

女川原子力発電所 基準津波の策定のうち  
「東北地方太平洋沖型の地震」に起因する津波の評価について  
(コメント回答)

---

平成27年10月23日  
東北電力株式会社

## 審査会合におけるコメント①

No.	コメント時期	コメント内容	説明資料
S53	1月23日 第185回審査会合	発電所はリアス式海岸の南部に位置することから、基準津波水位の評価に複雑な地形の影響が考慮されているかを確認するため、女川湾等の周期特性について説明すること。	次回以降ご説明
S54	1月23日 第185回審査会合	分岐断層及び海底活断層に関する最新の知見を収集し、評価への反映の要否について検討すること。	次回以降ご説明
S55	1月23日 第185回審査会合	評価に用いた潮位条件の詳細(観測位置, 観測期間)を説明すること。	次回以降ご説明
S56	1月23日 第185回審査会合	三陸沖北部への連動性を考えるにあたっては、3.11ですべりを生じた福島県沖の固着に関する最新の知見も分析に加え、総合的に考察すること。	第2章(p13~37)
S57	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの断層面積及びMwの妥当性について説明すること。	第2章(p13~37) 第3章(p38~106)
S58	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの設定方法のうち、大すべり域・超大すべり域を設定することによるMwの調整を、波源域全体で調整しているが、背景領域を設定して調整した場合にどのような影響があるか説明すること。	第3章(p38~106)
S59	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの波源域全体に占める大すべり域の割合を変化させた場合にどのような影響があるか説明すること。	第3章(p38~106)
S60	1月23日 第185回審査会合	すべりの不均質性を考慮した内閣府モデル、女川再現モデル、特性化モデルの大すべり域が、最も厳しい位置となっているか確認すること。	第3章(p38~106) 第5章(p111~121)
S61	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの破壊伝播速度及びライズタイムの不確かさを考慮した場合の影響を検討すること。	次回以降ご説明
S62	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの剛性率の妥当性について説明すること。	第3章(p38~106)

## 審査会合におけるコメント②

No.	コメント時期	コメント内容	説明資料
S72	3月20日 第210回審査会合	津波地震、海洋プレート内地震の評価について、地震規模の設定並びに波源特性の不確かさの考慮方法が女川地点の評価決定ケースとして十分厳しくなっているか、地震調査研究推進本部の知見等も踏まえ、再度説明すること。	次回以降ご説明
S73	3月20日 第210回審査会合	津波地震、海洋プレート内地震の評価決定ケースが最も厳しい位置となっているか確認すること。合わせて、発電所に厳しい位置がどこになるか図で示すこと。	次回以降ご説明
S74	3月20日 第210回審査会合	津波地震、海洋プレート内地震の評価決定ケースを対象に、防波堤無しを検討を実施すること。	次回以降ご説明
S75	3月20日 第210回審査会合	海洋プレート内地震の波源位置の不確かさについて、現状、アウターライズ領域での南北方向の検討を実施しているが、東西方向(海溝軸直交方向)となる検討を実施すること。合わせて、起震応力が共通で共役な断層となることも踏まえた検討も実施すること(西落ち傾斜、東落ち傾斜)。また、プレート上面の傾斜も考慮して検討してほしい。	次回以降ご説明
S76	3月20日 第210回審査会合	小平ほか(2012)で示されている3.11地震時における海溝付近の海底地すべりが発生した場合の影響を検討すること。	次回以降ご説明
S77	3月20日 第210回審査会合	日本海溝海側の海山付近における海底地すべりについて、最新の知見を収集すること。	次回以降ご説明
S78	3月20日 第210回審査会合	海洋プレート内地震の断層上縁深さの設定根拠を説明すること。	次回以降ご説明
S79	3月20日 第210回審査会合	津波地震、海洋プレート内地震の評価フローの記載方法について、検討内容に合わせて修正すること。	次回以降ご説明

## 目次

---

1. 本説明(コメント回答)の全体概要 ..... p5
2. 想定波源域及び地震規模の設定 ..... p13
3. 特性化モデル(基準断層モデル)の設定 ..... p38
4. 基準断層モデルの再整理 ..... p107
5. 波源特性の不確かさに関する検討(内閣府(2012)モデル・女川再現モデル) ..... p111

余白

## 1. 本説明(コメント回答)の全体概要

---

1. 1 本説明(コメント回答)の基本方針	.....	p6
1. 2 特性化モデルに関する評価の概要	.....	p9

## 1. 本説明(コメント回答)の全体概要

### 1.1 本説明(コメント回答)の基本方針①

#### 1. 想定波源域及び地震規模の設定

##### ■ 審査会合での説明

- 2011年東北地方太平洋沖地震(以下、「3.11地震」という。)から得られた知見, 世界のプレート境界で発生しているM9クラスの巨大地震における地震学的・地質学的・測地学的知見から, 女川地点に影響を及ぼす日本海溝沿いにおいて, 地震調査研究推進本部(2012, 2014a)が評価した「東北地方太平洋沖型の地震(Mw8.4~9.0)」を上回る規模の地震が発生する可能性は低いと評価。
- さらに, 3.11地震が発生した領域において, 今後, 数百年の間にM9クラスの巨大地震が発生する可能性は極めて低いと評価されるが, 安全側に「東北地方太平洋沖型の地震」を基準断層モデルとして考慮。



No.	コメント時期	コメント内容
S56	1月23日 第185回審査会合	三陸沖北部への連動性を考えるにあたっては, 3.11ですべりを生じた福島県沖の固着に関する最新の知見も分析に加え, 総合的に考察すること。
S57	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの断層面積及びMwの妥当性について説明すること。



##### ■ 本説明(コメント回答)の基本方針

- 以下の追加検討を実施して, 地震調査研究推進本部(2012, 2014a)が評価した「東北地方太平洋沖型の地震(Mw8.4~9.0)」を上回る規模の地震が発生する可能性を改めて評価し, 特性化モデル(基準断層モデル)の巨視的波源特性のうち想定波源域の設定に反映する。
  - 日本海溝沿いにおけるテクトニクス背景の再整理を行うとともに, 3.11地震ですべりを生じた福島県沖・茨城県沖における地震学的知見・測地学的知見を踏まえた固着等に関する追加の分析を実施する。
  - 各領域の固着等の分析結果を踏まえ, M9クラスの巨大地震を発生させる宮城県沖の固着域を起点(震源)とする破壊の伝播範囲について考察し, 「東北地方太平洋沖型の地震」の想定波源域及び地震規模を評価する。
  - 上記評価結果の妥当性について, 2004年スマトラ~アンダマン地震での事例を踏まえ, 同様の破壊現象(破壊伝播)が, 日本海溝沿いでも発生するかどうかを検討する。

