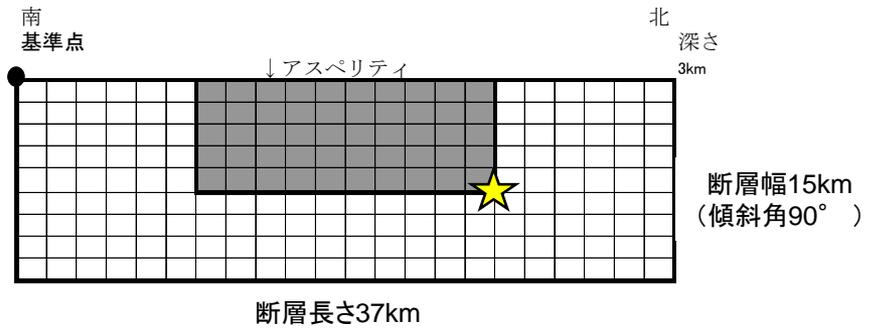
※【参考3】に示すとおり地震発生層の上端・下端深さはそれぞれ6km、18kmであるが、予め不確かさを考慮し、上端深さ3kmと仮定して断層幅を設定している。

No.	検討ケース	断層長さ L	断層幅 W*	傾斜角 $\delta$	破壊開始点	アスペリティ位置	応力降下量
1	基本震源モデル	37km	15km	90°	アスペリティ端部	断層中央上端	強震動予測レシピア
2	破壊開始点の不確かさ考慮	37km	15km	90°	巨視的断層面端部	断層中央上端	強震動予測レシピア
3	アスペリティ位置の不確かさ考慮	37km	15km	90°	アスペリティ端部	発電所に至近の位置	強震動予測レシピア
4	断層傾斜角の不確かさ考慮	37km	16km	70°	アスペリティ端部	断層中央上端	強震動予測レシピア
5	応力降下量の不確かさ考慮	37km	15km	90°	アスペリティ端部	断層中央上端	強震動予測レシピア×1.5

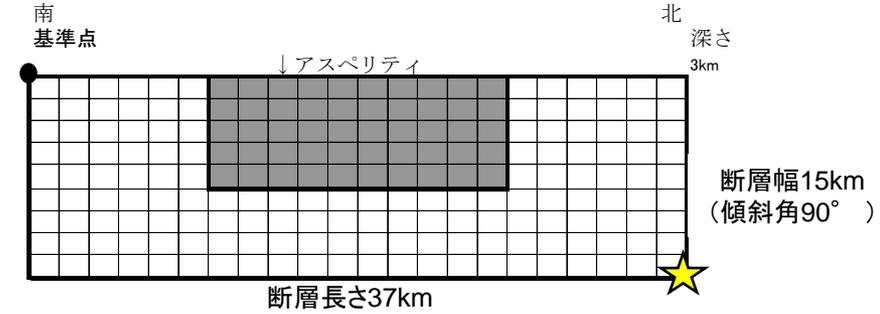
- : 今回報告
- : 今回は、基本震源モデルの評価結果を係数倍することにより影響を把握し、最終報告までに断層モデルによる評価結果を実施
- : 従来の断層長さ47.5kmの地震動評価結果より基準地震動Ssに及ぼす影響は小さいと考えられるが、最終報告までに断層モデルを用いた評価を実施

# 基本と不確かさの整理

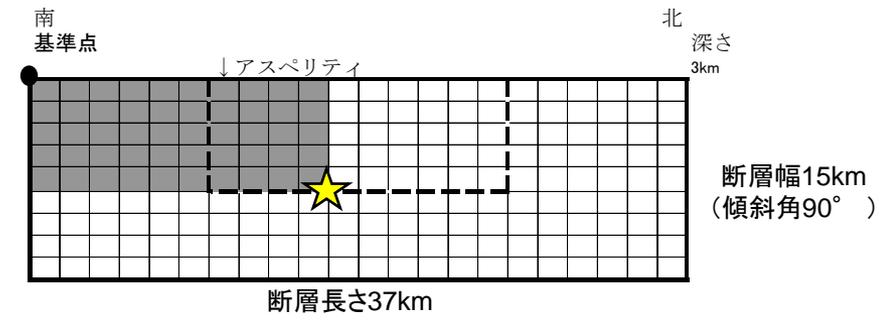
## 基本震源モデル 応力降下量の不確かさ考慮モデル



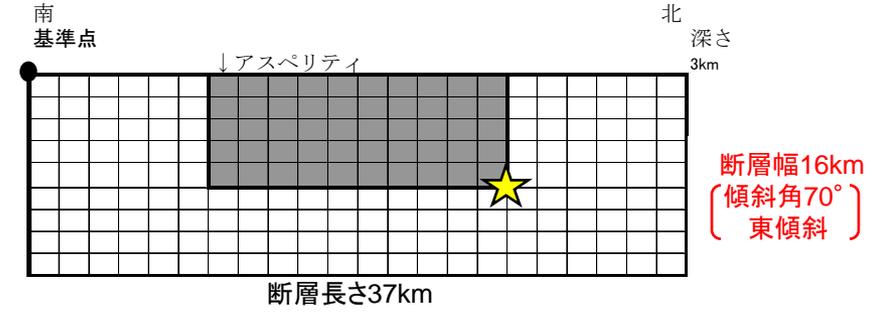
## 破壊開始点の不確かさ考慮モデル



## アスペリティ位置の不確かさ考慮モデル



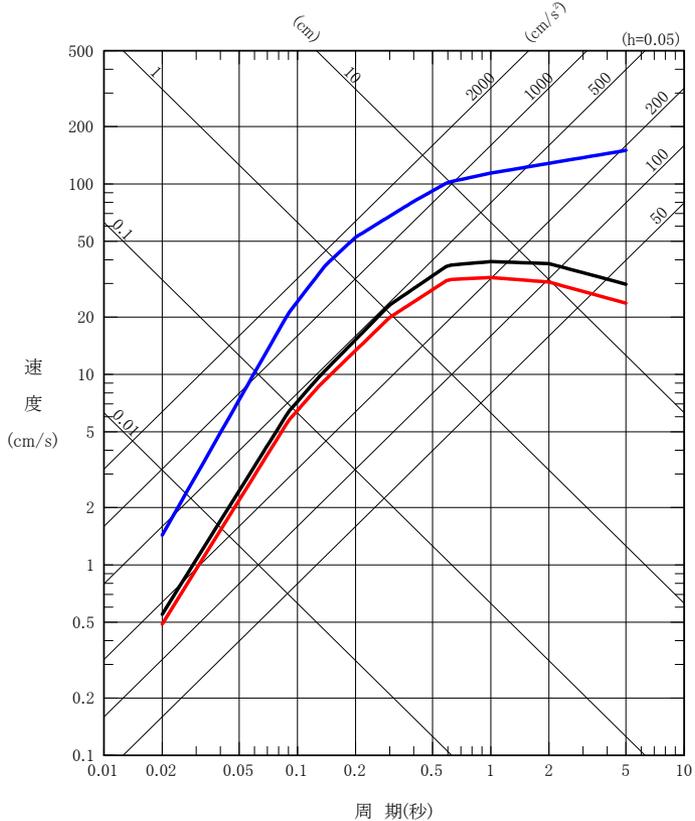
## 断層傾斜角の不確かさ考慮モデル



# 基本震源モデル（断層長さ37km）の地震動評価結果

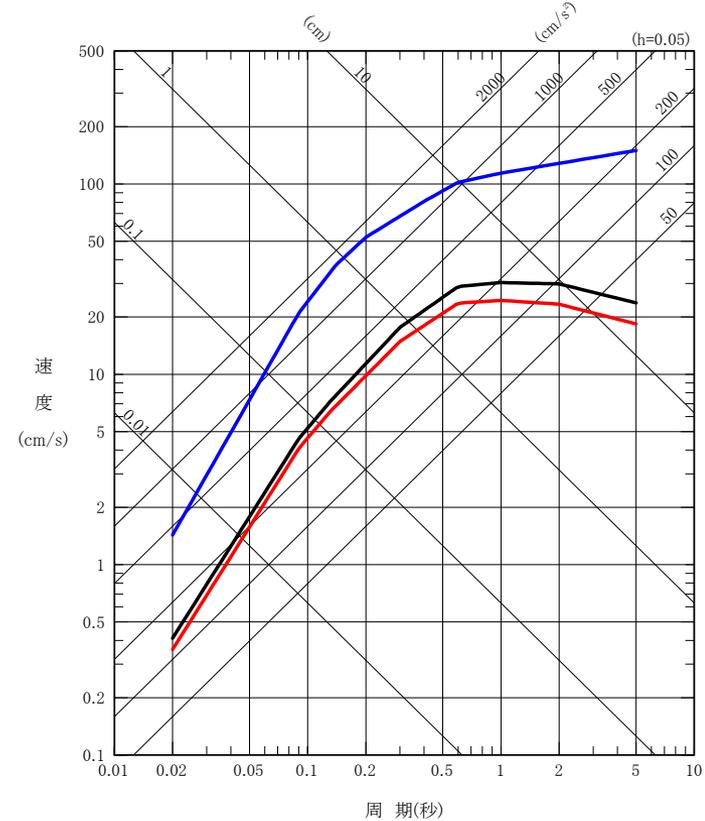
## 耐専スペクトルによる地震動評価結果（水平方向）

- 断層長さ47.5km (M7.6, Xeq=43km)
- 断層長さ37km (M7.4, Xeq=40km)
- 基準地震動Ss-1H



福島第一

- 断層長さ47.5 km (M7.6, Xeq=55km)
- 断層長さ37km (M7.4, Xeq=51km)
- 基準地震動Ss-1H



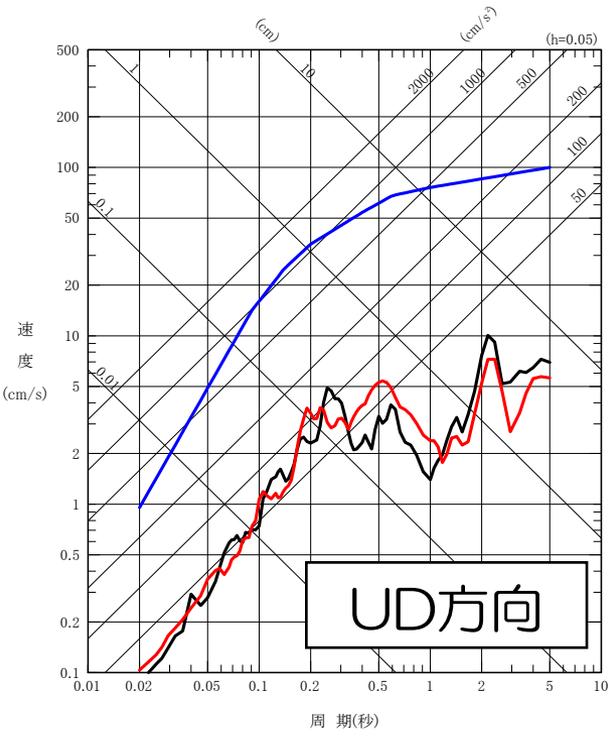
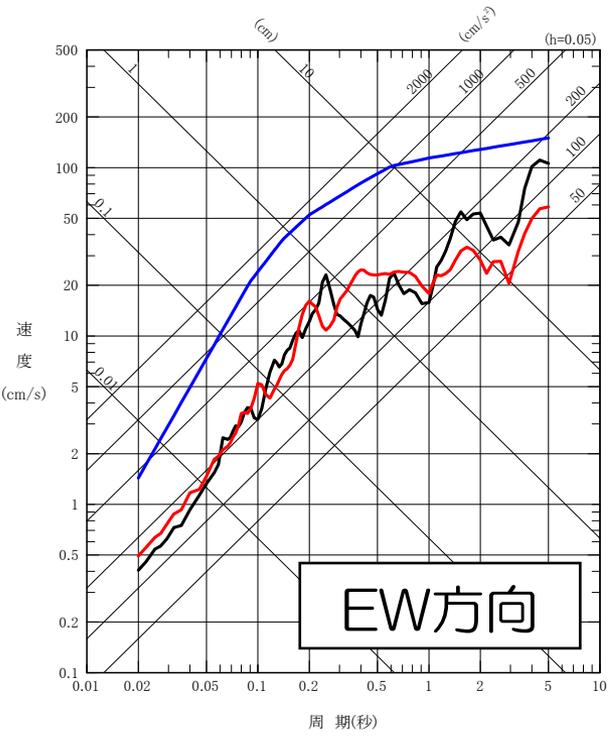
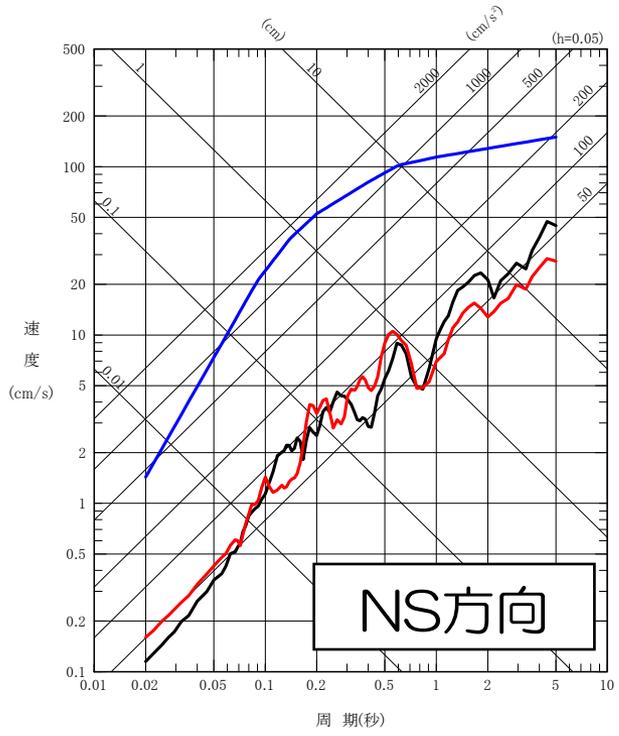
福島第二

# 基本震源モデル（断層長さ37km）の地震動評価結果

## 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

福島第一

- 断層モデル（ハイブリッド法） 断層長さ47.5km 【参考】
- 断層モデル（ハイブリッド法） 断層長さ37km
- 基準地震動Ss-1H, Ss-1V



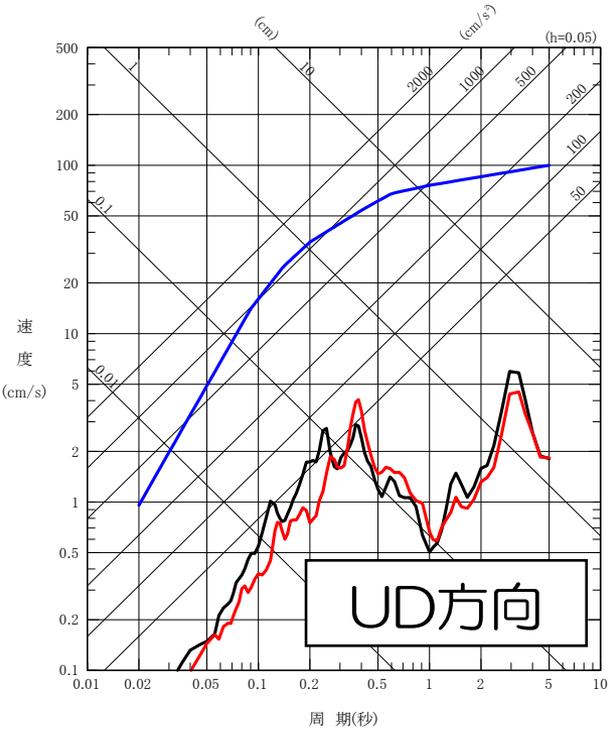
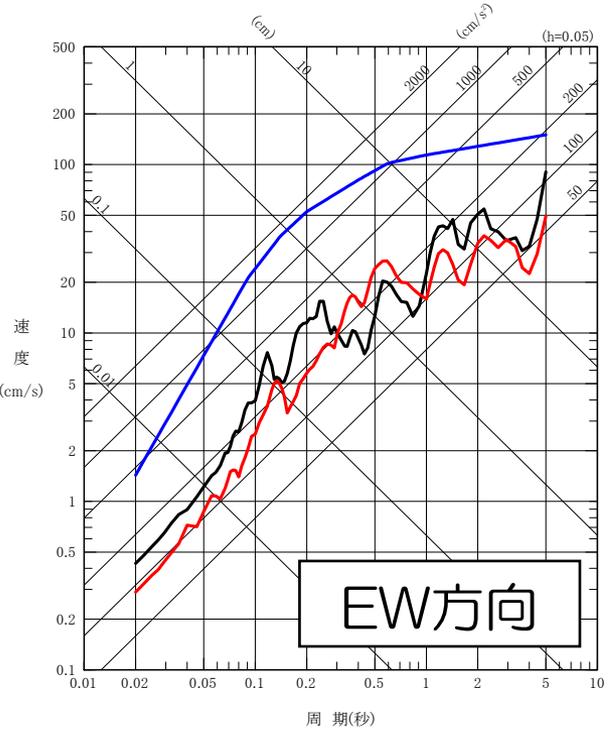
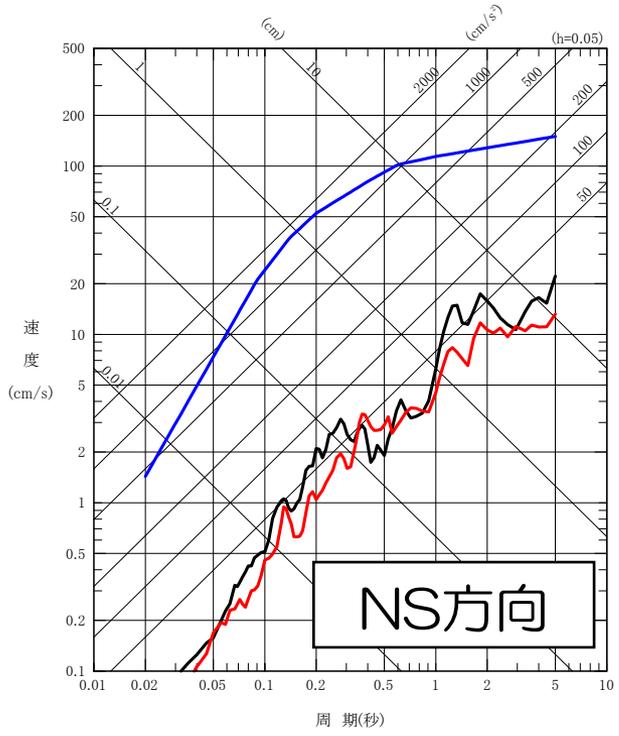
※いずれも【参考4】に示す速度構造モデル見直し後の評価結果。