## 1. 本説明(コメント回答)の全体概要

### 1.1 本説明(コメント回答)の基本方針②

#### 2. 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

##### ■ 審査会合での説明

- 3.11地震から得られた知見を踏まえ、波源特性の不確かさのうち津波高さに大きな影響を与える大すべり域(宮城県沖の固着域)の不確かさを幅広く考慮できるモデルとして、特性化モデルを設定。
- 特性化モデルの妥当性確認は、各再現モデルによる敷地前面における津波水位を上回る安全側のモデルになっていることを確認することにより実施。



No.	コメント時期	コメント内容
S57	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの断層面積及びMwの妥当性について説明すること。
S58	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの設定方法のうち、大すべり域・超大すべり域を設定することによるMwの調整を、波源域全体で調整しているが、背景領域を設定して調整した場合にどのような影響があるか説明すること。
S59	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの波源域全体に占める大すべり域の割合を変化させた場合にどのような影響があるか説明すること。
S60	1月23日 第185回審査会合	すべりの不均質性を考慮した内閣府モデル、女川再現モデル、特性化モデルの大すべり域が、最も厳しい位置となっているか確認すること。
S62	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの剛性率の妥当性について説明すること。



## 1. 本説明(コメント回答)の全体概要

### 1.1 本説明(コメント回答)の基本方針②

S● : 審査会合コメントNo.

#### ■本説明(コメント回答)の基本方針

##### (1)3.11地震から得られた知見の整理

- 3.11地震の地震特性を再現するモデル(震源断層モデル)、津波特性を再現するモデル(津波波源モデル)の比較等から、特性化モデル(基準断層モデル)の設定にあたって反映が必要な知見は、以下のとおり整理される。

- 広域に亘って、時間的・空間的に複雑なすべり分布の不均一性が見られたが、女川地点の津波高さに大きな影響を及ぼしたのは、震源付近(宮城県沖)で生じた大きなすべり領域である(Satake et al.(2013), 杉野ほか(2013))。
- 震源断層モデル(地震特性)と津波波源モデル(津波特性)には違いが見られる(地震調査研究推進本部(2012)他)。
- 実現象に近い破壊メカニズム(=地震特性)を再現するモデルと、広域沿岸部の痕跡高(=津波特性)を再現するモデルは異なり、両モデルの差を埋めるのは、今後検討すべき課題である(杉野ほか(2013))。

##### (2)特性化モデル(基準断層モデル)設定にあたっての基本方針

- 3.11地震から得られた知見の整理結果を踏まえ、以下の基本方針に基づき、広域の津波特性をモデルに反映する観点から、3.11地震を上回る規模の特性化モデル(基準断層モデル)を設定して、基準津波を評価する。

###### a. 知見: i, iiiの反映

①地震特性の観点:宮城県沖の大すべり域(固着域)の破壊特性を考慮したモデル、②津波特性の観点:広域の津波特性(沿岸部の痕跡高)を考慮したモデルの2つのモデルを基本として設定する。 **S58** **S59** **S62**

###### b. 科学的想像力の発揮

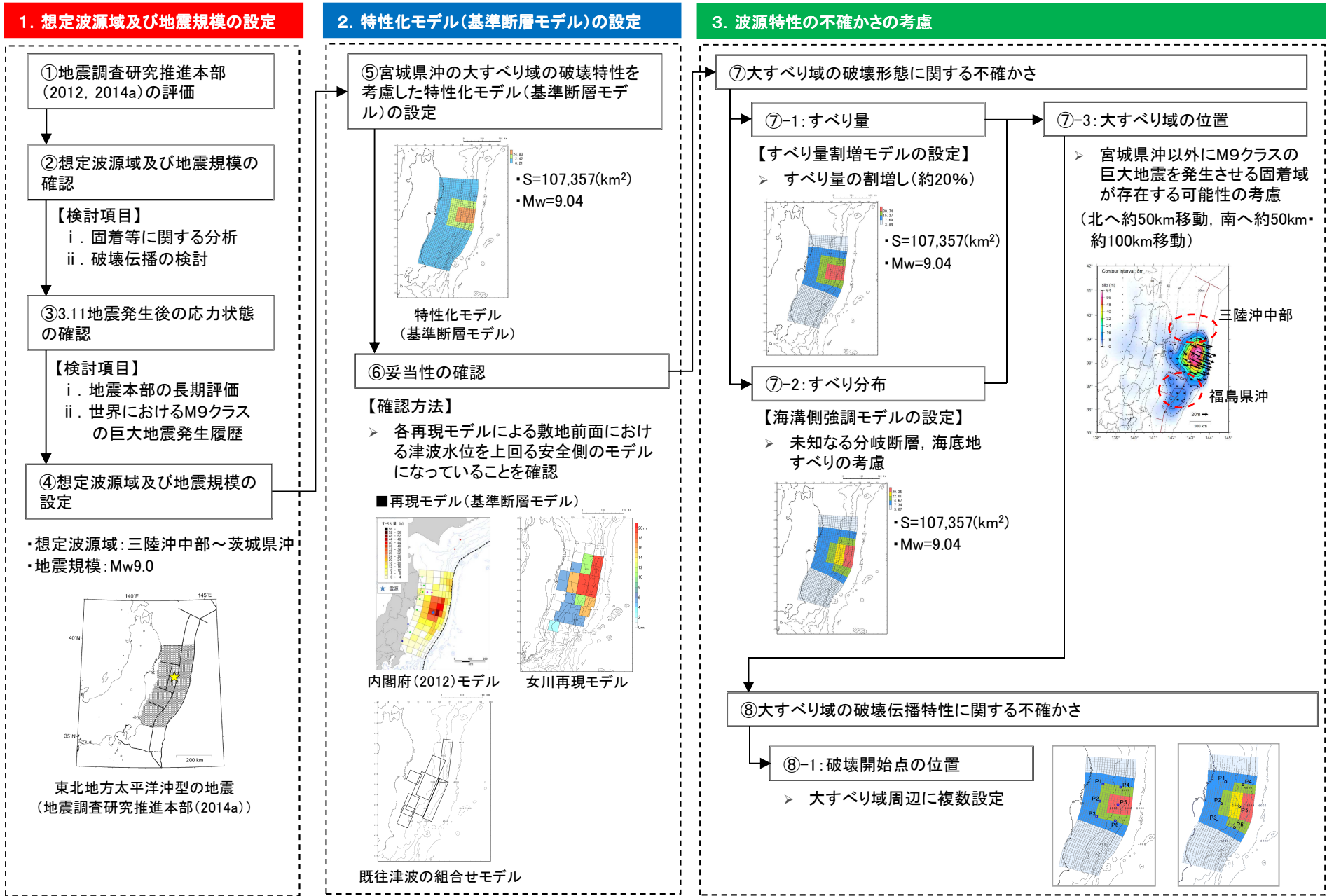
次の「東北地方太平洋沖型の地震」が、3.11地震と同様の破壊形態で発生するとは限らないことから、発電所の津波高さに与える影響が大きい宮城県沖の大すべり域(固着域)の破壊位置にゆらぎが存在する可能性を考慮して、発電所に与える影響が大きい大すべり域・超大すべり域の位置を検討する。 **S60**