# 基本震源モデル（断層長さ37km）の地震動評価結果

## 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

福島第二

- 断層モデル（ハイブリッド法） 断層長さ47.5km 【参考】
- 断層モデル（ハイブリッド法） 断層長さ37km
- 基準地震動Ss-1H, Ss-1V



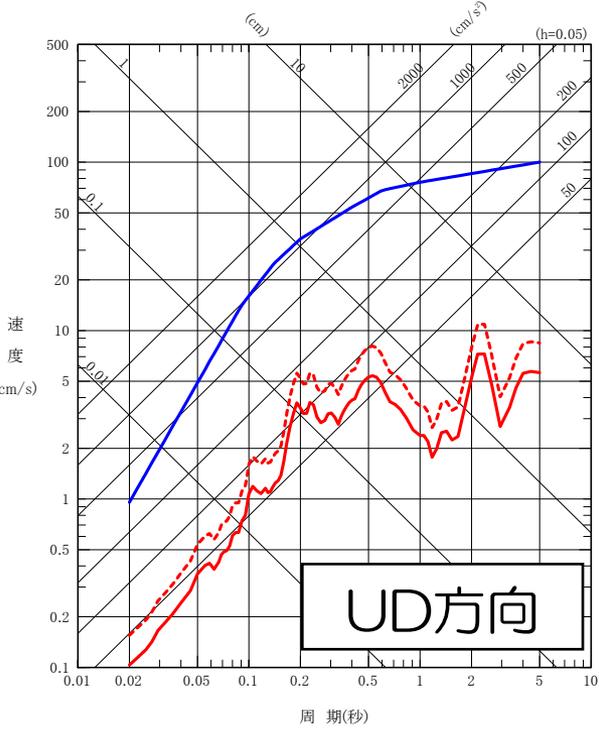
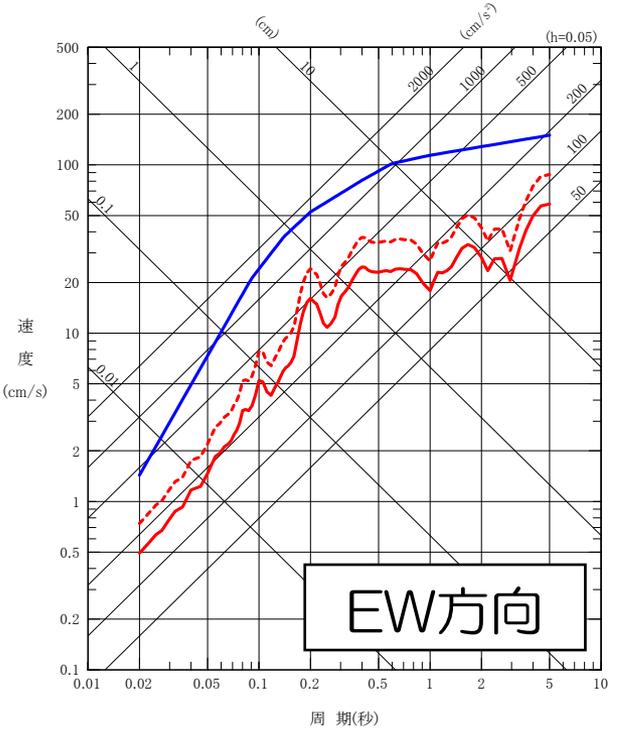
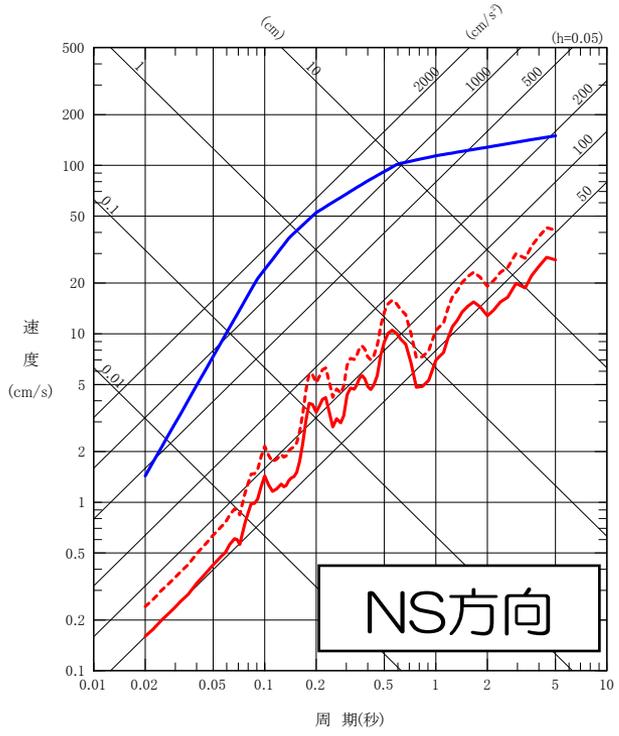
※いずれも【参考4】に示す速度構造モデル見直し後の評価結果。

# 応力降下量1.5倍による影響の確認

■ 中越沖地震の知見を反映し、応力降下量の不確かさとして1.5倍を考慮した場合の影響を把握するため、簡易評価として基本震源モデルの評価結果を1.5倍し、基準地震動Ss-1との比較を行った結果は以下のとおり。

## 福島第一

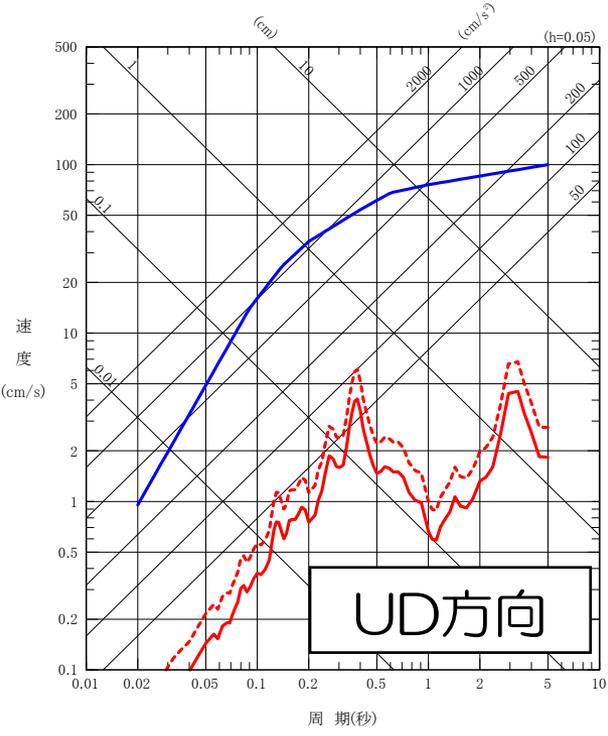
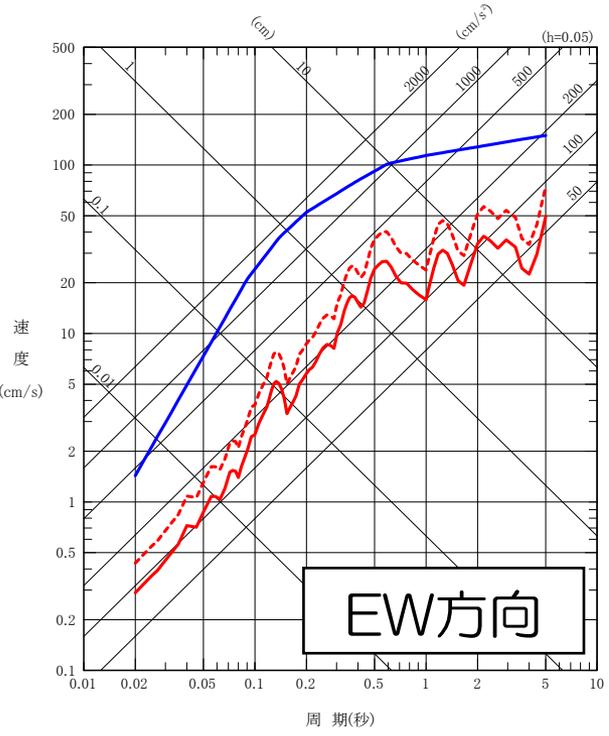
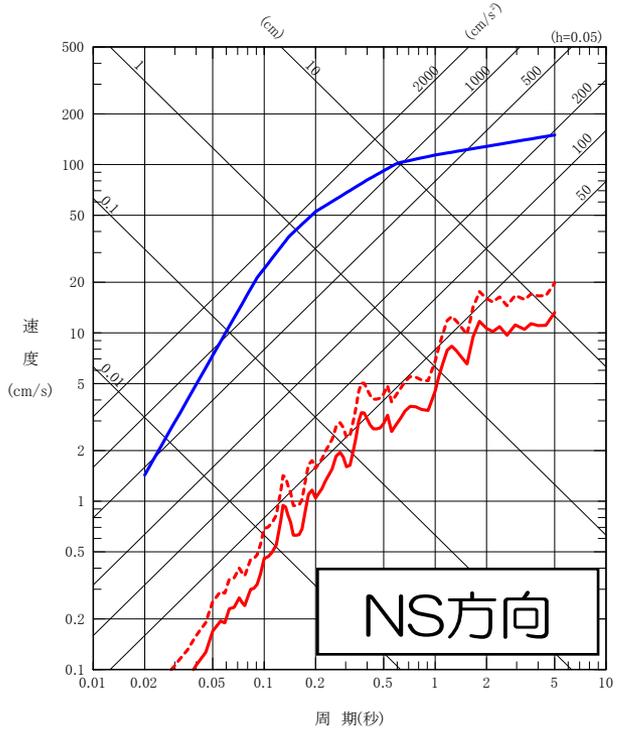
- 断層モデル (ハイブリッド法) 断層長さ37km・基本震源モデル
- - - 断層モデル (ハイブリッド法) 断層長さ37km・基本震源モデル×1.5倍【簡易評価】
- 基準地震動Ss-1H, Ss-1V



# 応力降下量1.5倍による影響の確認

## 福島第二

- 断層モデル (ハイブリッド法) 断層長さ37km・基本震源モデル
- - - 断層モデル (ハイブリッド法) 断層長さ37km・基本震源モデル×1.5倍【簡易評価】
- 基準地震動Ss-1H, Ss-1V



# 双葉断層（断層長さ37km）の地震動評価に関するまとめ

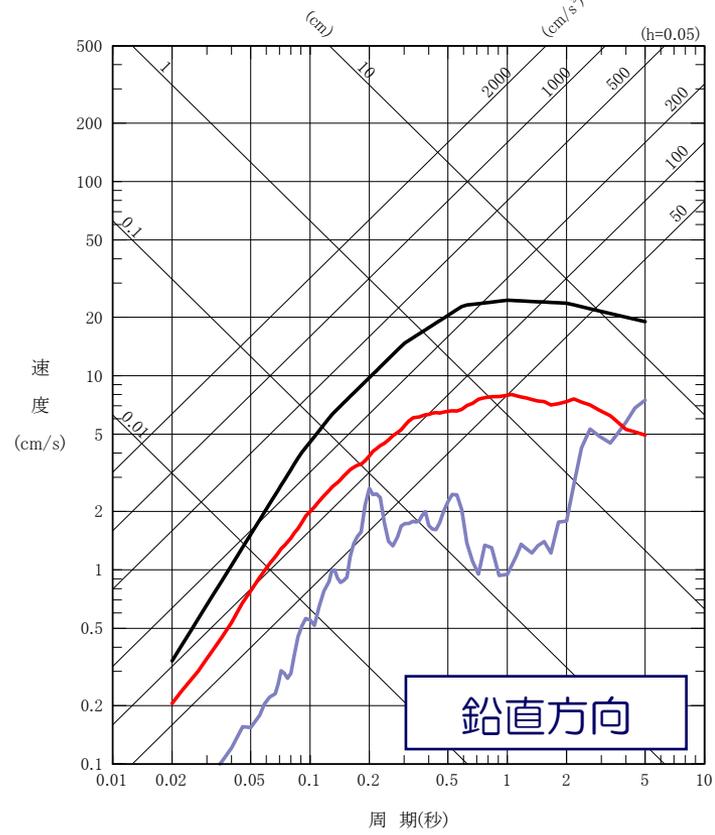
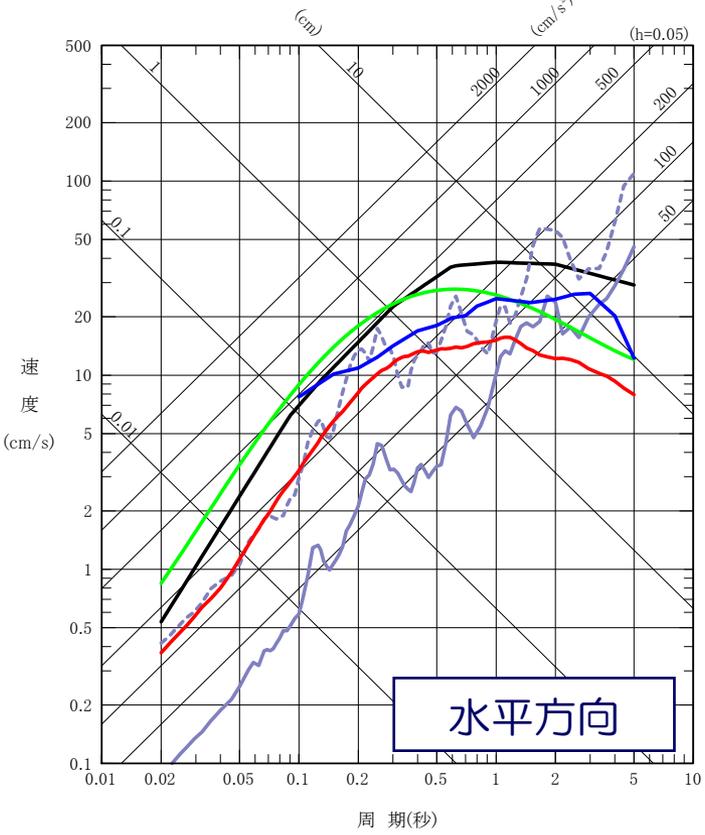
- 中間報告後に実施した地質調査結果を踏まえ、双葉断層の北端を島田地点とした断層長さ37kmの場合について、基本震源モデルを対象としたハイブリッド法（統計的グリーン関数法＋理論的手法）による地震動評価を実施した。
- その結果、断層長さ37kmの場合と47.5kmの場合で地震動評価結果に大きな差はみられないことを確認した。
- また、中越沖地震の知見を反映して応力降下量を1.5倍とした場合の影響を把握するため、簡易評価として基本震源モデルの評価結果を1.5倍した場合においても、策定した基準地震動 $S_s-1$ を上回らないことを確認した。
- なお、断層長さ37kmの基本震源モデルに対する破壊開始点・アスペリティ位置・断層傾斜角及び応力降下量の不確かさが基準地震動 $S_s$ に及ぼす影響は、従来の断層長さ47.5kmの地震動評価結果より小さいと考えられるが、最終報告までに断層モデルを用いた評価を実施していく。

## 【参考3】他の距離減衰式による地震動評価

# 内陸地殻内地震

## 他の距離減衰式との比較（福島第一，基本震源モデル）

- 耐専スペクトル (M7.6, Xeq=43km)
- 断層モデル (ハイブリッド法, NS方向及びUD方向)
- - - 断層モデル (ハイブリッド法, EW方向)
- 大野ほか (2001)
- 内山・翠川 (2006)
- 片岡ほか (2006)

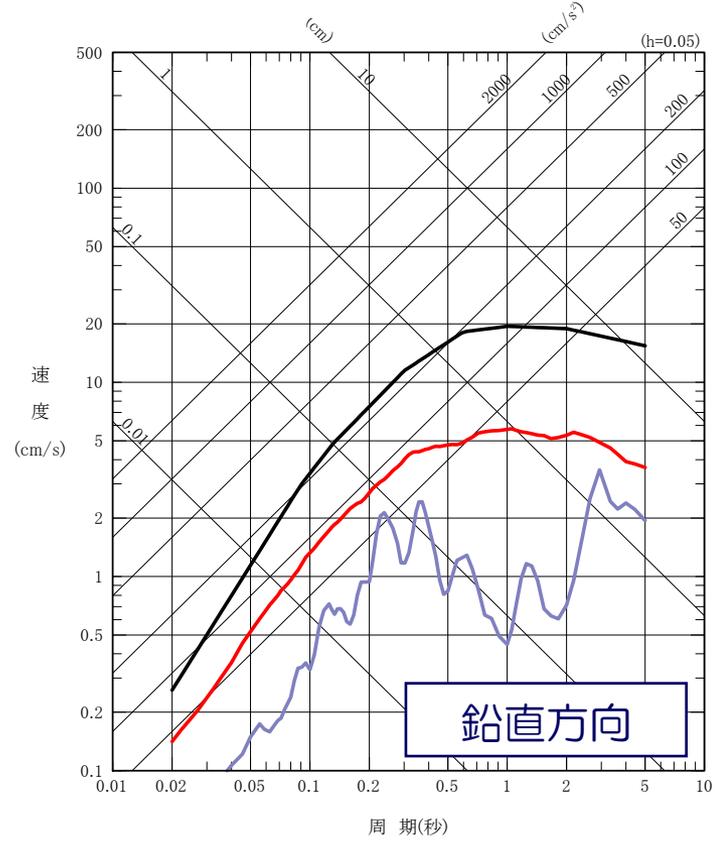
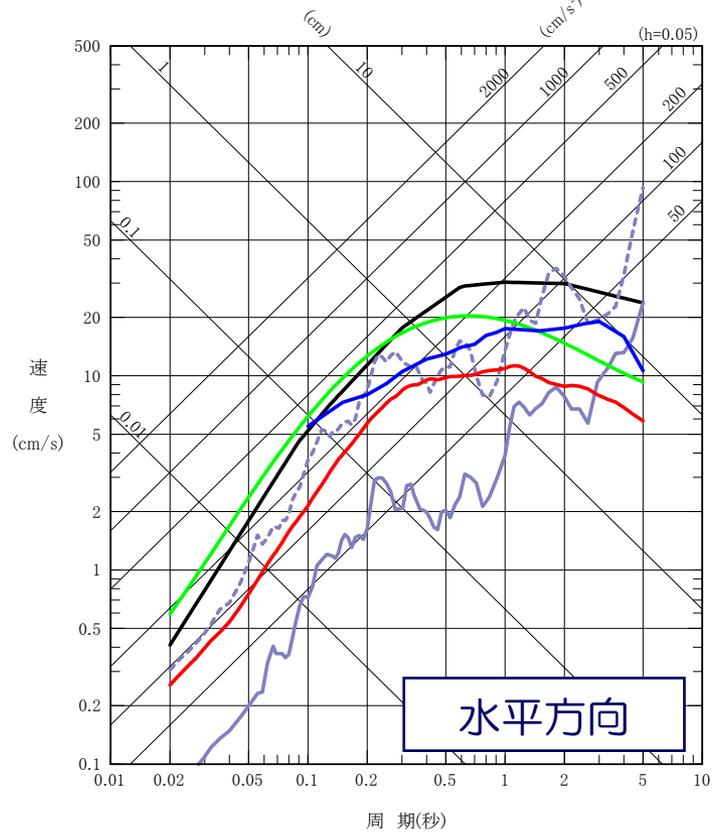


※断層モデルは、速度構造モデル見直し前の評価結果。

# 内陸地殻内地震

## 他の距離減衰式との比較（福島第二，基本震源モデル）

- 耐専スペクトル (M7.6, Xeq=55km)
- 断層モデル (ハイブリッド法, NS方向及びUD方向)
- - - 断層モデル (ハイブリッド法, EW方向)
- 大野ほか (2001)
- 内山・翠川 (2006)
- 片岡ほか (2006)

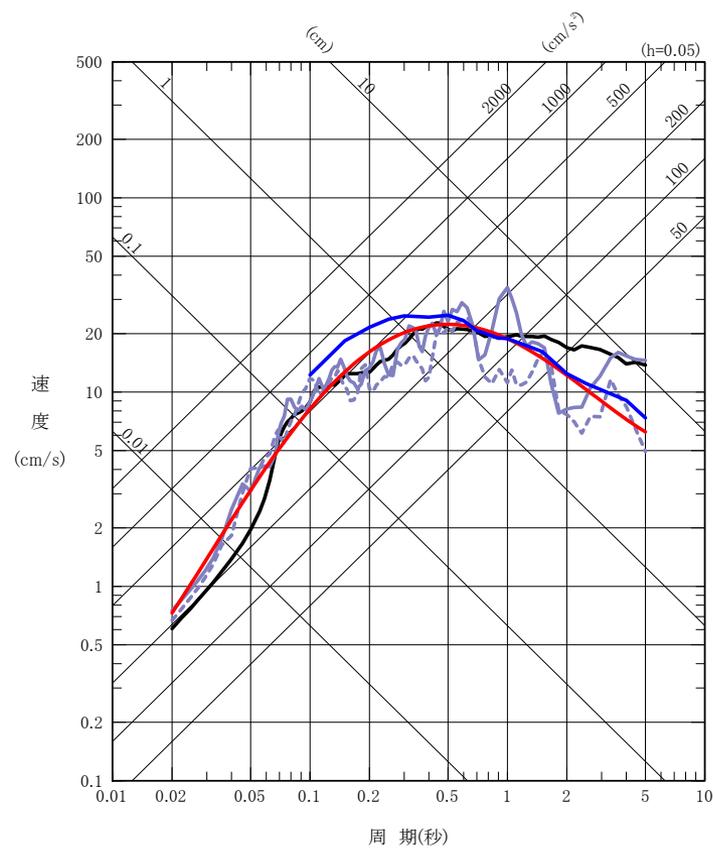


※断層モデルは、速度構造モデル見直し前の評価結果。

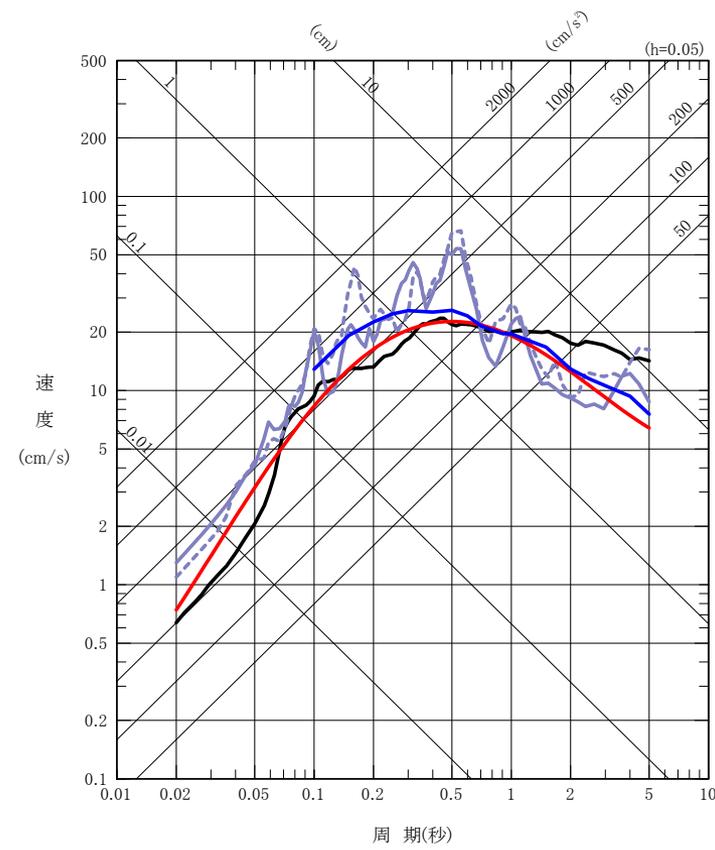
# 海洋プレート内地震

## 他の距離減衰式との比較（基本震源モデル）

- 耐震スペクトル
- 断層モデル (NS方向)
- - - 断層モデル (EW方向)
- 内山・翠川 (2006)
- 片岡ほか (2006)



福島第一

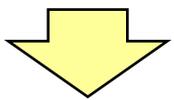


福島第二

## 【参考4】地震発生層の設定

# 微小地震分布①（広域）

■ JNES(2004)による福島・茨城地域の微小地震に基づくD10%, D90%の値は以下のとおり。



D10% : 6.1km  
D90% : 18.1km

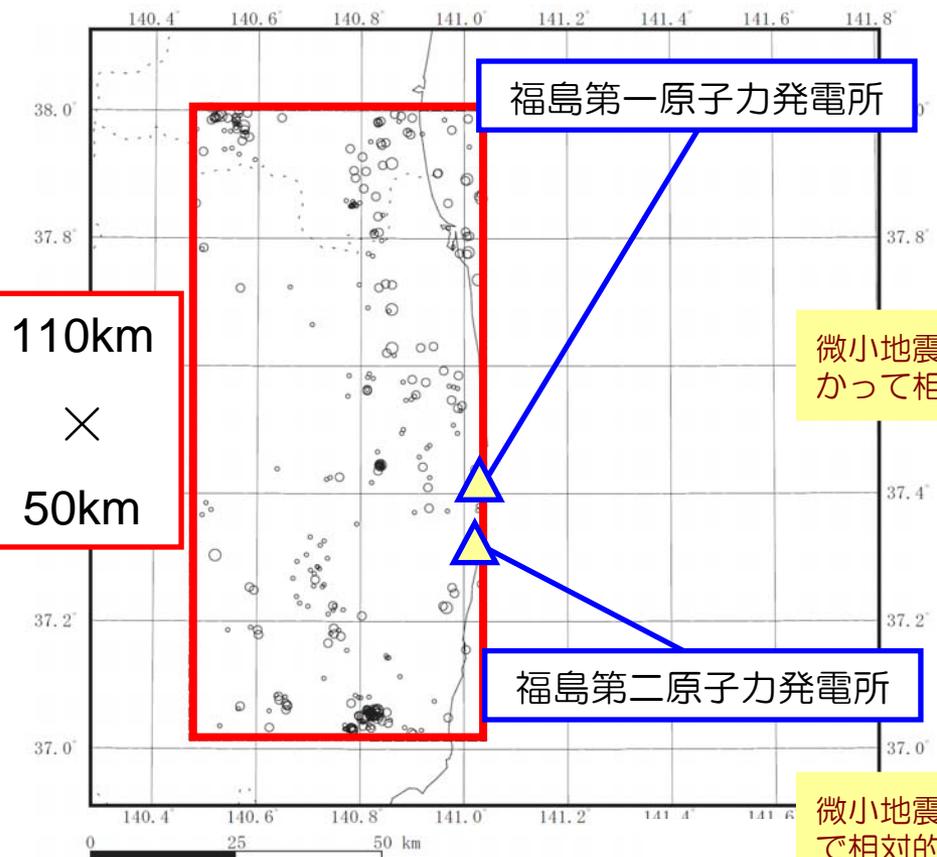
D90深度-D10深度 : 12.0km



地震域	M区分	最浅 (km)	D10% (km)	D50% (km)	D90% (km)	最深 (km)	データ数	D90%-D10% (km)	震源域 上端深さ 最浅値 (飯田式)
福島 茨城	$2.0 \leq M < 2.5$	4.1	5.9	8.0	16.0	27.1	24.0	10.1	3.4
	$2.5 \leq M < 3.0$	6.3	7.2	8.9	18.7	18.7	13.0	11.5	5.4
	$3.0 \leq M < 3.5$	4.9	5.0	8.3	18.1	18.1	5.0	13.1	3.5
	$3.5 \leq M < 4.0$	7.6	7.6	7.6	7.7	7.6	2.0	0.1	5.0
	$4.0 \leq M$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	全データ	4.1	6.1	8.0	18.1	27.1	44.0	12.0	3.4

# 微小地震分布②（敷地周辺：陸域）

微小地震の震央分布



110km  
×  
50km

福島第一原子力発電所

福島第二原子力発電所

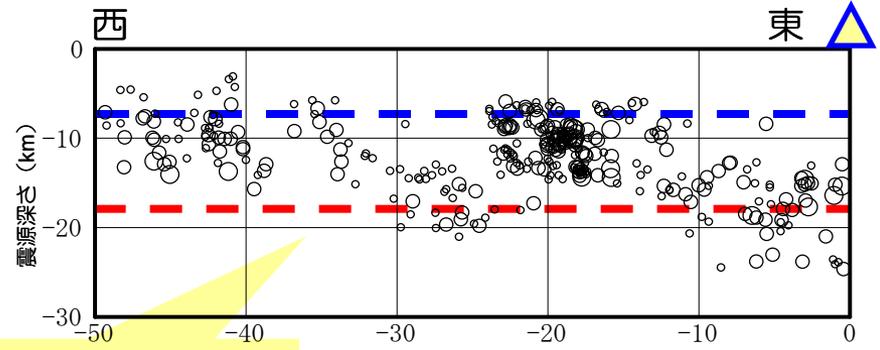
微小地震の分布は、東側に向かって相対的に深くなっている。

微小地震の分布は、敷地の北側で相対的に浅くなっている。

気象庁地震年報及び地震・火山月報に基づく。  
検討対象は、震源決定の一元化処理が行われている  
1997年10月～2008年5月に発生した深さ25km  
以浅の計335地震。

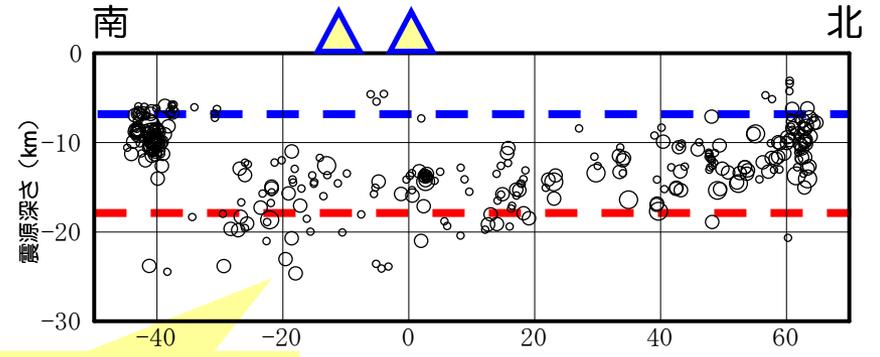
- 4.0 ≤ M
- 3.0 ≤ M < 4.0
- 2.0 ≤ M < 3.0
- 1.0 ≤ M < 2.0
- M < 1.0

微小地震の震源鉛直分布



福島第一原子力発電所からの距離 (km)

東西断面図



福島第一原子力発電所からの距離 (km)

南北断面図

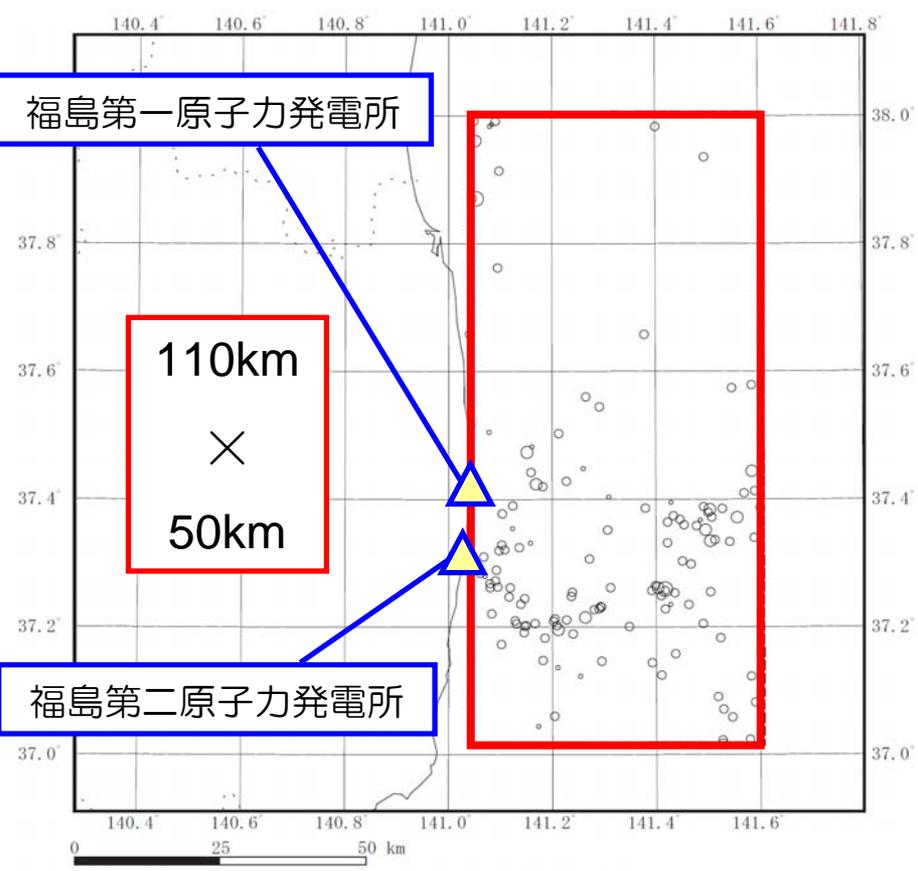
D10% : 7.0km  
D90% : 18.0km

- 4.0 ≤ M
- 3.0 ≤ M < 4.0
- 2.0 ≤ M < 3.0
- 1.0 ≤ M < 2.0
- M < 1.0

D90深度 - D10深度 : 11.0km

# 微小地震分布③（敷地周辺：海域）

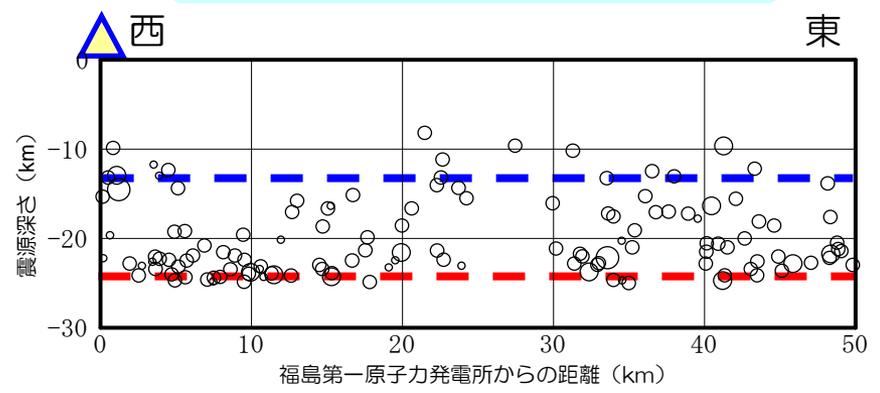
微小地震の震央分布



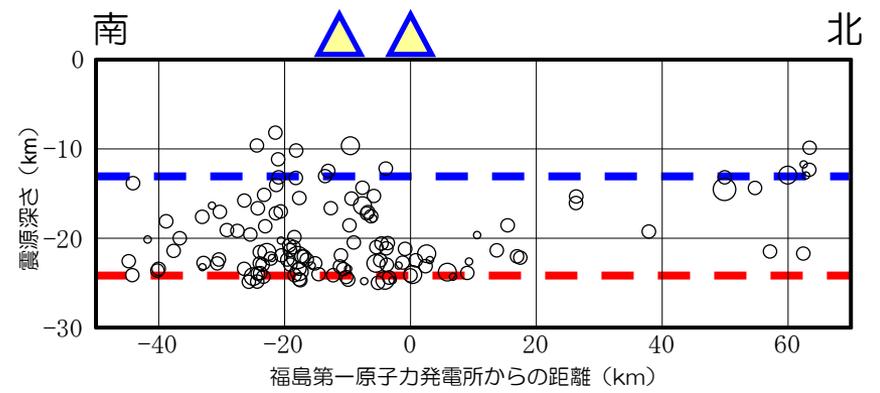
- 4.0 ≤ M
- 3.0 ≤ M < 4.0
- 2.0 ≤ M < 3.0
- 1.0 ≤ M < 2.0
- M < 1.0

気象庁地震年報及び地震・火山月報に基づく。  
 検討対象は、震源決定の一元化処理が行われている  
 1997年10月～2008年5月に発生した深さ25km  
 以浅の計131地震。

微小地震の震源鉛直分布



東西断面図



南北断面図

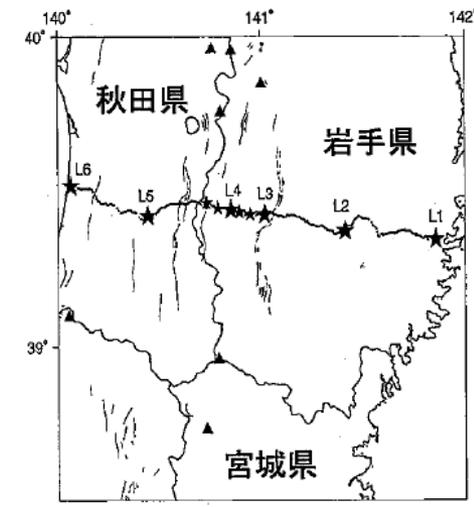
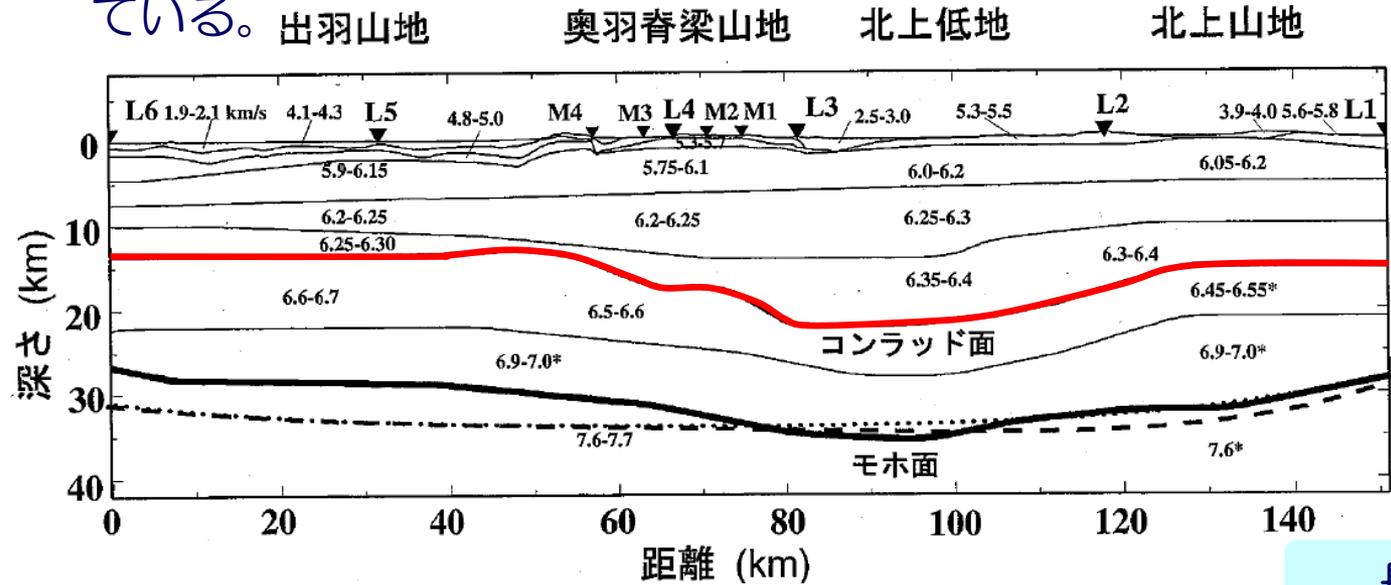
D10% : 13.2km  
 D90% : 24.3km

- 4.0 ≤ M
- 3.0 ≤ M < 4.0
- 2.0 ≤ M < 3.0
- 1.0 ≤ M < 2.0
- M < 1.0

D90深度 - D10深度 : 11.1km

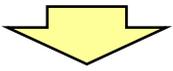
# 速度構造①（地震発生層上下端の速度に関する既往の知見）

■長谷川(2002)は、釜石一本庄測線の地殻構造探查結果に基づき、内陸地殻は、 $V_p=6\text{km/s}$ 程度の上部地殻と $V_p=6.6\text{km/s}$ 程度を超える下部地殻から構成されるとしており、上部地殻の下限における $V_p$ は $6.25\sim 6.4\text{km/s}$ 程度となっている。



長谷川(2002)に加筆

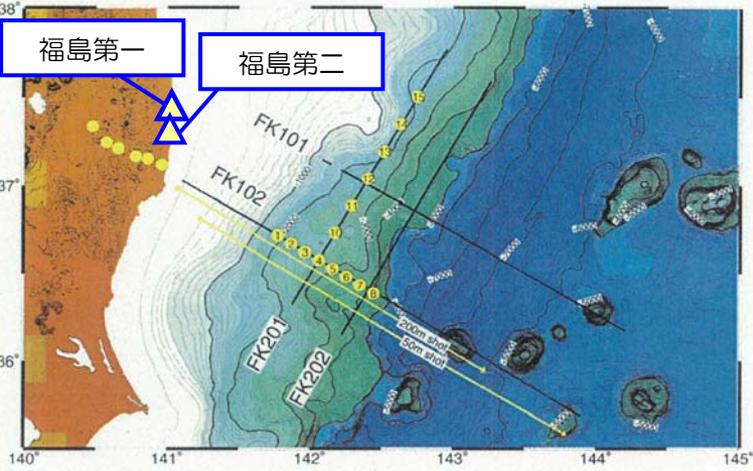
- 入倉・三宅(2001)によると、微小地震の浅さ限界は $V_p=5.8\sim 5.9\text{km/s}$ の層の上限と良い相関があるとされている。
- 伊藤ほか(2007)によると、微小地震の発生域は $V_p=5.8\sim 6.3\text{km/s}$ の領域に対応するとされている。