###### c. 知見: iiの反映

最新の科学的・技術的知見から、地震調査研究推進本部(2012, 2014a)が評価した「東北地方太平洋沖型の地震(想定波源域:三陸沖中部～茨城県沖, 地震規模:Mw9.0)」を上回る規模の地震が発生する可能性は低いと評価されるが、広域の津波特性を特性化モデル(基準断層モデル)に適切に反映する観点から、上記①のモデルについては、震源断層モデルと津波波源モデルの断層面積の違いを大すべり域・超大すべり域のすべり量の増分(約20%)として考慮する。また、上記②のモデルについては、波源域の北端を三陸沖北部まで拡大する。 **S57**

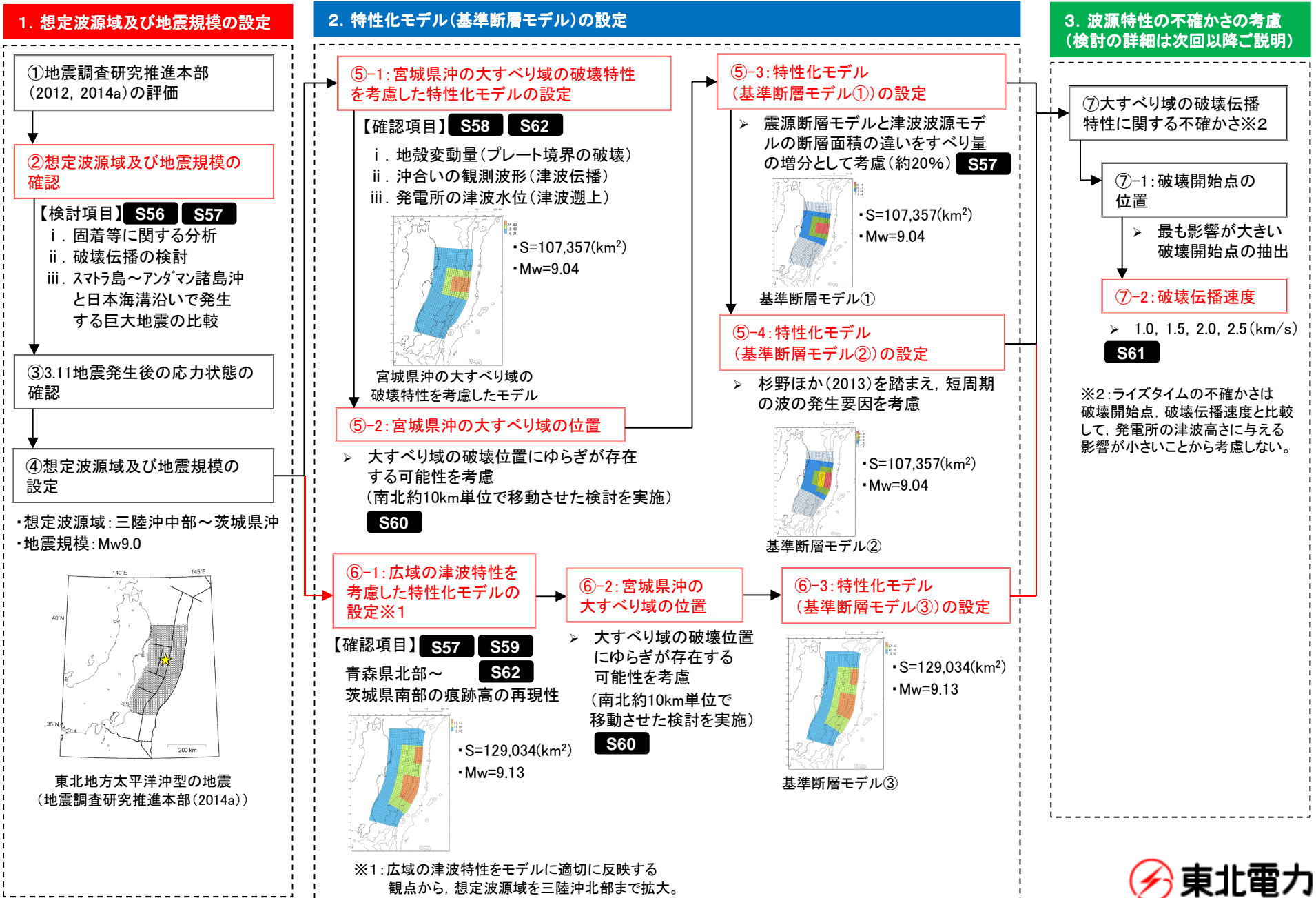
# 1. 本説明(コメント回答)の全体概要

## 1.2 特性化モデルに関する評価の概要: 審査会合でご説明した評価の概要



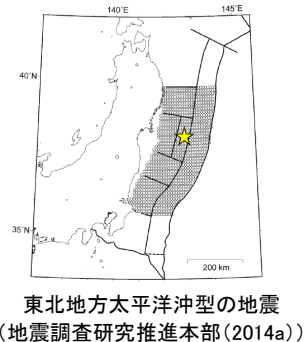
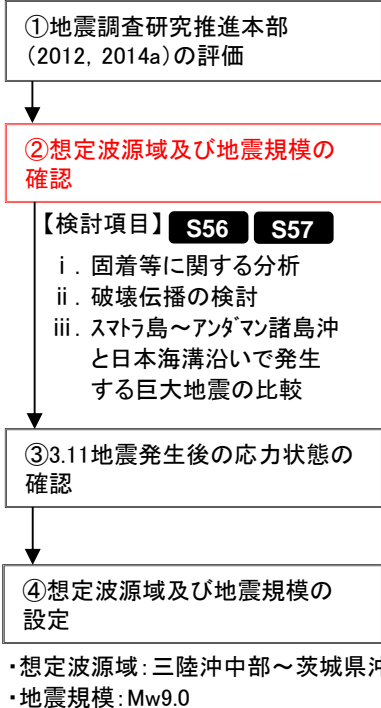
# 1. 本説明(コメント回答)の全体概要