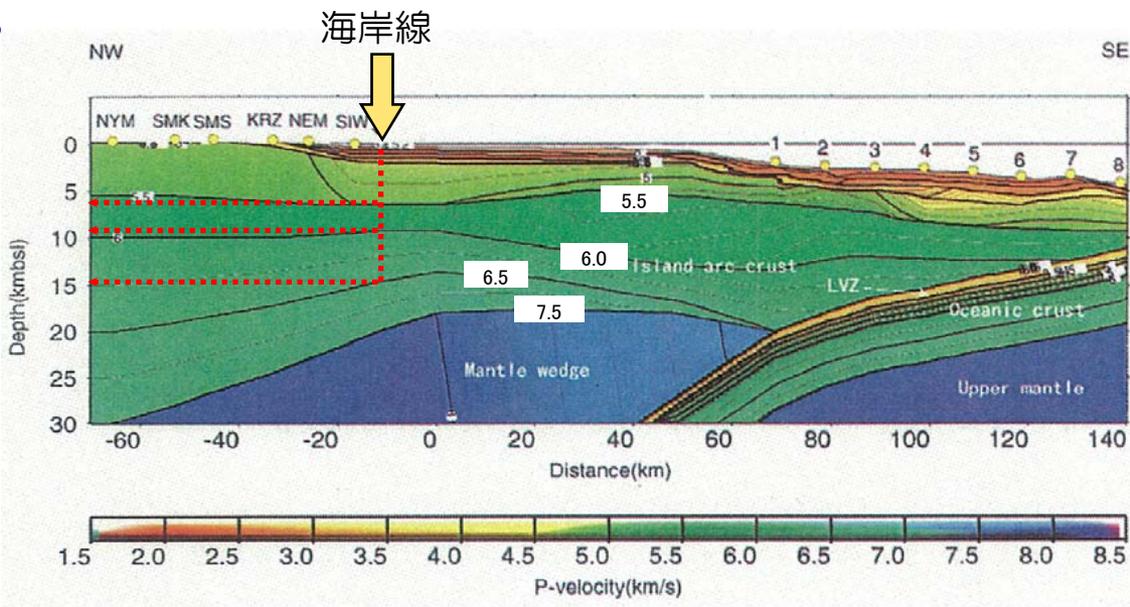
地震発生層上端の $V_p$ は $5.8\text{km/s}$ 程度、下端の $V_p$ は $6.4\text{km/s}$ 程度と考えられる

# 速度構造② (JAMSTECによる地下構造探査)

■ 三浦ほか(2000)は海底地震計・エアガンを用いた深部構造探査結果に基づき、速度構造モデルを推定している。



三浦ほか(2000)に加筆



■ 図より、福島サイト周辺の海岸線付近におけるVpと深さの関係は以下のとおり。

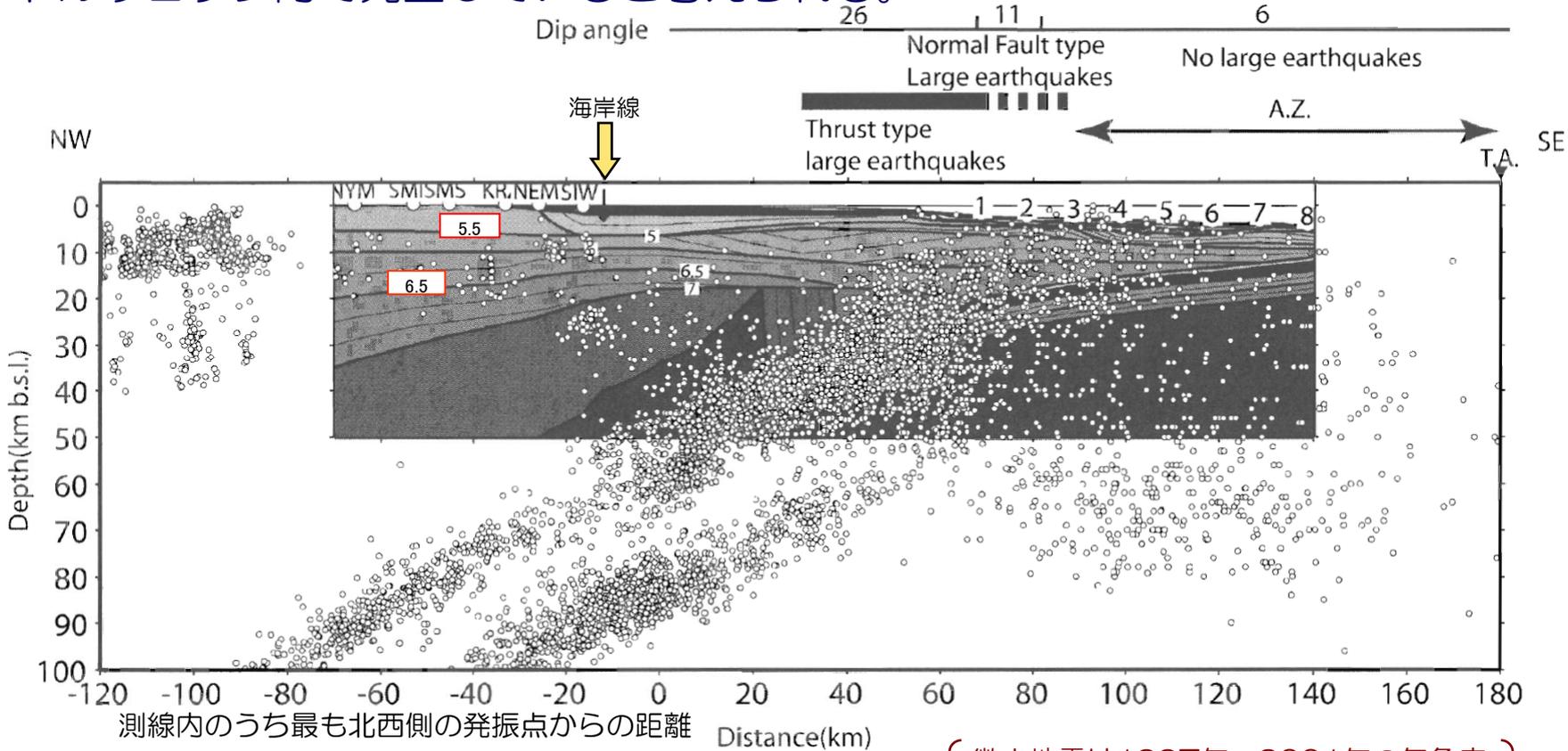
Vp (km/s)	深さ (km)
5.5	6
6.0	9
6.5	15



速度構造から推定される地震発生層は、上端6~9km程度、下端15km程度

# 速度構造③ (JAMSTECによる地下構造探査)

- Miura et al.(2003)に基づく速度構造モデルと微小地震分布の比較によると、海岸線付近における微小地震は、概ね $V_p 5.5\text{km/s}$  (深さ6km) 以深で発生していることが示されている。
- なお、敷地周辺の深さ25~30km程度にみられる地震は、下部地殻ないしマントルウェッジ内で発生していると考えられる。

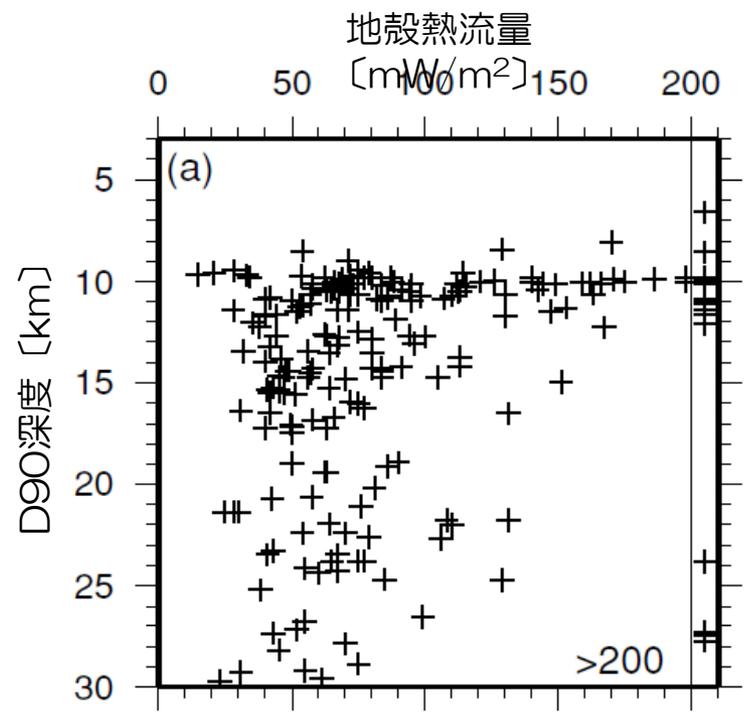


Miura et al.(2003)に加筆

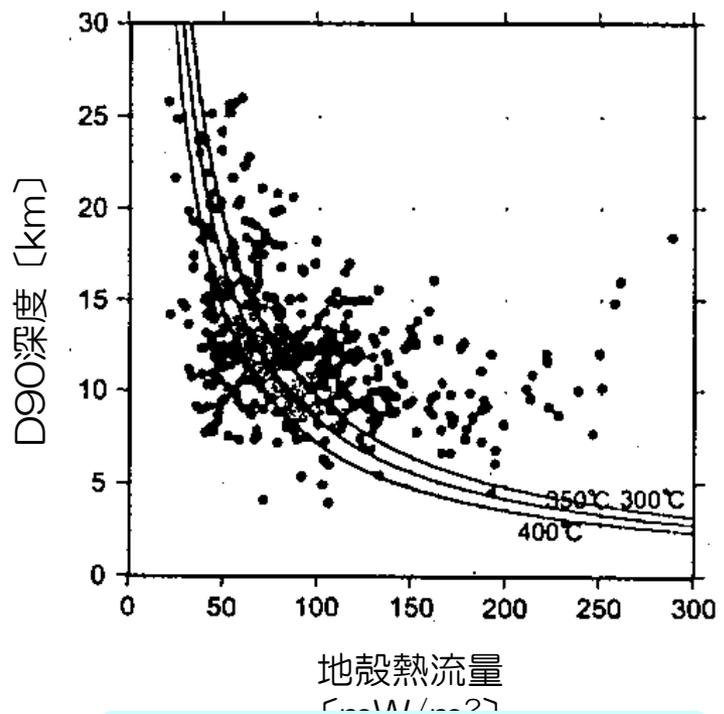
〔微小地震は1997年~2001年の気象庁による測線から50km範囲の観測記録〕

# 地殻熱構造① (D90深度と地殻熱流量の相関性)

- Tanaka(2004), 松本(2007)によると, D90深度と地殻熱流量の間には相関があり, 地殻熱流量の値が低いほどD90深度が深い傾向がみられる。
- ただし, 地殻熱流量の値が低い領域ではD90深度のばらつきも大きい。



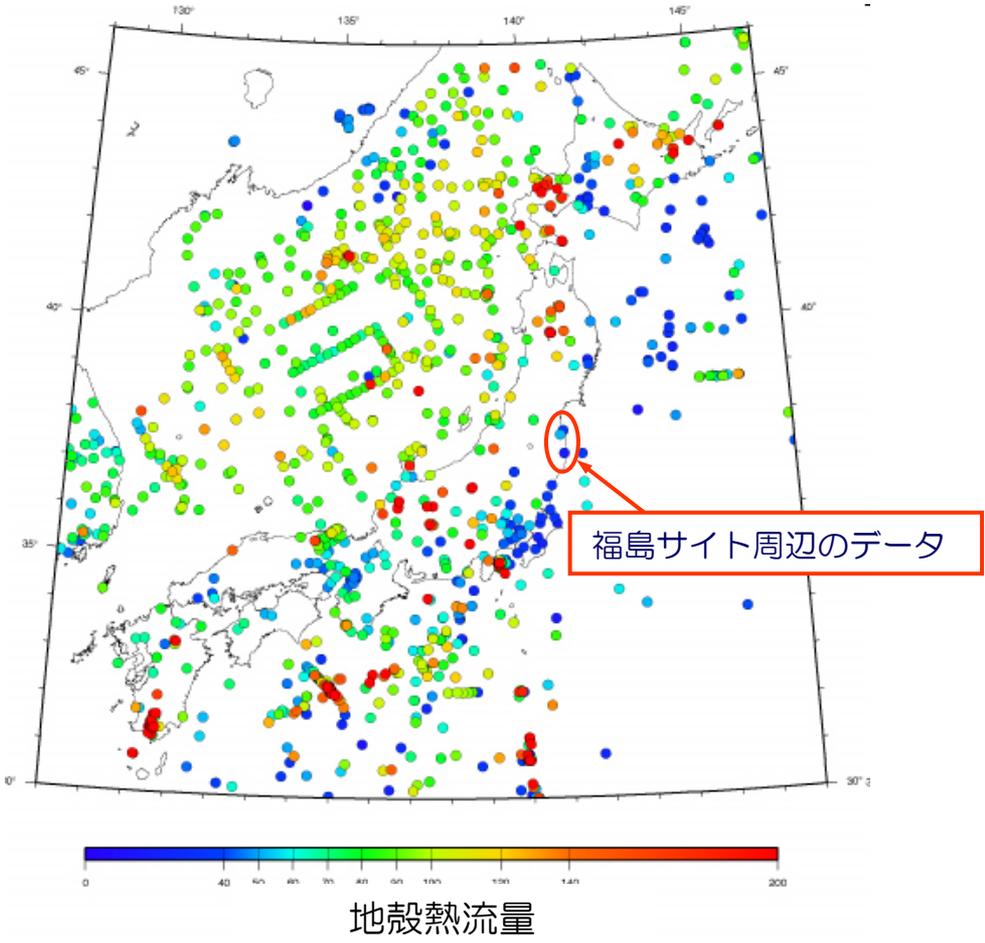
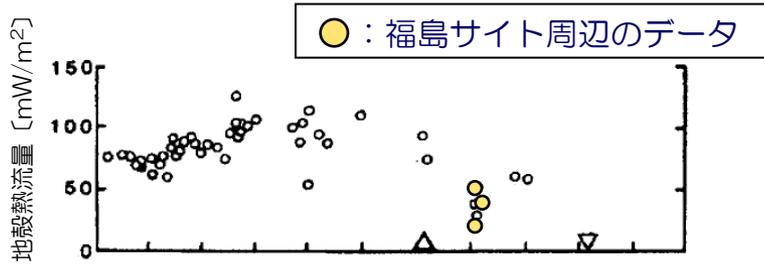
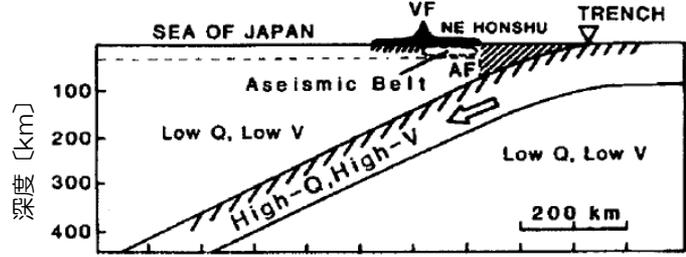
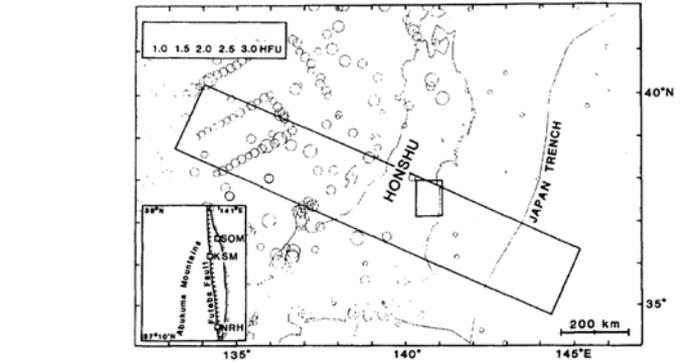
Tanaka(2004)に加筆



松本(2007)に加筆

# 地殻熱構造② (福島サイト周辺の地殻熱流量データ)

■ 福島サイト周辺の地殻熱流量に関するデータは少ないものの、Nakamura and Wakita (1982), 田中ほか (2004) によると、福島サイト周辺の太平洋沿岸では地殻熱流量の値が低くなっており、福島サイト周辺では地震発生層下端が深い可能性がある。



Nakamura and Wakita (1982) に加筆

田中ほか (2004) に加筆

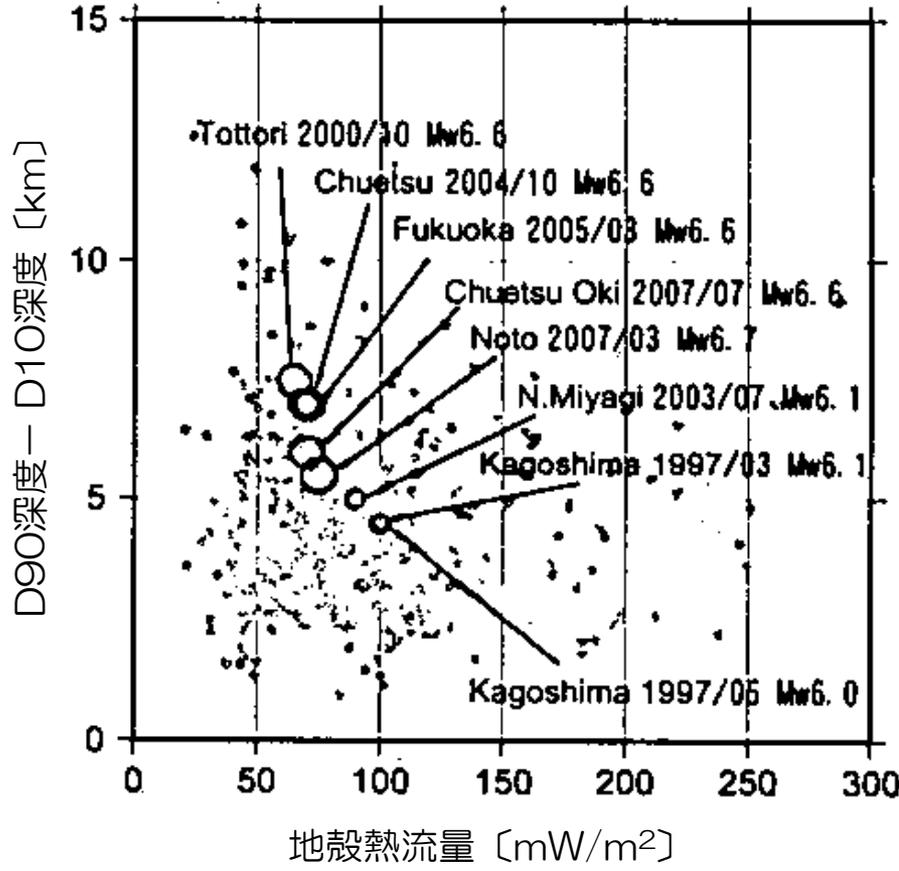
# 地殻熱構造③（地殻熱流量データと地震発生層厚さの相関性）

■ 前述のとおり敷地周辺海域の微小地震分布において、D90深度は陸域に比べて深くなっており、地殻熱流量のデータと調和的な傾向となっている。

■ 一方、松本(2007)によると、地殻熱流量の値が低い領域においても、「D90深度-D10深度」の値は最大12~13km程度となっている。

➡ 地殻熱流量の値が低い領域においても、地震発生層の厚さが特異に厚い訳でないと考えられる。

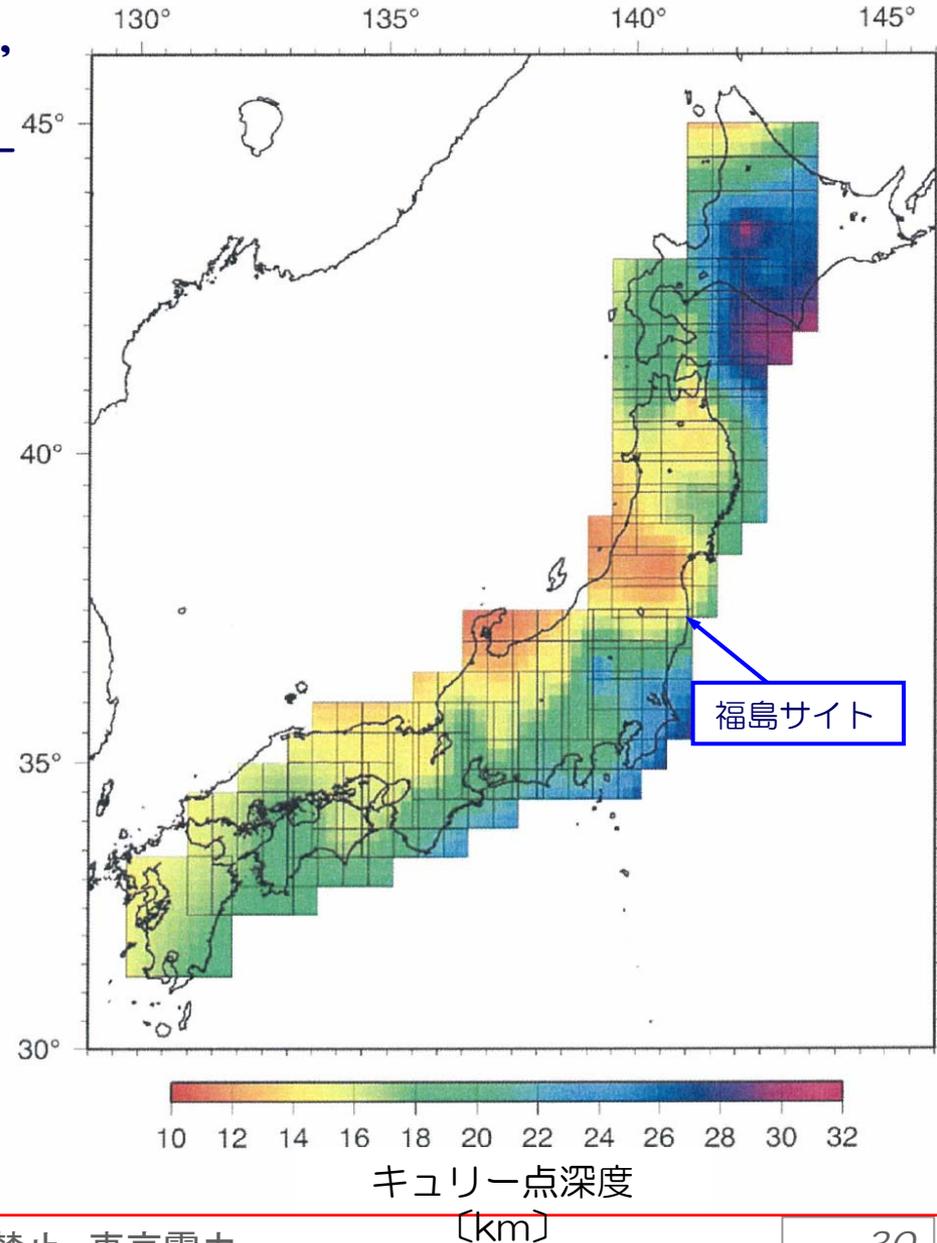
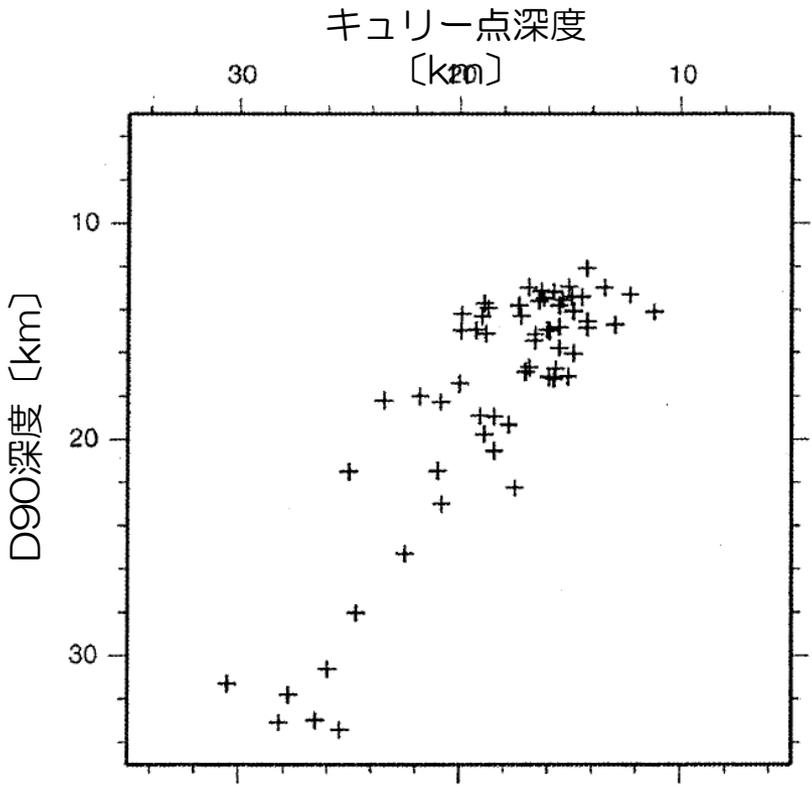
■ 敷地周辺海域の微小地震分布において、福島サイト周辺のD10深度も陸域に比べて深くなっており、福島サイト周辺では地震発生層の上端・下端ともに深くなっている可能性がある。



松本(2007)に加筆

# 地殻熱構造④ (D90深度とキュリー点深度の相関性)

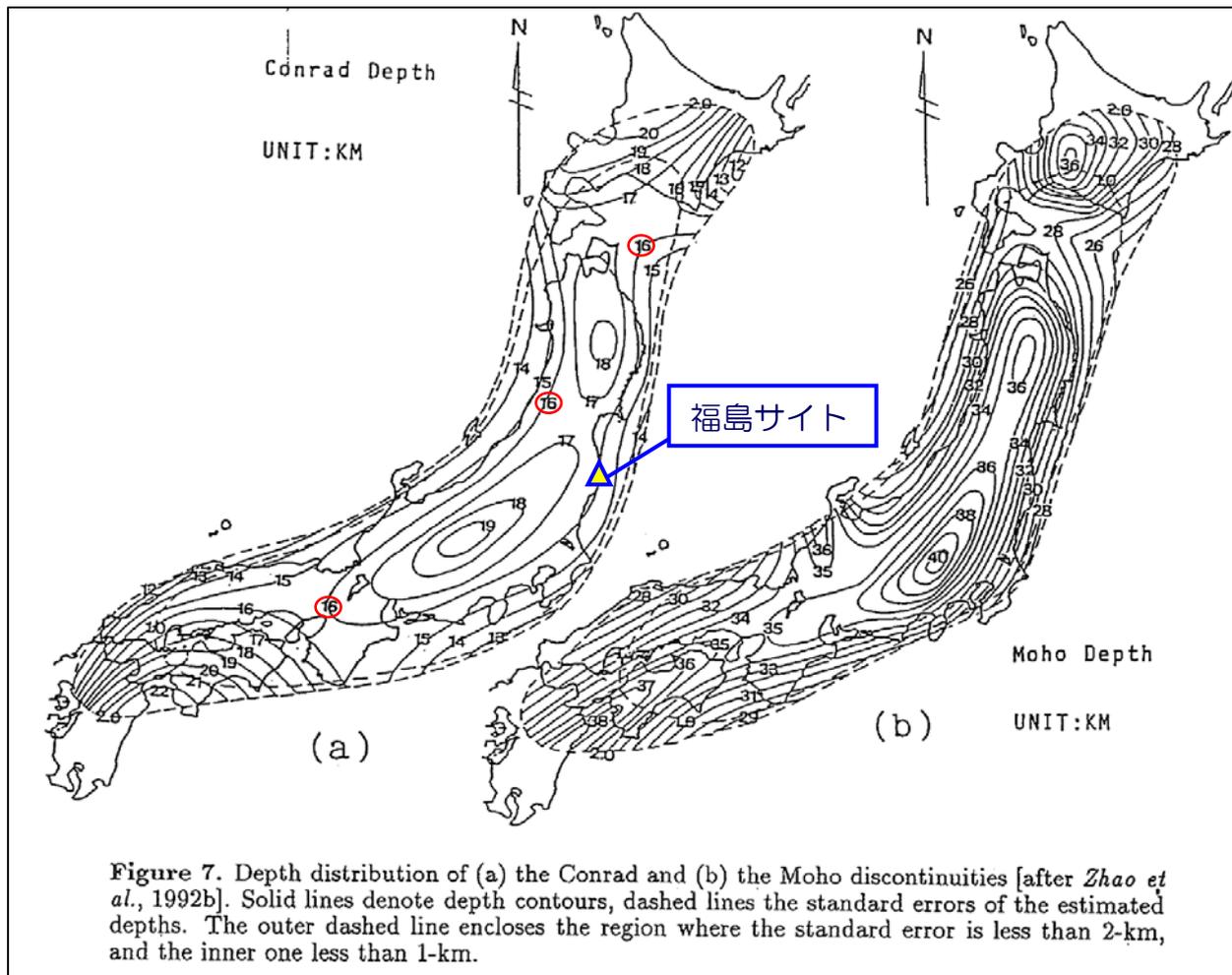
■ Tanaka and Ishikawa (2005)によると、D90深度とキュリー点深度の間には相関があり、福島サイト周辺におけるキュリー点深度は14~18km程度。



Tanaka and Ishikawa (2005)に加筆

# コンラッド面深さ

- Zhao et al.(1994)は、全国のコンラッド面深さについて整理しており、福島サイト周辺におけるコンラッド面深さは16km程度。



Zhao et al.(1994)に加筆

# 地震発生層の設定に関するまとめ

- 福島サイト周辺の地震発生層に関する情報をまとめると以下のとおり。

項目		上端深さ	下端深さ	厚さ
微小地震分布	広域【JNES(2004)】	6.1km	18.1km	12.0km
	敷地周辺・陸域	7.0km	18.0km	11.0km
	敷地周辺・海域	13.2km	24.3km	11.1km
速度構造	JAMSTECによる地下構造探査【三浦ほか(2000)】	6~9km程度	15km程度	6~9km程度

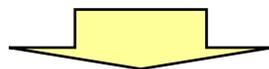


- 地震発生層の上端深さ6km，下端深さ18kmと設定。
- 敷地周辺の海域における微小地震分布から求まる地震発生層は深めとなっているものの，地震発生層の厚さは変わらないことから，地震動評価において安全側となるように上記のとおり浅めの設定値を採用している。
- なお，上記で設定した値は，地殻熱構造やコンラッド面に関する知見とも概ね対応している。
- ただし，敷地周辺における微小地震の深さ分布によると，双葉断層の位置する敷地の北側では相対的に浅くなる傾向がみられることから，双葉断層による地震の地震動評価に当たっては，不確かさを考慮して，地震発生層の上端深さ3kmと仮定して断層幅を設定。

## 【参考5】地質調査結果等を踏まえた地下構造モデルの再構築

# 地下構造モデル再構築の経緯

- 平成20年3月の中間報告書に記載した従来の地下構造モデル構築時には、敷地周辺の地質調査（大深度ボーリング・反射法地下探査等）や微動アレイ探査によるデータが得られていなかったため、地震観測記録のみを用いてモデル構築を行った。

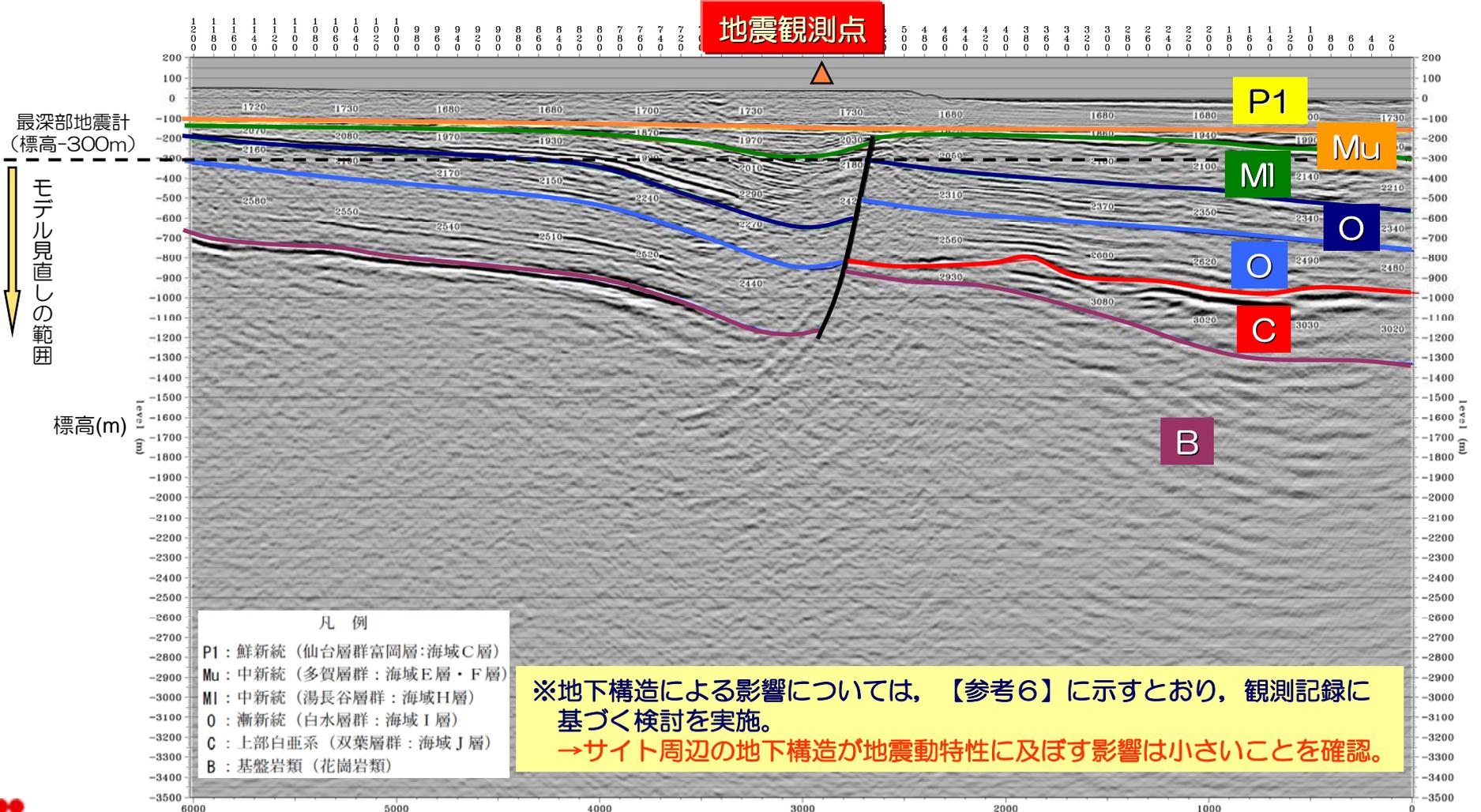


平成20年3月の中間報告書提出後に行った地質調査結果、微動アレイ探査結果及び敷地周辺における既往の情報（富岡観測点のPS検層結果等）を参照し、各層の速度値を拘束したうえで、地震観測記録の水平／上下スペクトル振幅比の逆解析による地下構造推定手法（従来と同様の手法）に基づき各層の層厚を求めたこととした。

※なお、サイト地盤における鉛直アレイ地震観測点のうち、最深部観測点（福島第一：GL-335m，福島第二：GL-212m）より浅部については、従来よりPS検層結果や地震観測記録が得られており、新たに得られた地質調査結果等を加味してもモデルの見直しは不要と判断されることから、今回は最深部観測点より深部をモデル見直しの対象としている。

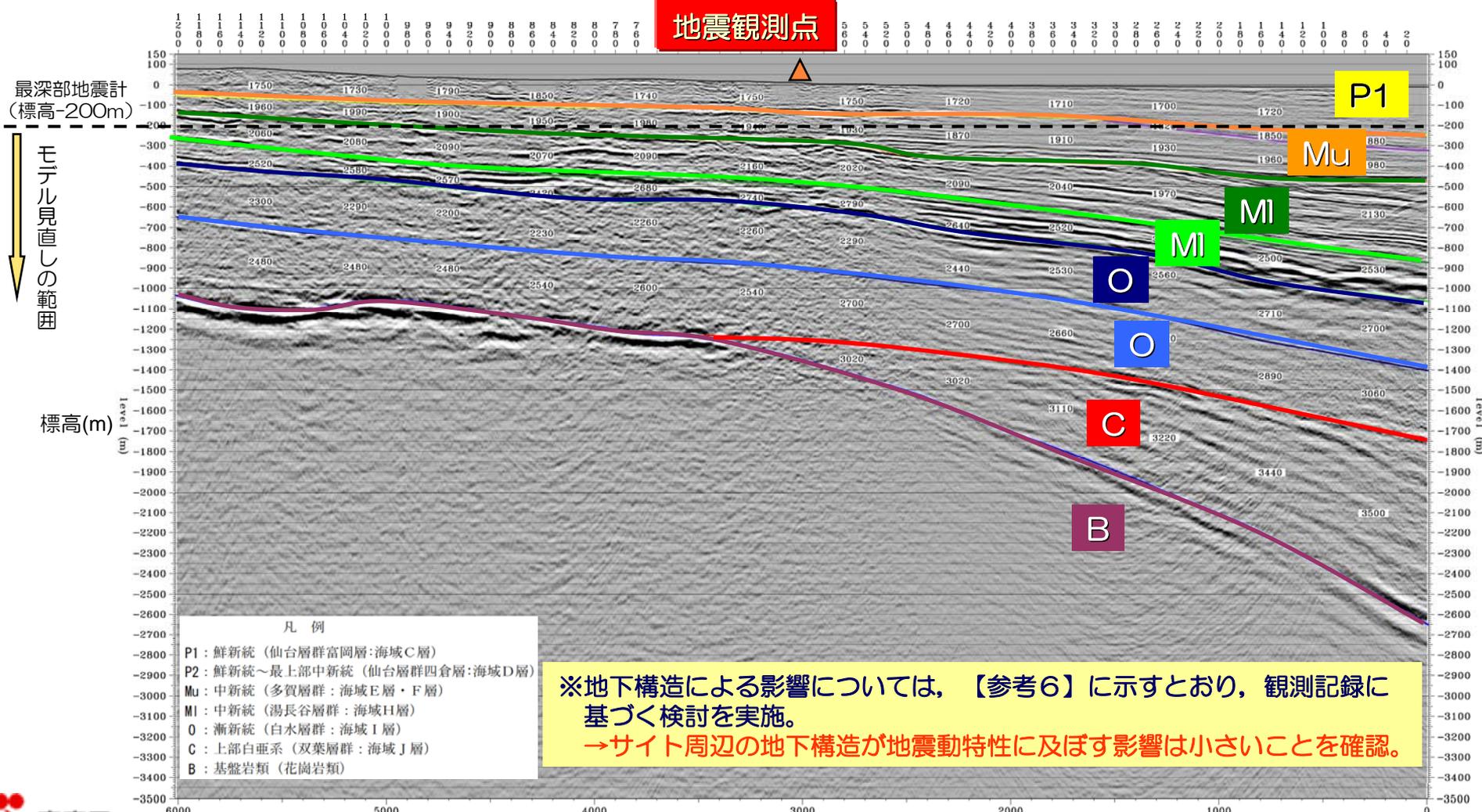
# 各層のP波速度設定（福島第一）

- 反射法探査結果より各区間のVpを求め、各層における平均を取ることで各層のVpを設定。
- 基盤岩類（B層）については、反射法探査結果よりVpが求められないため、サイト周辺の富岡観測点と同様であると考え、富岡観測点のPS検層結果を参考に設定。



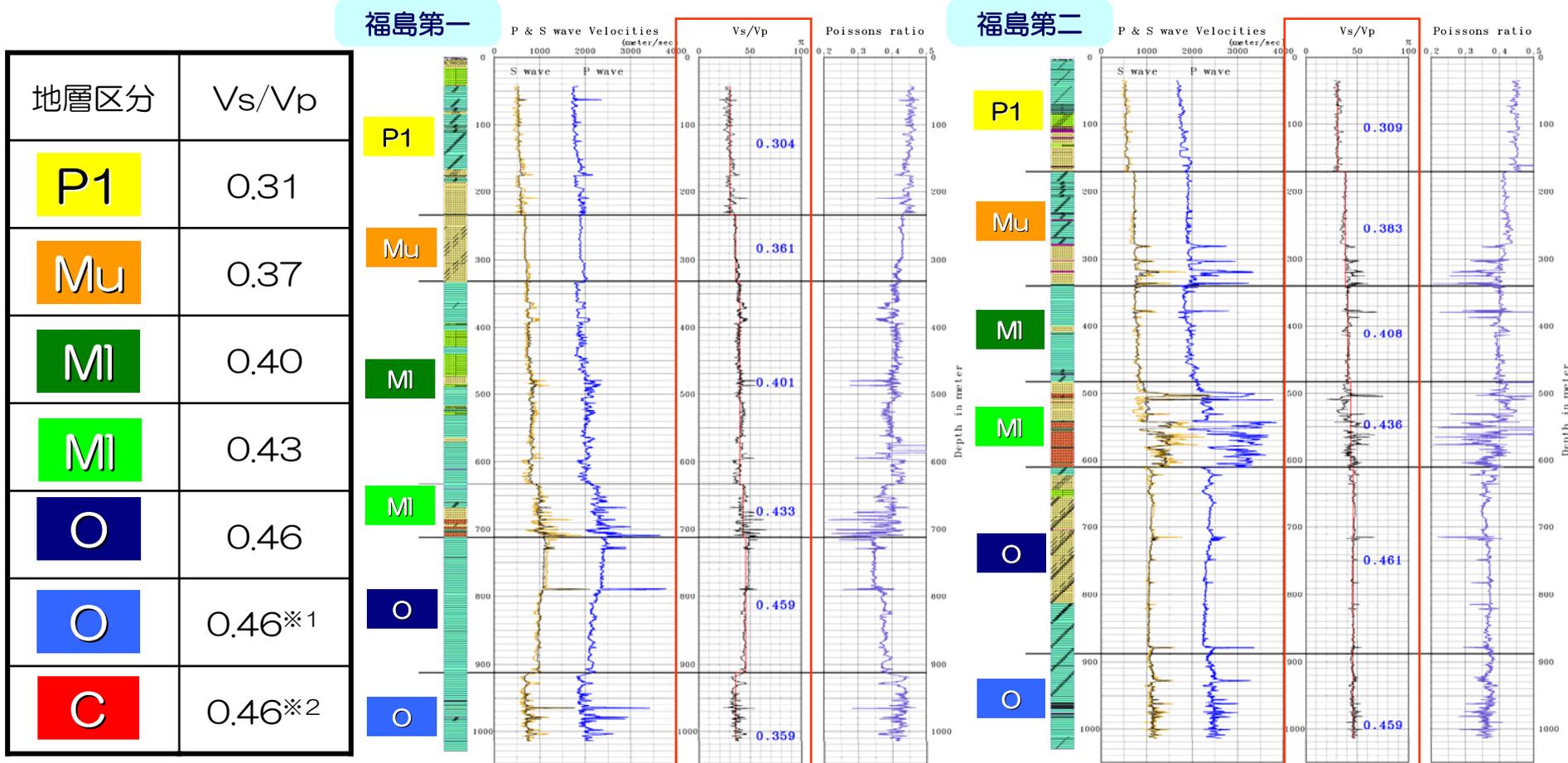
# 各層のP波速度設定（福島第二）

- 反射法探査結果より各区間のVpを求め、各層における平均を取ることで各層のVpを設定。
- 基盤岩類（B層）については、反射法探査結果よりVpが求められないため、サイト周辺の富岡観測点と同様であると考え、富岡観測点のPS検層結果を参考に設定。