## 1.2 特性化モデルに関する評価の概要: 今回

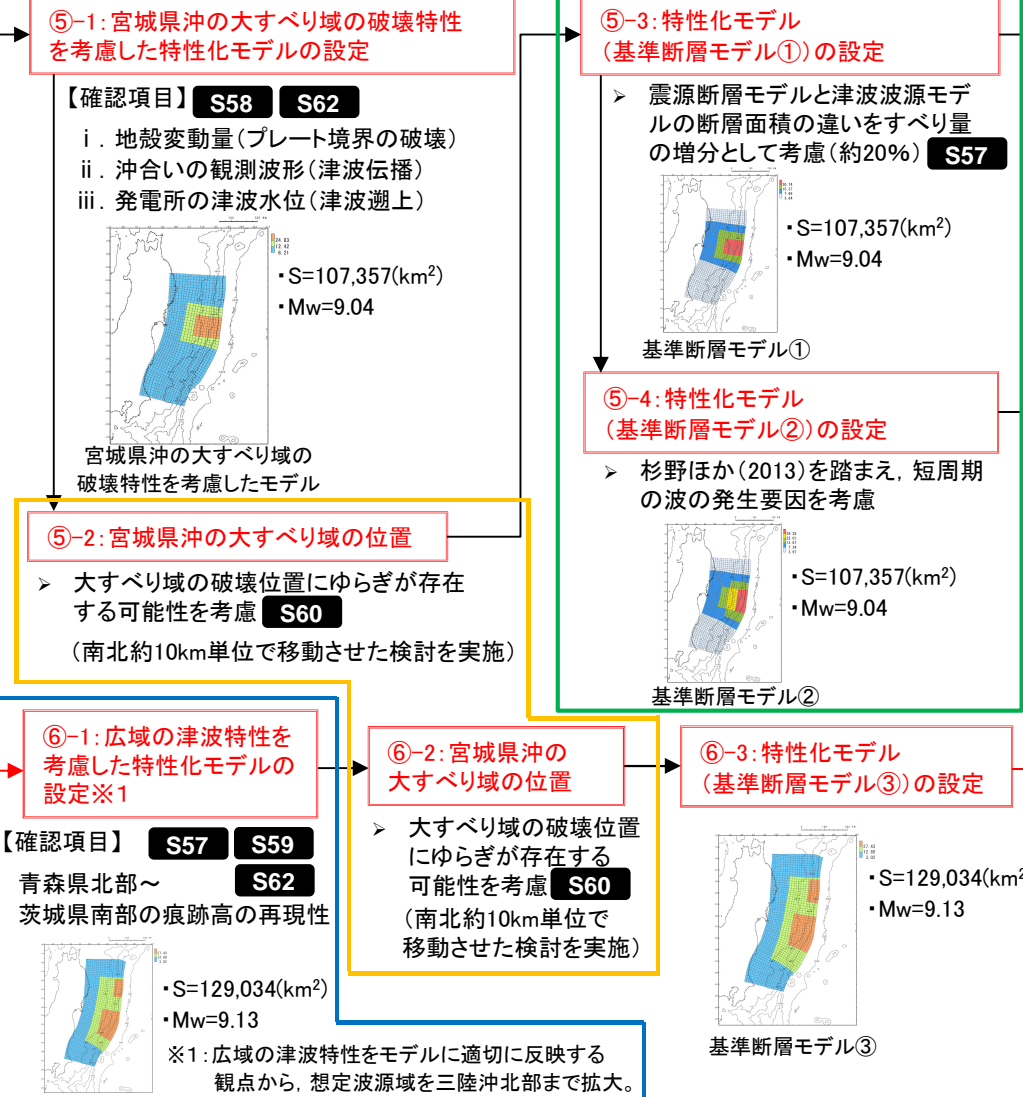


- 地震特性の観点から評価した「宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(下図:⑤-1)」に追加して、広域の津波特性をモデルに反映する観点から、想定波源域及び地震規模を大きくした「広域の津波特性を考慮した特性化モデル(下図:⑥-1)」を新たに設定。
- 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(下図:⑤-1)については、震源断層モデルと津波波源モデルの断層面積の違い等を考慮して、「すべり量割増モデル」を「基準断層モデル①(下図:⑤-3)」に、「海溝側強調モデル」を「基準断層モデル②(下図:⑤-4)」に設定(位置付けを変更)。
- 基準断層モデルは、発電所の津波高さに与える影響が大きい宮城県沖の大すべり域の位置を検討(下図:⑤-2, ⑥-2)した上で設定。

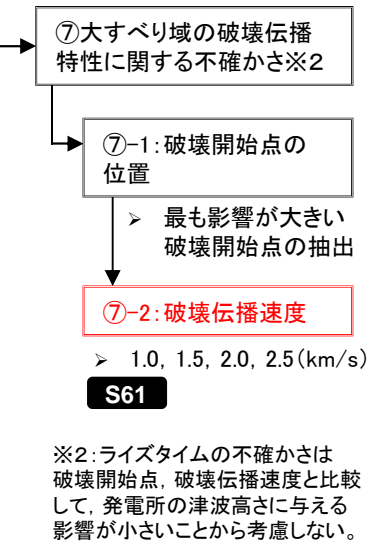
1. 想定波源域及び地震規模の設定



2. 特性化モデル(基準断層モデル)の設定



3. 波源特性の不確かさの考慮(検討の詳細は次回以降ご説明)