# 各層のS波速度設定（福島第一・福島第二共通）

- 各層のVsについては、福島第一・福島第二サイトで実施した大深度ボーリングのPS検層結果（サスペンション法）から求めたVs/Vp比が各層で安定した値を取ることを確認したうえで、前述のVpにこのVs/Vp比を乗じることにより算定。
- 基盤岩類（B層）のVsは、Vpと同様に富岡観測点のPS検層結果を参考に設定。



※1：福島第一の深部（O層下部）では、Vp、Vsとも小さな値となっており、他の反射断面から求まるVpと比較しても有意に小さいことから、ここでは福島第二の値を採用した。

※2：C層については大深度ボーリングにより情報が得られていないことから、1つ上のO層における値を採用した。

# 福島第一サイトにおける地盤の速度構造

- 以上により設定した各層の $V_p$ ,  $V_s$ は以下のとおり。
- 地震観測点はサイト直下にある正断層の西側に位置するため、西側の値を採用。

地層 区分	設定値			
	$V_p$ (m/s)		$V_s$ (m/s)	
	西側	東側	西側	東側
P1	1700		520	
Mu	1930		720	
Ml	2100	2120	870	860
O	2200	2340	1010	1070
O	2520	2570	1160	1180
C	—	3020	—	1390
B	5500		2800	

最深部地震計  
(標高-300m)

モデル見直しの範囲

# 福島第二サイトにおける地盤の速度構造

■ 以上により設定した各層の $V_p$ 、 $V_s$ は以下のとおり。

地層 区分	設定値	
	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)
P1	1740	540
Mu	1940	720
MI	2070	840
MI	2590	1120
O	2400	1100
O	2650	1220
C	3220	1480
B	5500	2800

最深部地震計  
(標高-200m)



モデル見直しの範囲

# 地下構造推定法について

- 以上に示した各層の速度値を与条件として、水平／上下スペクトル振幅比の逆解析による地下構造推定法〔小林ほか（2005）：従来と同様の手法〕に基づき速度構造モデルを推定する。
- 逆解析における層厚の探索範囲は以下のとおり。

福島第一

S波速度 $V_s$ (m/s)	P波速度 $V_p$ (m/s)	層厚 (m)
870	2100	100～350
1010	2200	150～250
1160	2520	300～500
2800	5500	10～3000
3550	6000	

福島第二

S波速度 $V_s$ (m/s)	P波速度 $V_p$ (m/s)	層厚 (m)
720	1940	50～100
840	2070	150～250
1120	2590	50～150
1100	2400	250～350
1220	2650	300～400
1480	3220	100～300
2800	5500	10～3000
3550	6000	

※最下層の速度（ $V_p$ 、 $V_s$ ）は、従来のモデルと同様、福山ほか（1998）に基づき設定。

# 見直し前の速度構造モデル

- 見直し前の統計的グリーン関数法による地震動評価で用いる速度構造モデルは以下のとおり。
- なお、理論的手法による地震動評価で用いる速度構造モデルは、以下のモデルの深部に福山ほか（1998）に基づくモデルを追加している。

標高 (m)	層厚 (m)	密度 $\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	S波速度 $V_s$ (m/s)	P波速度 $V_p$ (m/s)	Q 値	備考
-196						解放基盤表面
-300	104	1.80	810	2260	100	最深部地震計
-730	430	2.09	1050	2270	100	
-1090	360	2.18	1350	2690	100	
-2210	1120	2.39	2170	3850	100	
-2300	90	2.55	2940	5070	100	地震基盤面
-3000	700	2.60	3140	5500	300	
		2.60	3550	6000	300	

福島第一

標高 (m)	層厚 (m)	密度 $\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	S波速度 $V_s$ (m/s)	P波速度 $V_p$ (m/s)	Q 値	備考
-168						解放基盤表面
-200	32	1.73	820	1990	100	最深部地震計
-520	320	2.06	970	1990	100	
-1400	880	2.17	1320	2730	100	
-1570	170	2.23	1550	3190	100	
-1650	80	2.44	2400	4470	100	地震基盤面
-3000	1350	2.60	3140	5500	300	
		2.60	3550	6000	300	

福島第二

※最深部地震計（福島第一：標高-300m，福島第二：標高-200m）より浅部のS波速度及びP波速度の値は、鉛直アレイ観測記録を用いた伝達関数の逆解析により求めた値を丸めて記載。

# 見直し後の速度構造モデル

- 今回見直した統計的グリーン関数法による地震動評価で用いる速度構造モデルは以下のとおり。
- なお、理論的手法による地震動評価で用いる速度構造モデルは、以下のモデルの深部に福山ほか（1998）に基づくモデル（従来と同様）を追加する。

標高 (m)	層厚 (m)	密度 $\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	S波速度 $V_s$ (m/s)	P波速度 $V_p$ (m/s)	Q 値	備考
-196						解放基盤表面
	104	1.8	810	2260	100	最深部地震計
-300	120	1.9	870	2100	100	
-420	200	2.0	1010	2200	100	
-620	410	2.0	1160	2520	100	地震基盤面
-1030	1750	2.7	2800	5500	300	
-2780		2.7	3550	6000	300	

福島第一

※最深部地震計（福島第一：標高-300m，福島第二：標高-200m）より浅部の物性値（密度，S波速度及びP波速度）

は、鉛直アレイ観測記録を用いた伝達関数の逆解析により求めた値を丸めて記載。

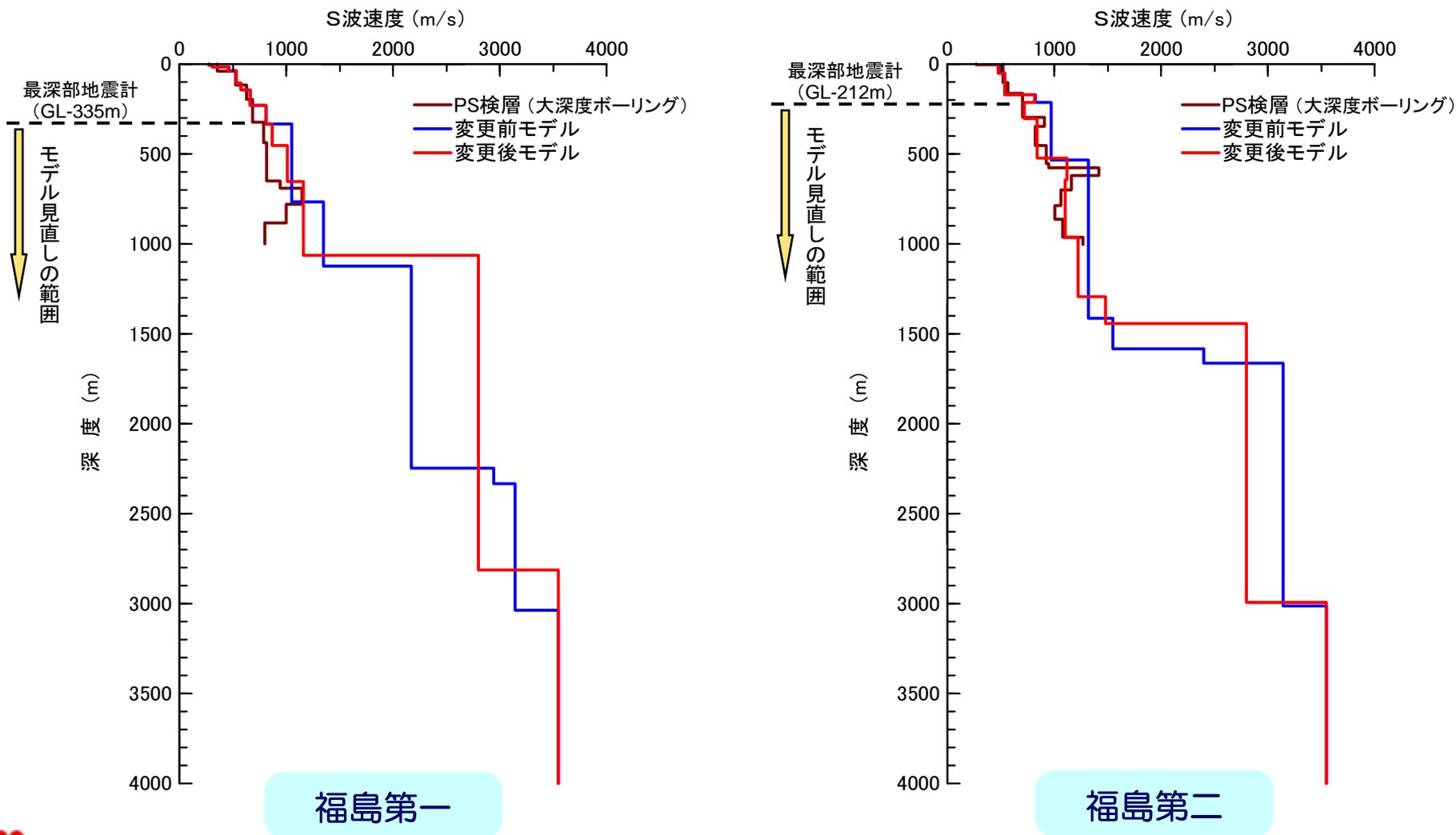
標高 (m)	層厚 (m)	密度 $\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	S波速度 $V_s$ (m/s)	P波速度 $V_p$ (m/s)	Q 値	備考
-168						解放基盤表面
	32	1.7	820	1990	100	最深部地震計
-200	90	1.9	720	1940	100	
-290	220	1.9	840	2070	100	
-510	120	2.0	1120	2590	100	
-630	320	2.0	1100	2400	100	
-950	330	2.0	1220	2650	100	
-1280	150	2.2	1480	3220	100	地震基盤面
-1430	1550	2.7	2800	5500	300	
-2980		2.7	3550	6000	300	

福島第二



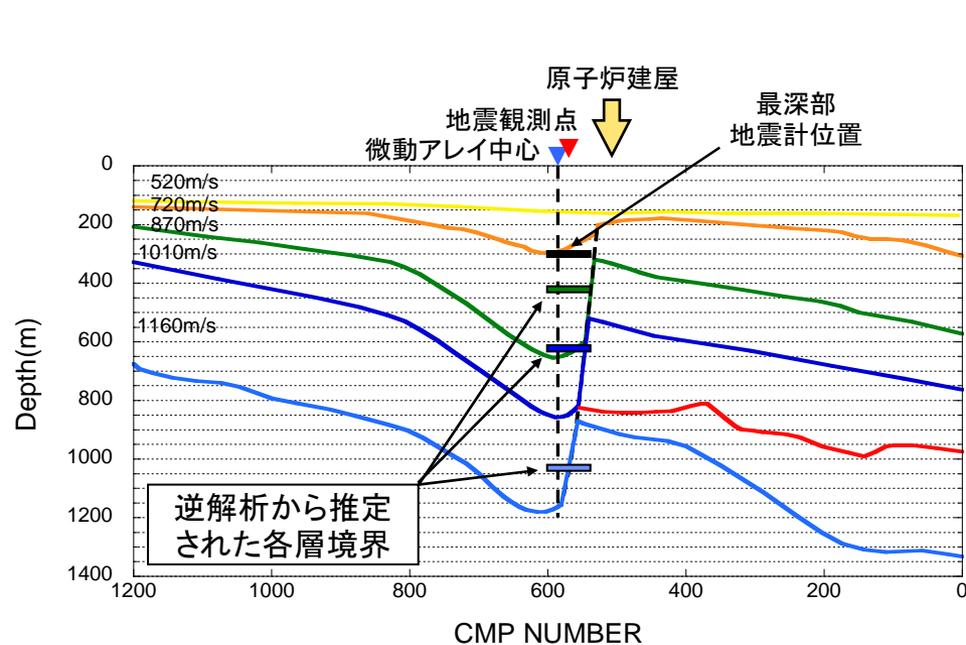
# 見直し前後の速度構造モデル比較

■ 今回の見直し前後における福島第一・福島第二サイトの速度構造モデルを比較して以下に示す。

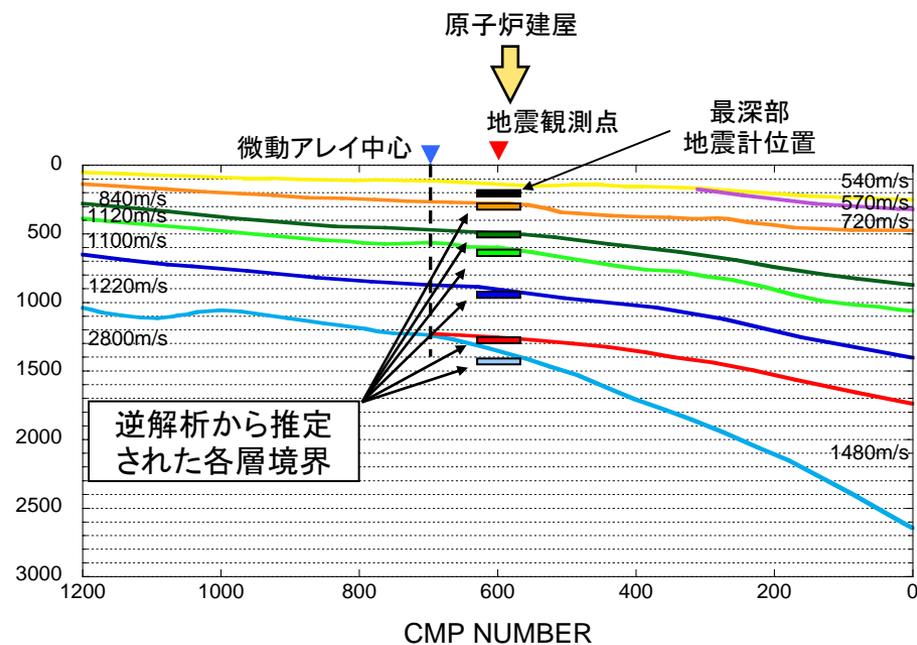


# 見直した速度構造モデルの層境界と反射断面の比較

- 福島第一サイトでは、逆解析により求めた各層の層厚が、反射法探査結果により得られた正断層の東西両側における層厚の中間の値を取っている。
- 福島第二サイトでは、逆解析により求めた各層の層厚が、反射法探査結果と調和的である。



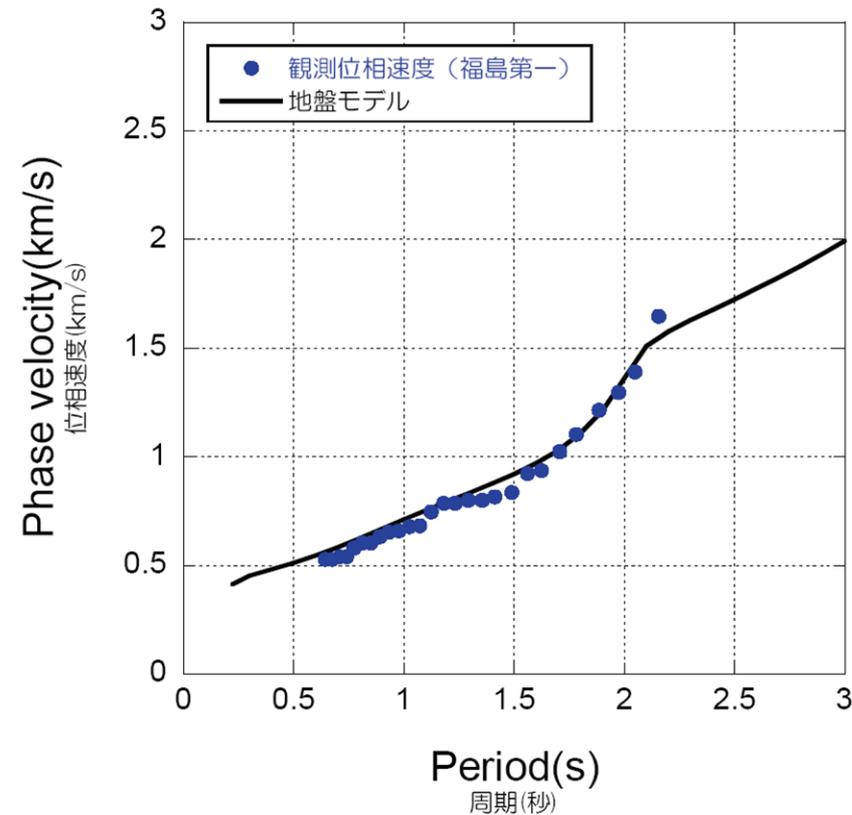
福島第一



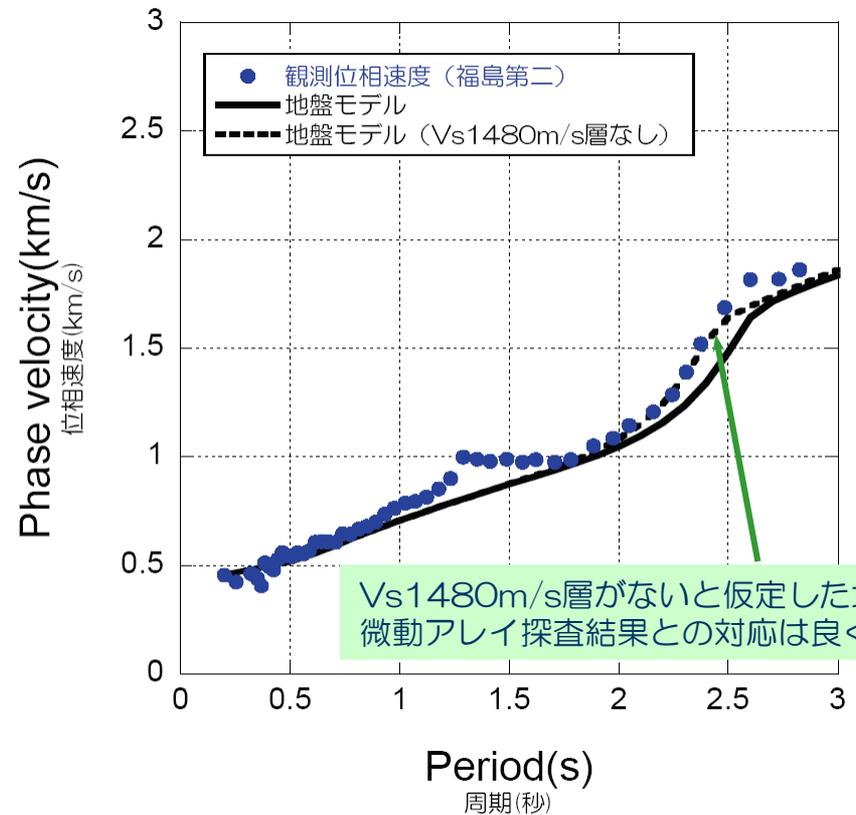
福島第二

# 見直した速度構造モデルと微動アレイ探査結果の比較

- 見直した速度構造モデルによる位相速度は、微動アレイ探査結果と概ね整合。
- 福島第二サイトの長周期側において、若干微動アレイ探査結果を下回る位相速度となっているが、これは微動アレイ探査の中心位置と地震観測点位置が離れており、微動アレイ探査位置ではVs1480m/s層が殆どないためと考えられる。