余白

## 2. 想定波源域及び地震規模の設定

---

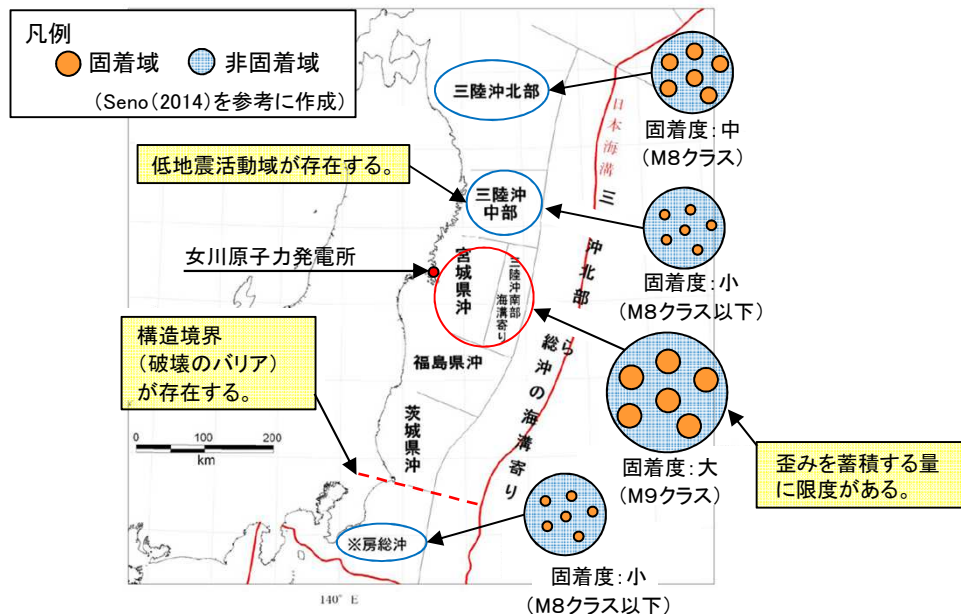
2. 1	審査会合での説明とコメント内容	p14
2. 2	本説明(コメント回答)の基本方針	p15
2. 3	地震調査研究推進本部の評価	p16
2. 4	日本海溝沿いにおけるテクトニクス的背景	p17
2. 5	福島県沖・茨城県沖の固着等に関する分析	p18
2. 6	破壊の伝播範囲に関する考察	p25
2. 7	想定波源域及び地震規模の評価	p26
2. 8	スマトラ島～アンダマン諸島沖と日本海溝沿いで発生する巨大地震の比較	p27
2. 9	まとめ	p37

## 2. 想定波源域及び地震規模の設定

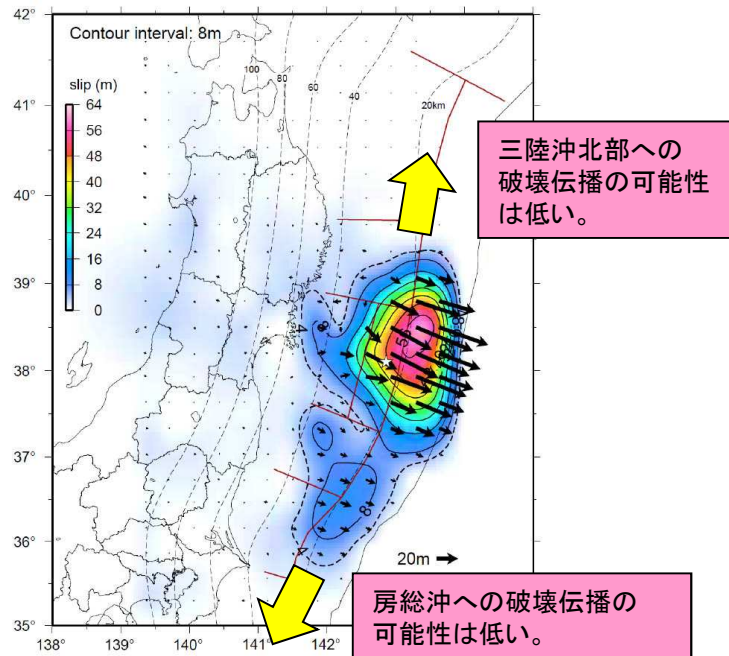
### 2.1 審査会合での説明とコメント内容

#### ■審査会合での説明

- 3.11地震から得られた知見, 世界のプレート境界で発生しているM9クラスの巨大地震における地震学的・地質学的・測地学的知見から, 女川地点に影響を及ぼす日本海溝沿いにおいて, 地震調査研究推進本部(2012, 2014a)が評価した「東北地方太平洋沖型の地震(Mw8.4~9.0)」を上回る規模の地震が発生する可能性は低いと評価。
- さらに, 3.11地震が発生した領域において, 今後, 数百年の間にM9クラスの巨大地震が発生する可能性は極めて低いと評価されるが, 安全側に「東北地方太平洋沖型の地震」を基準断層モデルとして考慮。



各領域の固着等に関する分析結果  
(地震調査研究推進本部(2012)に一部加筆)



宮城県沖の固着を起点とする  
破壊伝播の検討結果  
(地震調査研究推進本部(2012)に一部加筆)