福島第一



福島第二

# 速度構造モデル見直しが地震動評価結果に及ぼす影響の把握

- 再構築した速度構造モデルに基づき、双葉断層による地震（断層長さ47.5km※）の基本震源モデルを対象としたハイブリッド法（統計的グリーン関数法＋理論的手法）による地震動評価を実施し、速度構造モデル見直しによる影響を把握する。

※中間報告後に実施した地質調査結果を踏まえ、断層長さは37kmと評価しているが、今回は速度構造モデルの見直しによる影響のみを把握するため、中間報告時と同様の断層長さ47.5kmとして評価を実施。

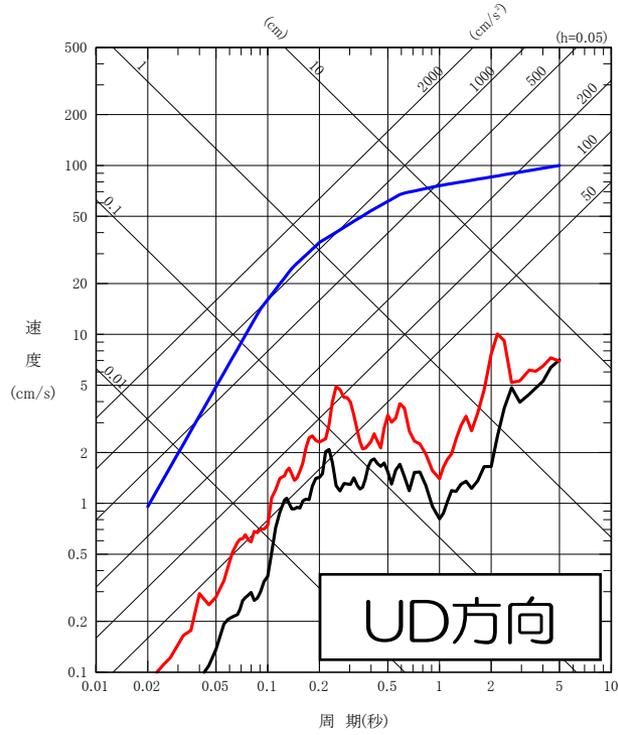
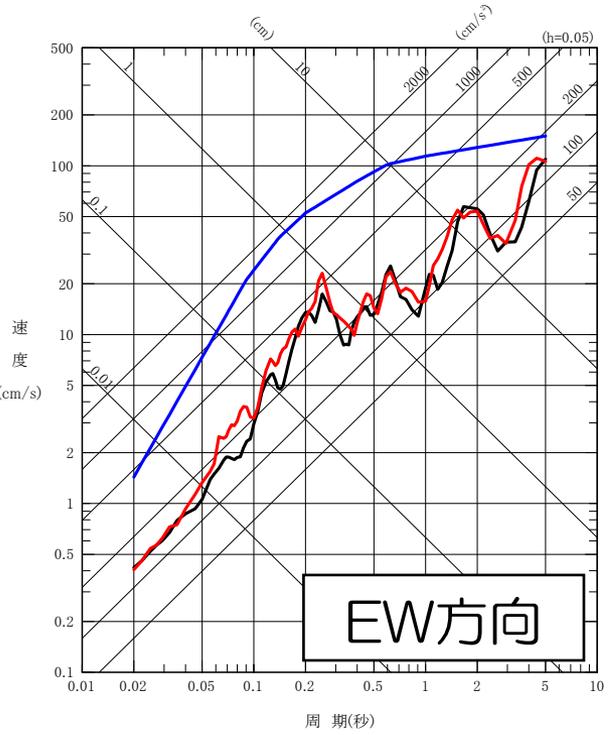
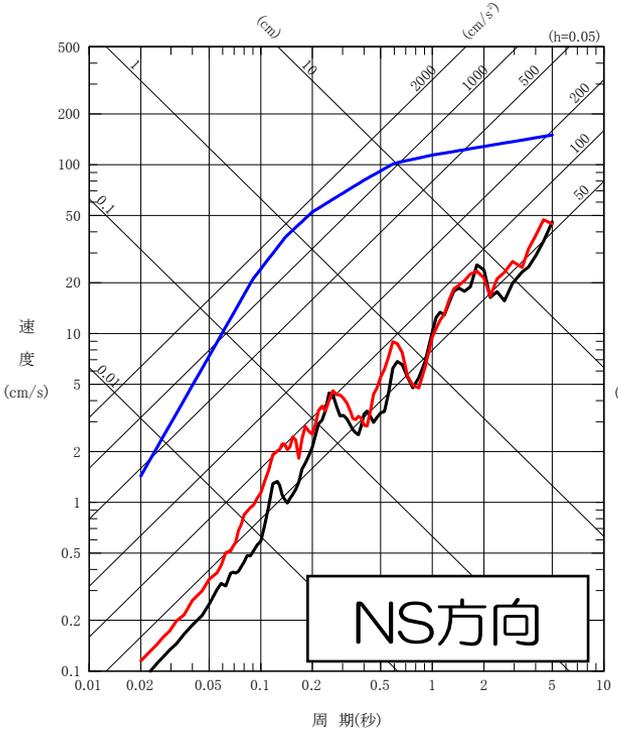
# 速度構造モデル見直し前後における地震動評価結果の比較

## 双葉断層による地震（基本震源モデル※）

※断層長さ47.5kmとした場合の評価。

### 福島第一

- 断層モデル（ハイブリッド法） 速度構造モデル見直し前（中間報告時）
- 断層モデル（ハイブリッド法） 速度構造モデル見直し後
- 基準地震動Ss-1H, Ss-1V



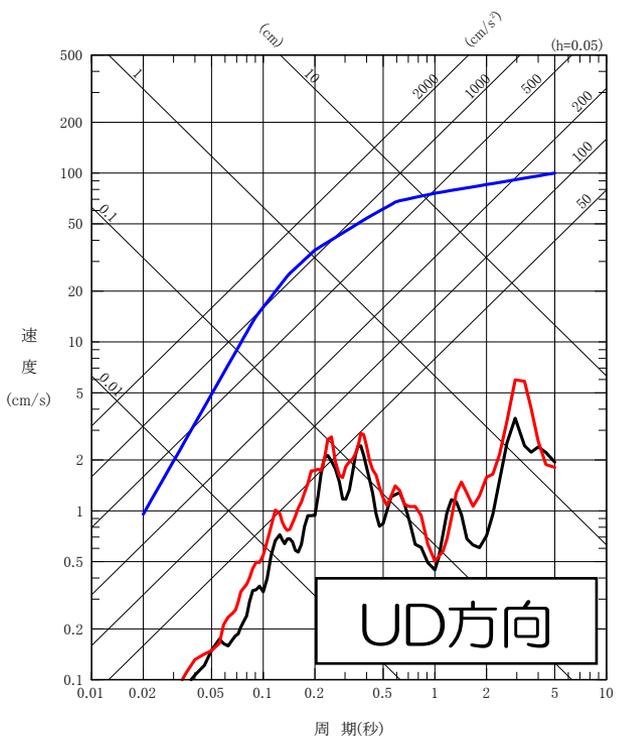
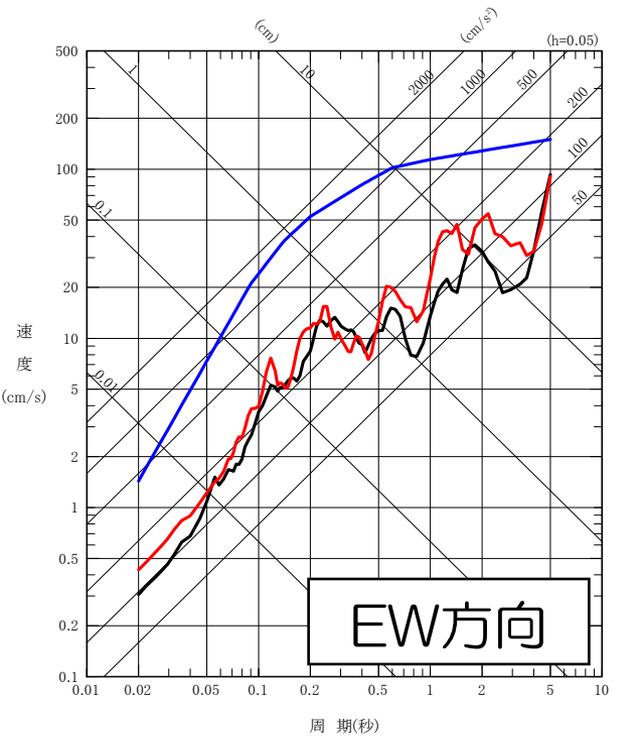
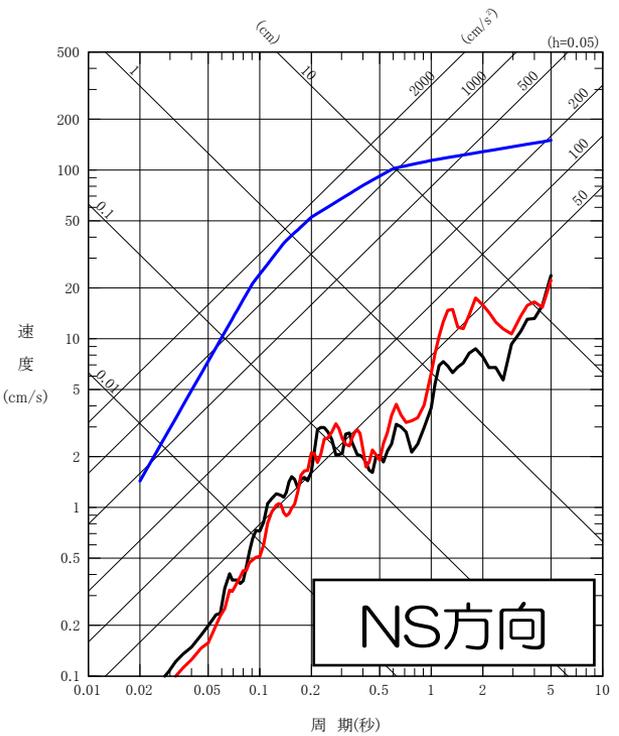
# 速度構造モデル見直し前後における地震動評価結果の比較

## 双葉断層による地震（基本震源モデル※）

※断層長さ47.5kmとした場合の評価。

### 福島第二

- 断層モデル（ハイブリッド法） 速度構造モデル見直し前（中間報告時）
- 断層モデル（ハイブリッド法） 速度構造モデル見直し後
- 基準地震動Ss-1H, Ss-1V



# 地下構造モデルの再構築に関するまとめ

- 平成20年3月の中間報告書提出後に行った地質調査結果，微動アレイ探査結果及び敷地周辺における既往の情報（富岡観測点のPS検層結果等）を踏まえた地下構造（速度構造）モデルの再構築を実施。
- また，速度構造モデルの見直しが地震動評価結果に及ぼす影響を把握するため，見直し後の速度構造モデルに基づき，双葉断層による地震（断層長さ47.5km）の基本震源モデルを対象としたハイブリッド法（統計的グリーン関数法＋理論的手法）による地震動評価を行い，見直し前の速度構造モデルに基づく地震動評価結果との比較を実施。
- その結果，速度構造モデルの見直し前後で地震動評価結果に大きな差はみられないことを確認した。

## 【参考6】地震観測記録に基づく地下構造の影響評価

# はじめに

## 検討の目的

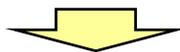
- 福島第一・福島第二サイトで得られた地震観測記録を震央の方位毎に分類し，地震波の到来方向による地震動特性の差異を比較することにより，両サイト周辺の地下構造（不整形性）が地震動特性に及ぼす影響を評価する。

## 地震動特性の評価方法

- 福島第一・福島第二サイト地震観測記録のうち，特異な地下構造を有していないと考えられる富岡観測点で同時に観測された記録を対象として，加速度応答スペクトル比（福島第一／富岡，福島第二／富岡）を算定する。

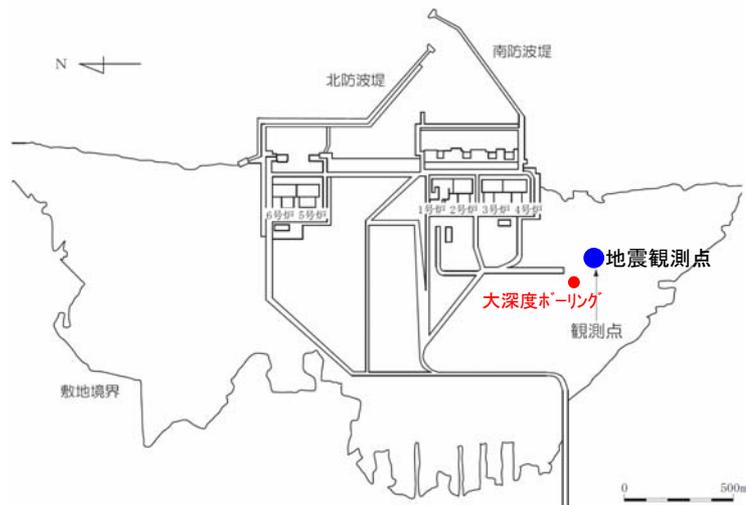


- 富岡観測点は福島第一・福島第二サイトの周辺に位置するため，同一の地震におけるスペクトル比を算定することにより，震源特性及び伝播経路特性による影響を除去することが可能。



応答スペクトル比は，福島第一・福島第二サイト周辺の地下構造による影響を表す。

# 福島第一サイト地震観測点における速度構造



建屋基礎下端深さ位置

- OP-3.06m (1F5)
- OP-4.00m (1F1,6)
- OP-6.06m (1F2,3,4)

解放基盤表面位置 OP-196m

GL (m)	OP (m)	地震計	地層区分	地質区分	層厚 (m)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)
0.0	34.9		段丘堆積物	第四紀	2.0	2.10	440	800
-2.0	32.9	●			6.0	2.10	440	800
-8.0	26.9				8.0	2.00	280	1,200
-16.0	18.9		富岡層	新第三紀	22.0	1.73	460	1,730
-38.0	-3.1				1.9	1.73	520	1,730
-39.9	-5.0	●			68.1	1.73	520	1,730
-108.0	-73.1				26.9	1.80	590	1,730
-134.9	-100.0	●			9.1	1.80	590	1,730
-144.0	-109.1		86.0	1.76	650	1,810		
-230.0	-195.1		先富岡層		4.9	1.80	730	2,000
-234.9	-200.0	●			100.0	1.80	730	2,000
-334.9	-300.0	●						

● : 本検討に用いた観測点

# 福島第二サイト地震観測点における速度構造



建屋基礎下端深さ位置

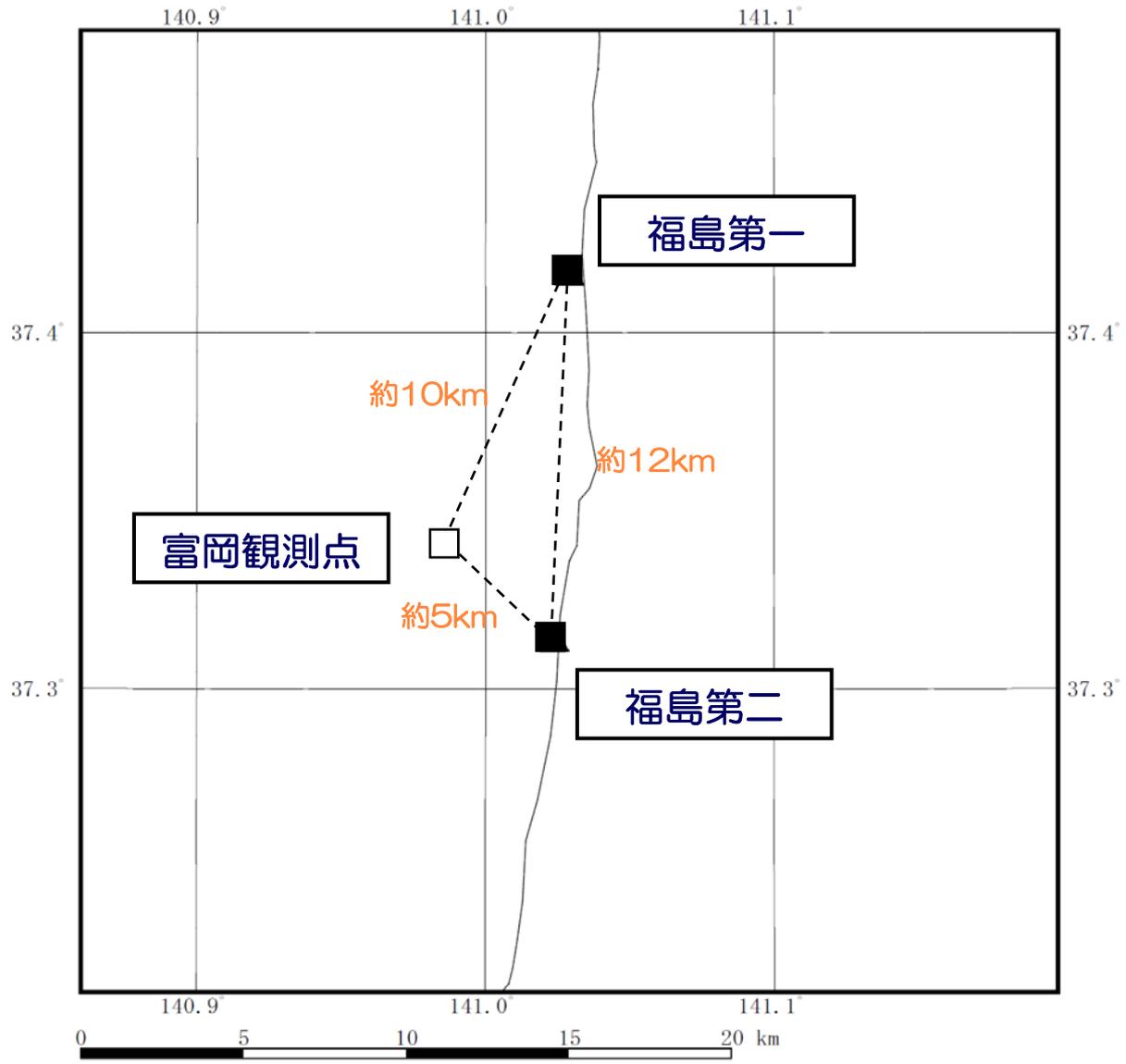
OP-5.50m (2F1)  
OP-6.50m (2F2,3,4)

解放基盤表面位置 OP-168m

GL (m)	OP (m)	地震計	地層区分	地質区分	層厚 (m)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)
0.0	12.2		盛土	新第三紀	2.0	1.65	350	890
-2.0	10.2	●			2.0	1.65	350	890
-4.0	8.2		富岡層		13.7	1.67	470	1,620
-17.7	5.5	●			5.3	1.67	470	1,620
-23.0	-10.8				28.0	1.70	470	1,620
-51.0	-38.8		先富岡層		11.2	1.73	530	1,800
-62.2	-50.0	●			42.8	1.73	530	1,800
-105.0	-92.8				65.0	1.73	530	1,880
-170.0	-157.8				42.2	1.73	810	1,950
-212.2	-200.0	●						