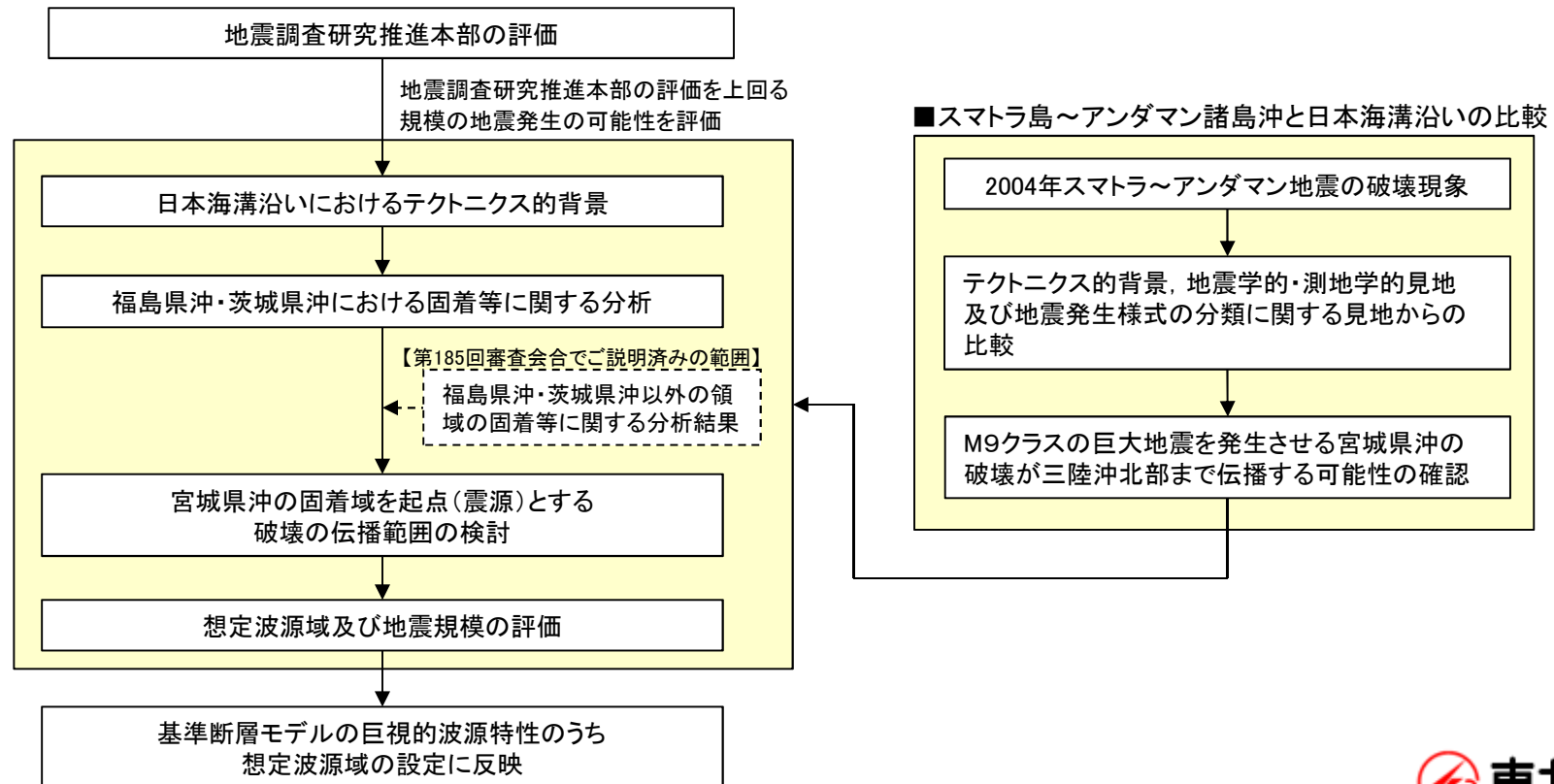
No.	コメント時期	コメント内容
S56	1月23日 第185回審査会合	三陸沖北部への連動性を考えるにあたっては, 3.11ですべりを生じた福島県沖の固着に関する最新の知見も分析に加え, 総合的に考察すること。
S57	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの断層面積及びMwの妥当性について説明すること。

## 2. 想定波源域及び地震規模の設定

### 2.2 本説明(コメント回答)の基本方針

- 以下の追加検討を実施して、地震調査研究推進本部(2012, 2014a)が評価した「東北地方太平洋沖型の地震(Mw8.4~9.0)」を上回る規模の地震が発生する可能性を改めて評価し、基準断層モデルの巨視的波源特性のうち想定波源域の設定に反映する。
  - 日本海溝沿いにおけるテクトニクス背景の再整理を行うとともに、3.11地震ですべりを生じた福島県沖・茨城県沖における地震学的知見・測地学的知見を踏まえた固着等に関する追加の分析を実施する。
  - 各領域の固着等の分析結果を踏まえ、M9クラスの巨大地震を発生させる宮城県沖の固着域を起点(震源)とする破壊の伝播範囲について考察し、「東北地方太平洋沖型の地震」の想定波源域及び地震規模を評価する。
  - 上記評価結果の妥当性について、2004年スマトラ~アンダマン地震での事例も踏まえ、同様の破壊現象(破壊伝播)が、日本海溝沿いでも発生するかどうかを検討する。

■ : ご説明の範囲



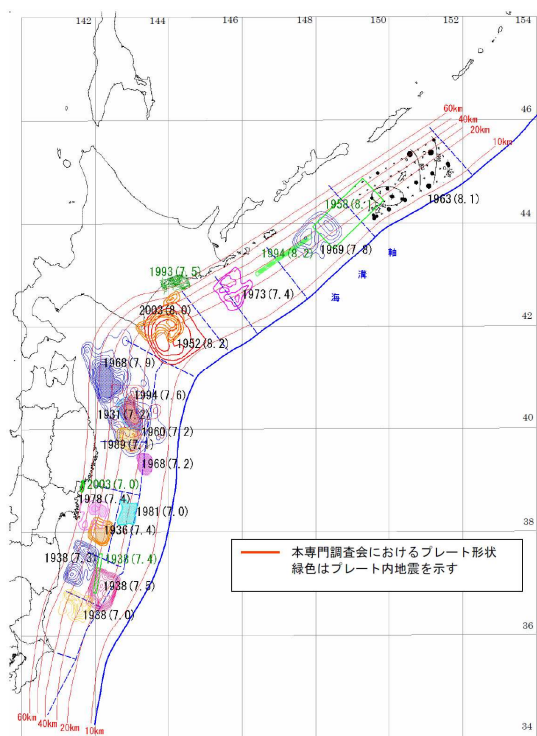


## 2. 想定波源域及び地震規模の設定

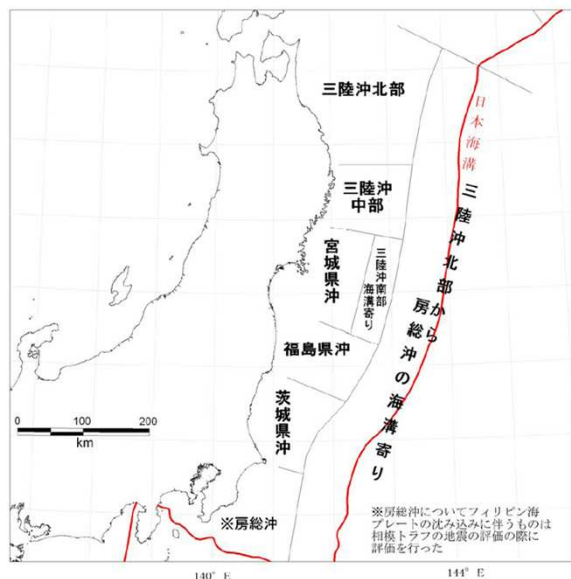
### 2.3 地震調査研究推進本部の評価

- 地震調査研究推進本部(2012)は、過去に発生した地震等を根拠に、三陸沖から房総沖にかけての評価対象領域を以下のとおり区分し(中央図)、地震活動の長期評価を実施している。
- 「東北地方太平洋沖型の地震」の次の地震の震源域については、3.11地震の各種のすべり分布モデル※等から得られた知見等を踏まえて、「少なくとも宮城県沖と三陸沖南部海溝寄りから福島県沖にかけての領域が連動してMw8.4程度、さらに震源域が広がり、3.11地震と同様(三陸沖中部～茨城県沖)にMw9.0前後になる可能性がある。」と評価している。
- 地震調査研究推進本部(2014a)は、「東北地方太平洋沖型の地震」の想定波源域を三陸沖中部～茨城県沖、その地震規模をMw9.0として、地震ハザードを評価している(右図)。

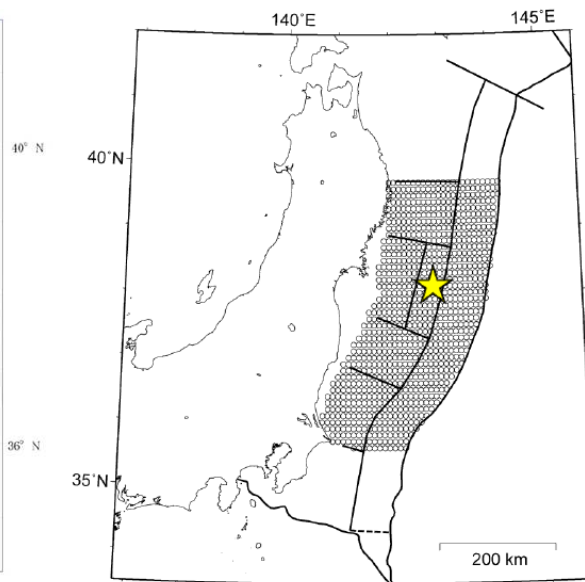
※: 各種のすべり分布の詳細は、補足説明資料「1. 2011年東北地方太平洋沖地震の各種のすべり分布モデル(p2～9)」に記載。



日本海溝・千島海溝沿いのこれまでの研究による  
アスペリティの分布  
(中央防災会議(2005))



地震調査研究推進本部による  
三陸沖から房総沖にかけての評価対象領域の区分け  
(地震調査研究推進本部(2012))

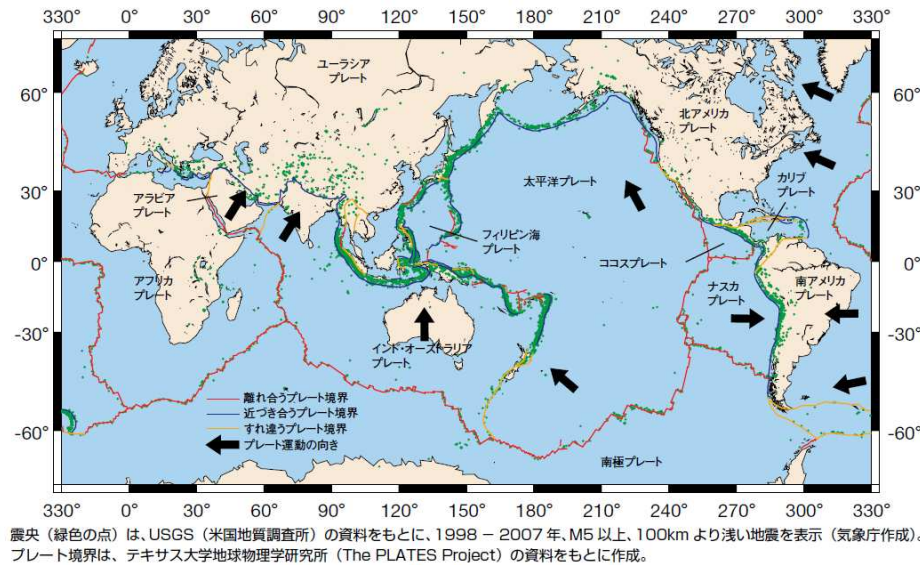


確率的地震動予測地図の作成に用いた  
「東北地方太平洋沖型の地震」の断層面  
(地震調査研究推進本部(2014a))

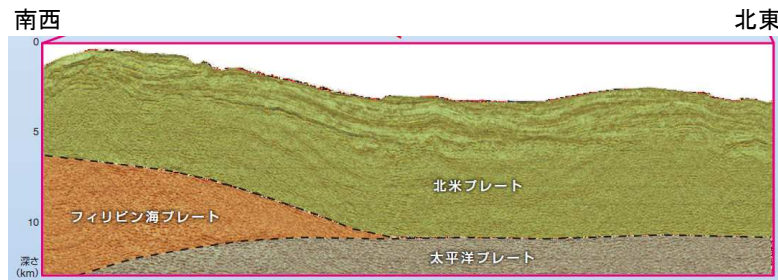
## 2. 想定波源域及び地震規模の設定

### 2.4 日本海溝沿いにおけるテクトニクス背景

- 世界の地震は、プレート境界周辺に帯状に集中して発生しており、その約1割が日本の周辺で発生している(地震調査研究推進本部(2014b))。
- 日本列島は、主に陸のプレートである北米プレートとユーラシアプレートに位置し、太平洋プレートは東南東の方向から年間約8cmの速さで千島海溝、日本海溝、伊豆・小笠原海溝から沈み込み、フィリピン海プレートは、ほぼ南東の方向から年間3~5cm程度の速さで南海トラフ、南西諸島海溝から沈み込んでいる(地震調査研究推進本部(2014b))。
- 日本海溝の南端にあたる房総沖は、陸側のプレートの下にフィリピン海プレートが、さらに下方には太平洋プレートが沈み込んでおり、日本海溝の他領域とテクトニクス背景に大きな違いがある(JAMSTEC(2011), 長谷川ほか(2010))。



世界の地震分布とプレート境界(地震調査研究推進本部(2014b))



房総沖の地下構造(JAMSTEC(2011))