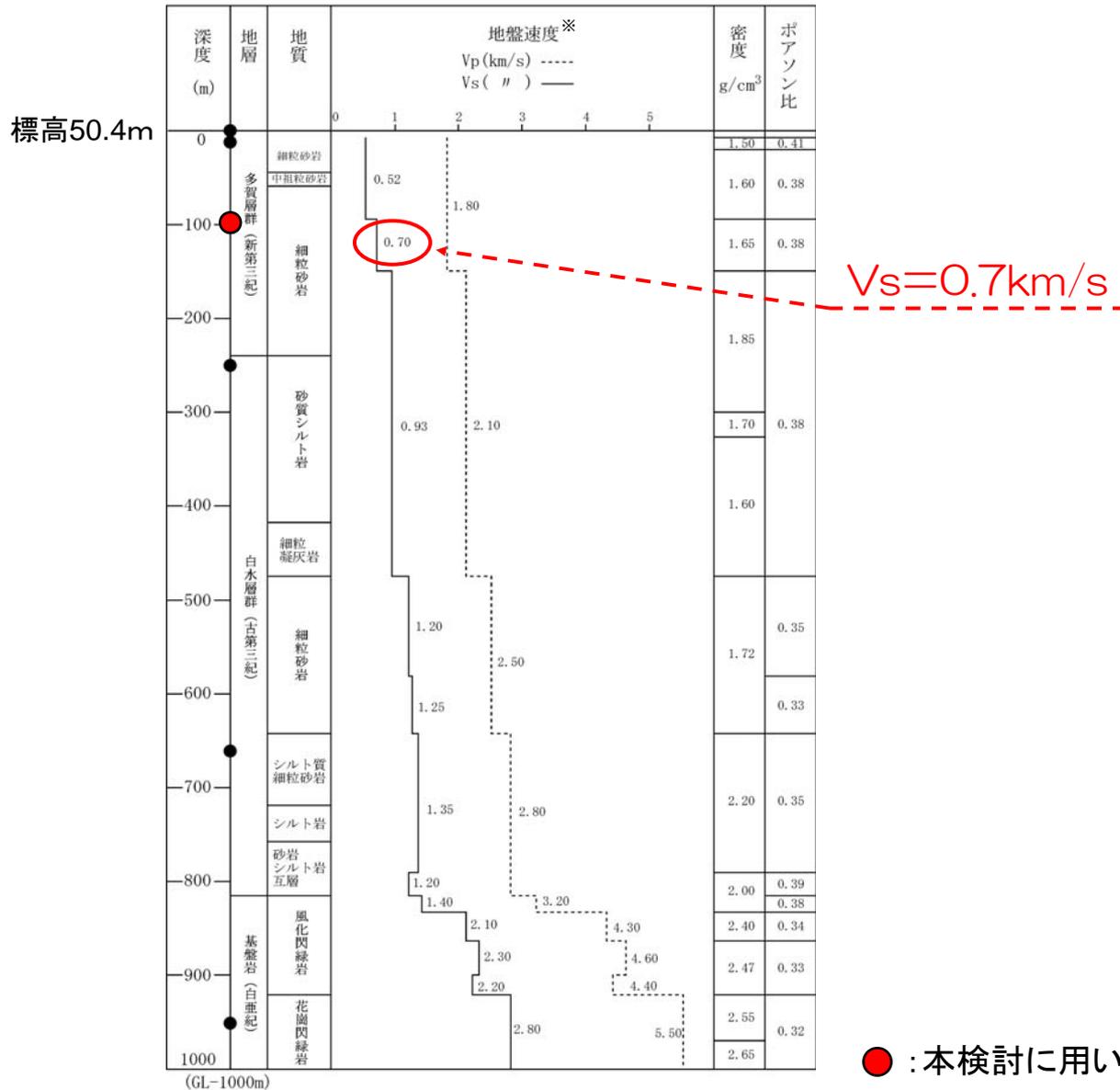
● : 本検討に用いた観測点

# 福島第一・福島第二サイトと富岡観測点の位置関係



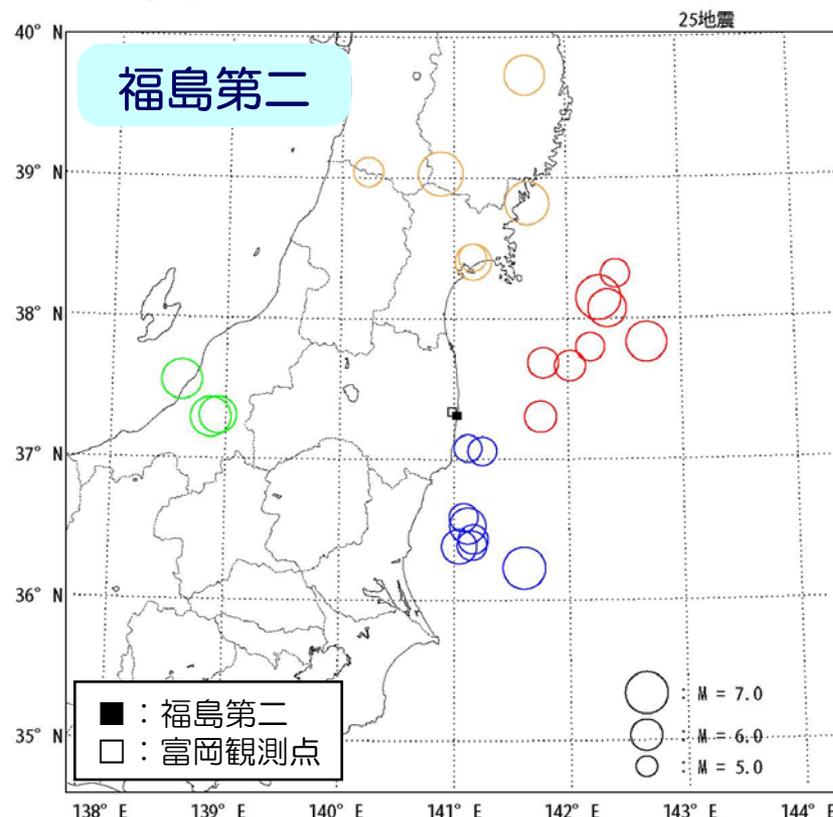
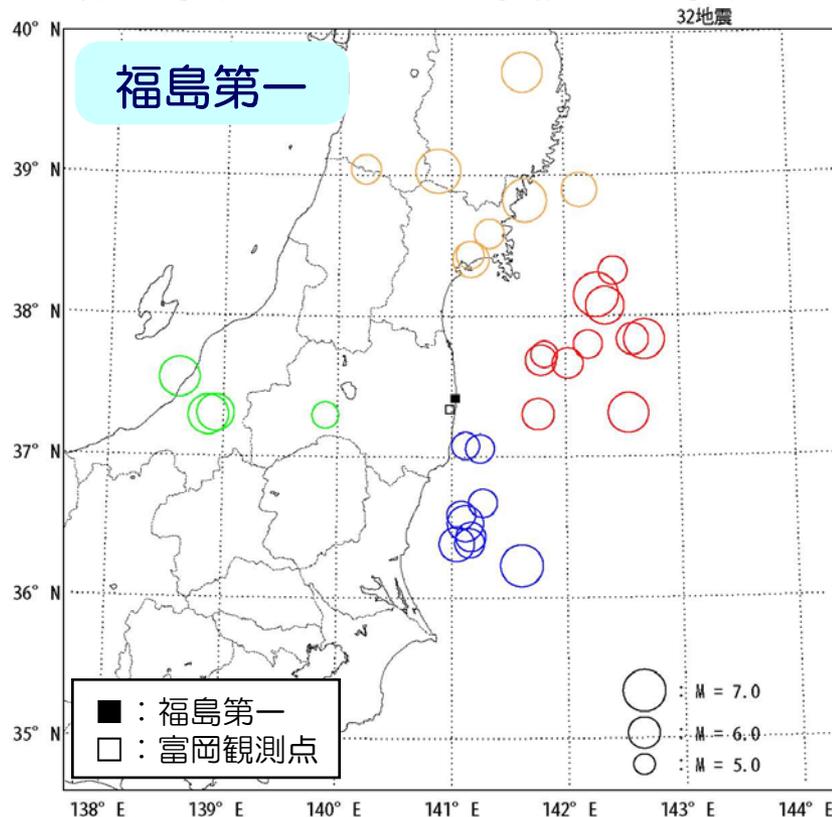
# 富岡観測点における速度構造

※ダウンホール法に基づく



# 検討地震の震央分布

- 福島第一・福島第二サイトにおいて、それぞれ観測開始～2008年の期間に富岡観測点と共通に観測された $M \geq 5.5$ の地震  
(福島第一：32地震，福島第二：25地震)



- 検討地震を東西南北の4方位に分け，方位毎に加速度応答スペクトル比（福島第一／富岡，福島第二／富岡）の平均値を算定し，各方位の平均スペクトル比を評価する。

# 応答スペクトル比の算定

- 富岡観測点は福島第一・福島第二サイトの近くに位置するものの、厳密には同一地震に対する震源距離が若干異なるため、加速度応答スペクトル比の算定にあたっては次式により震源距離の補正を行う。

$$R_{\text{FKS}/\text{TMK}}(T) = \frac{S_{\text{FKS}}(T) \cdot X_{\text{FKS}}}{S_{\text{TMK}}(T) \cdot X_{\text{TMK}}}$$

ここに、

$S_{\text{FKS}}(T)$  : 福島第一・福島第二サイトの観測記録に基づく加速度  
応答スペクトル ( $h=5\%$ )

$S_{\text{TMK}}(T)$  : 富岡観測点の観測記録に基づく加速度応答スペクトル  
( $h=5\%$ )

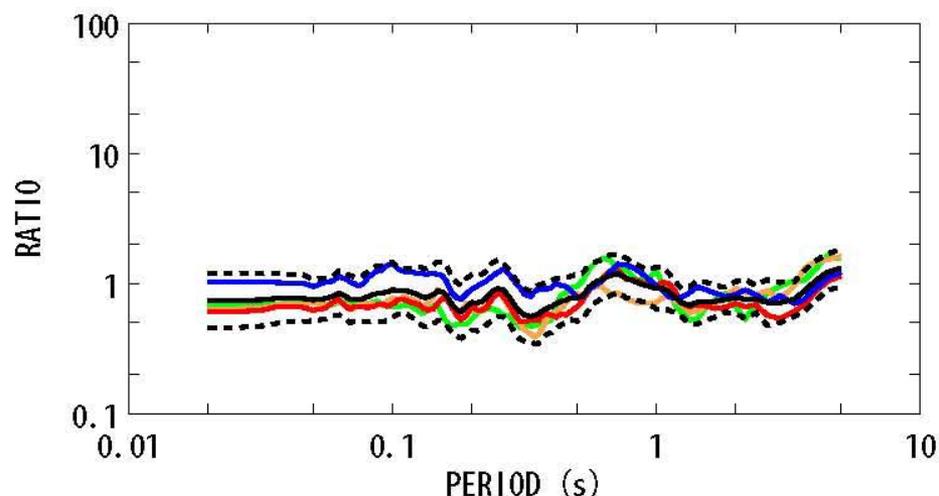
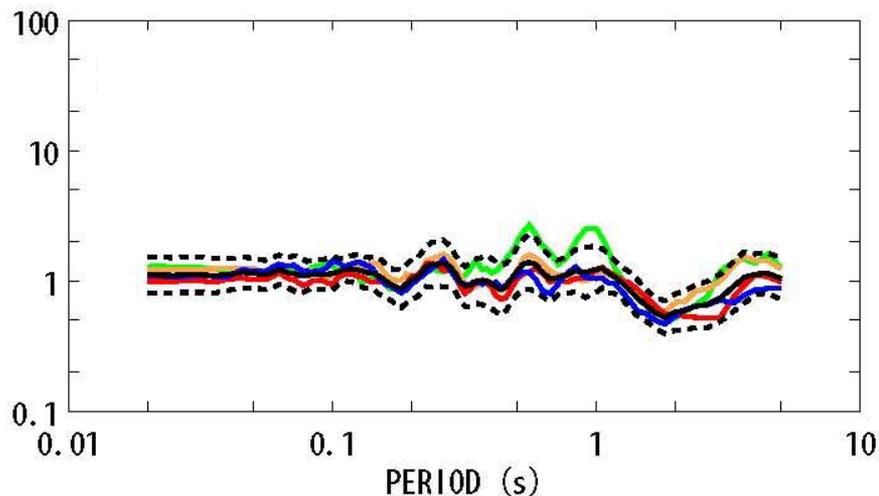
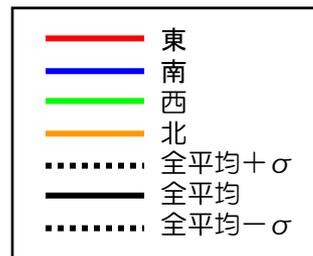
$X_{\text{FKS}}$  : 福島第一・福島第二サイトの震源距離

$X_{\text{TMK}}$  : 富岡観測点の震源距離

# 震央方位毎の福島第一・福島第二と富岡観測点の平均スペクトル比

- 福島第一・福島第二とも富岡観測点に対する平均スペクトル比は震央の方位によって大きく変化することはなく、概ね1程度。

NS方向



福島第一 (GL-335m) / 富岡 (GL-100m)

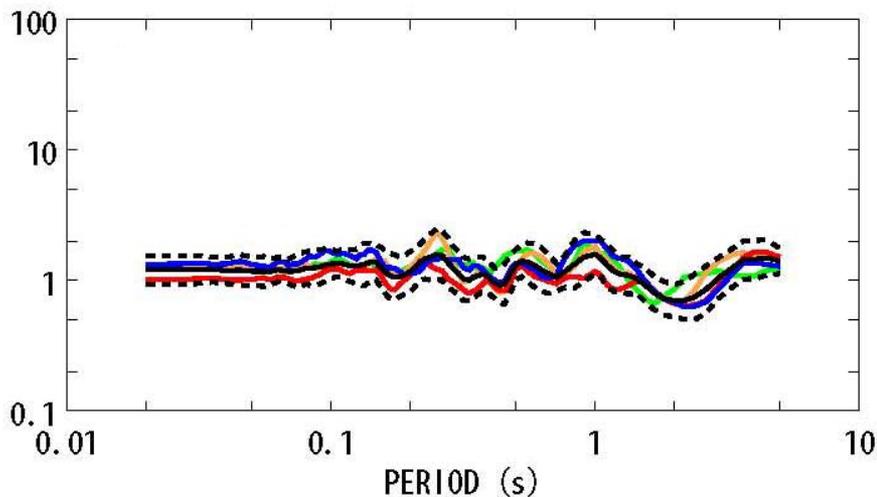
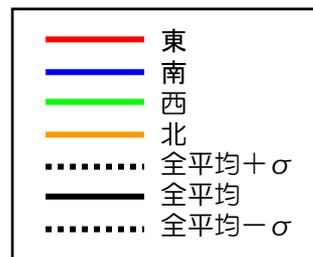
福島第二 (GL-212m) / 富岡 (GL-100m)

福島第一の一部周期帯で西側のスペクトル比が他の方向より大きめとなっているが、敷地の西側に検討用地震はないため、地震動評価上の影響はない。

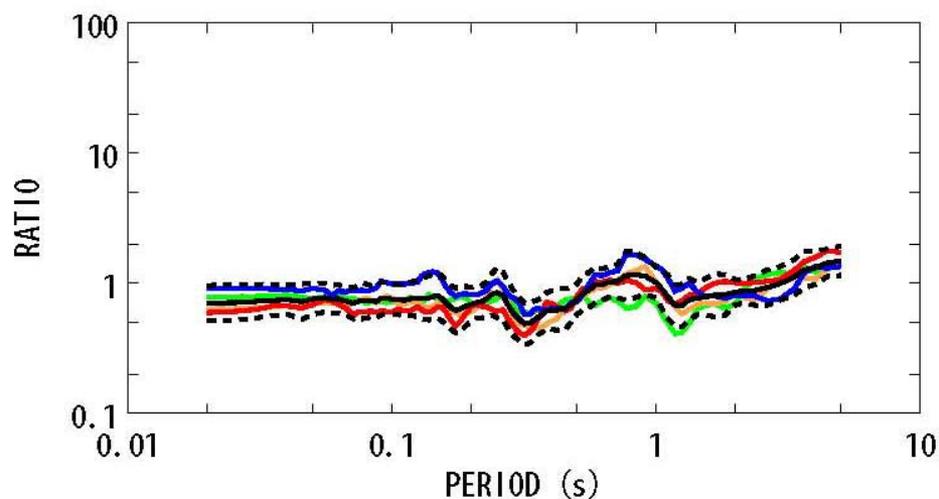
# 震央方位毎の福島第一・福島第二と富岡観測点の平均スペクトル比

- 福島第一・福島第二とも富岡観測点に対する平均スペクトル比は震央の方位によって大きく変化することはなく、概ね1程度。

EW方向



福島第一 (GL-335m) / 富岡 (GL-100m)

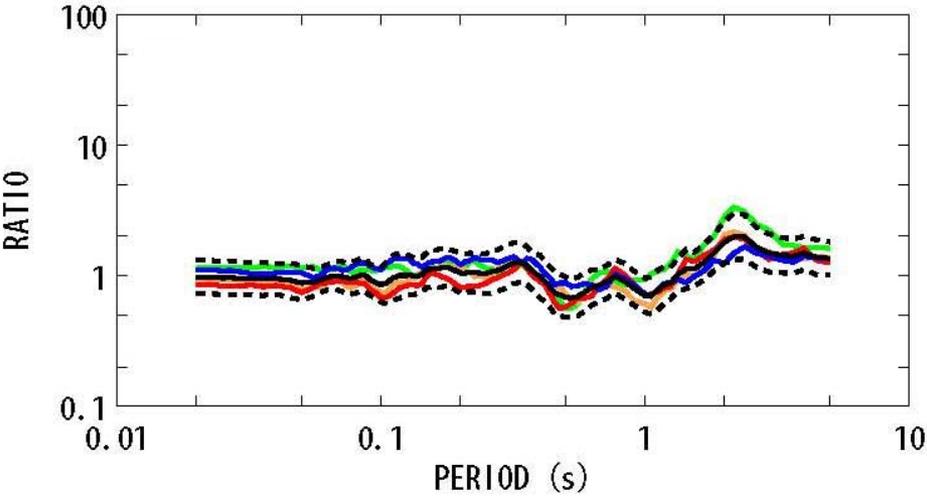
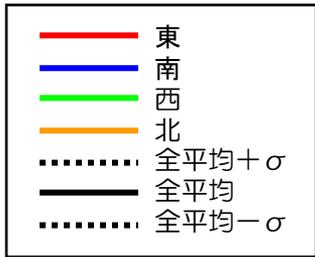


福島第二 (GL-212m) / 富岡 (GL-100m)

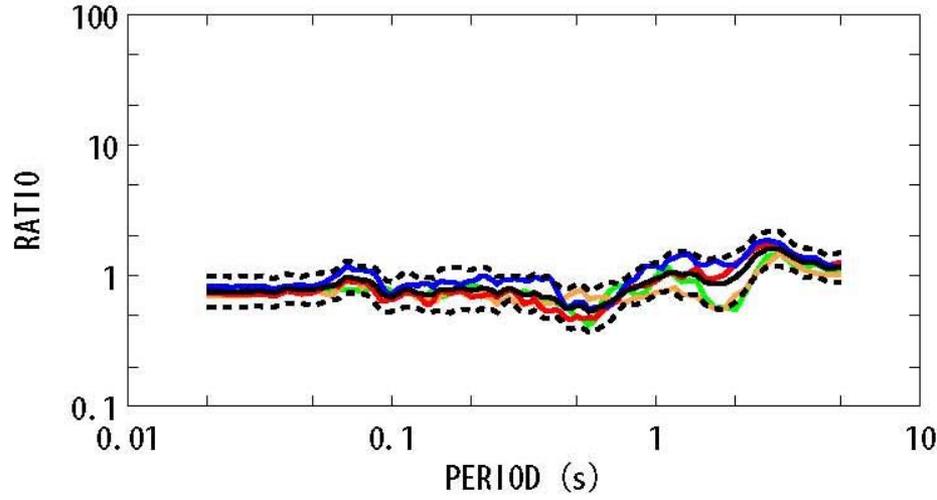
# 震央方位毎の福島第一・福島第二と富岡観測点の平均スペクトル比

■ 福島第一・福島第二とも富岡観測点に対する平均スペクトル比は震央の方位によって大きく変化することはなく、概ね1程度。

UD方向



福島第一 (GL-335m) / 富岡 (GL-100m)



福島第二 (GL-212m) / 富岡 (GL-100m)

# 地下構造の影響評価に関するまとめ

- 福島第一・福島第二サイト周辺の地下構造が地震動特性に及ぼす影響を評価するため、両サイト及び富岡観測点で得られた地震観測記録を用いて、震央の方位毎に加速度応答スペクトル比（福島第一／富岡，福島第二／富岡）の平均値を算定し、各方位の平均スペクトル比を比較した。
- その結果、福島第一・福島第二サイトとも富岡観測点に対する平均スペクトル比は震央の方位によって大きく変化することはなく、概ね1程度であり、福島第一・福島第二サイト周辺の地下構造が地震動特性に及ぼす影響は小さいことを確認した。