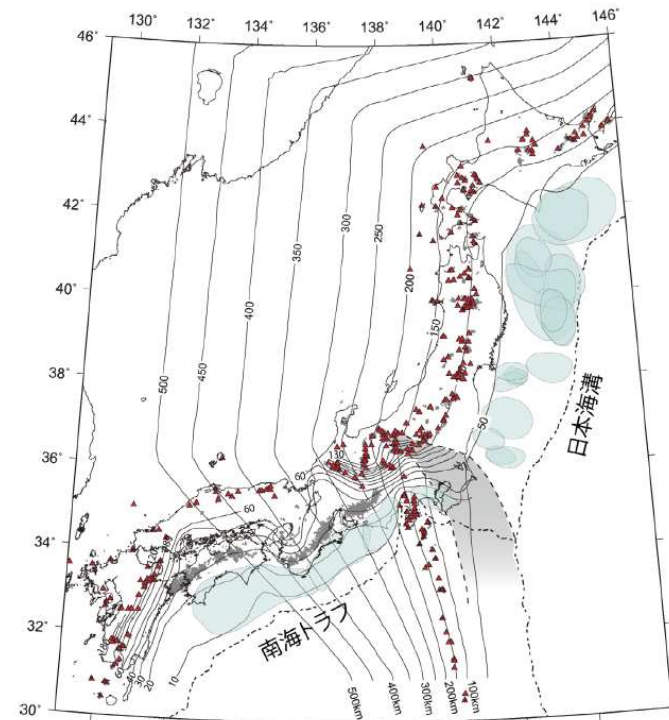


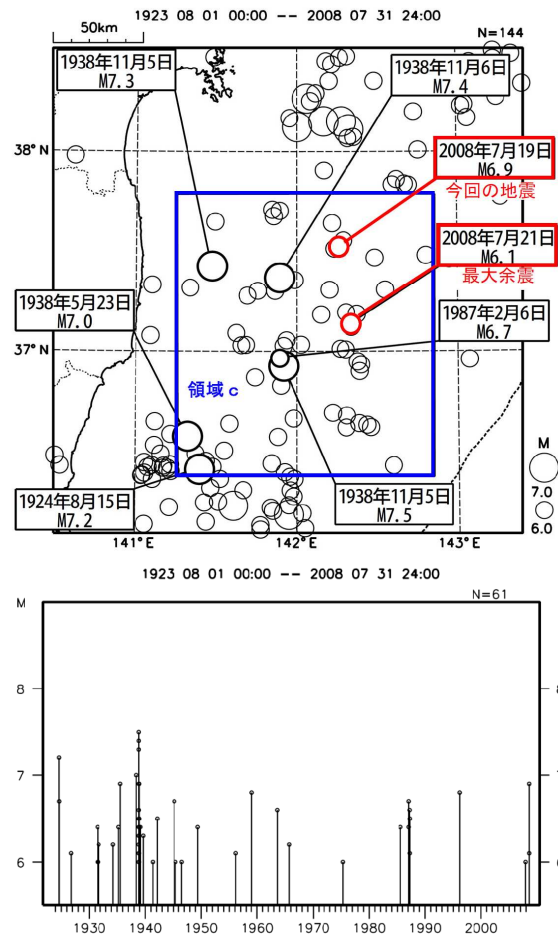
図1 日本列島下に沈み込む太平洋プレートおよびフィリピン海プレートの形状(Nakajima and Hasegawa, 2007; Hirose *et al.*, 2008; Nakajima *et al.*, 2009a; Kita *et al.*, 2010). 太平洋プレートおよびフィリピン海プレート上面の深さをコンターで示す。二本の破線で囲った灰色の領域は太平洋プレートとフィリピン海プレートの接触域。プレート境界大地震の想定震源域あるいは余震域(文科省, <http://www.jishin.go.jp/main/index.html> [Cited 2009/09/09]; Wald and Somerville, 1995; Umino *et al.*, 1990)を水色の楕円で示す。赤三角は第四紀火山、黒点は深部低周波地震。

日本列島下に沈み込む太平洋プレート及びフィリピン海プレートの形状(長谷川ほか(2010))

## 2. 想定波源域及び地震規模の設定

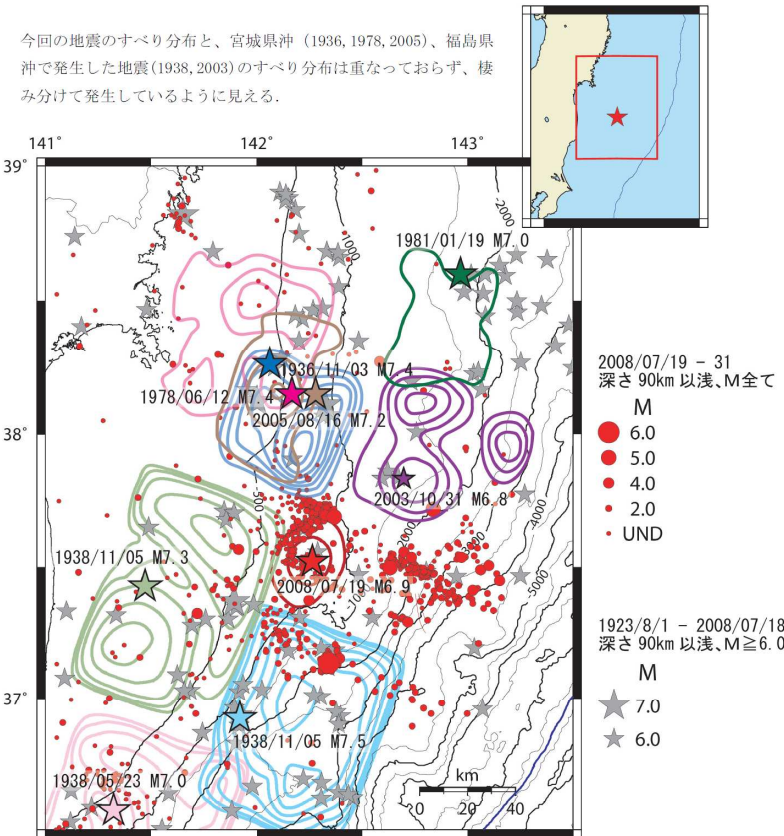
### 2.5 福島県沖・茨城県沖の固着等に関する分析:地震学的知見(地震発生履歴)①

- 福島県沖・茨城県沖の領域では、1938年、1987年にM6～7クラスの地震が群発地震として発生しているが(気象庁(2009)), 過去400年間で三陸沖北部で見られるようなM8クラスの地震が発生した記録は無い(地震調査研究推進本部(2012))。



上図:震央分布図(1923年～2008年, M $\geq$ 6.0)

下図:領域c内の地震活動経過図及び回数積算図  
(1923年～2008年, M $\geq$ 6.0)  
(気象庁(2009))



今回の地震のすべり分布と、宮城県沖(1936, 1978, 2005)、福島県沖で発生した地震(1938, 2003)のすべり分布は重なっておらず、棲み分けて発生しているように見える。

宮城県沖の地震(1936年、1978年、2005年)と2003年10月31日の地震のすべり分布は、山中(2003, 2005)による。

1938年5月23日、11月5日の地震のすべり分布は、室谷ほか(2004)による。室谷ほか(2004)と今回の地震のすべり分布のコンターは、0.5m、1m、2m、4m、6m、8m、10m、12mである。

海底地形データは日本海洋データセンターのJ-EGG500を使用。

引用文献:

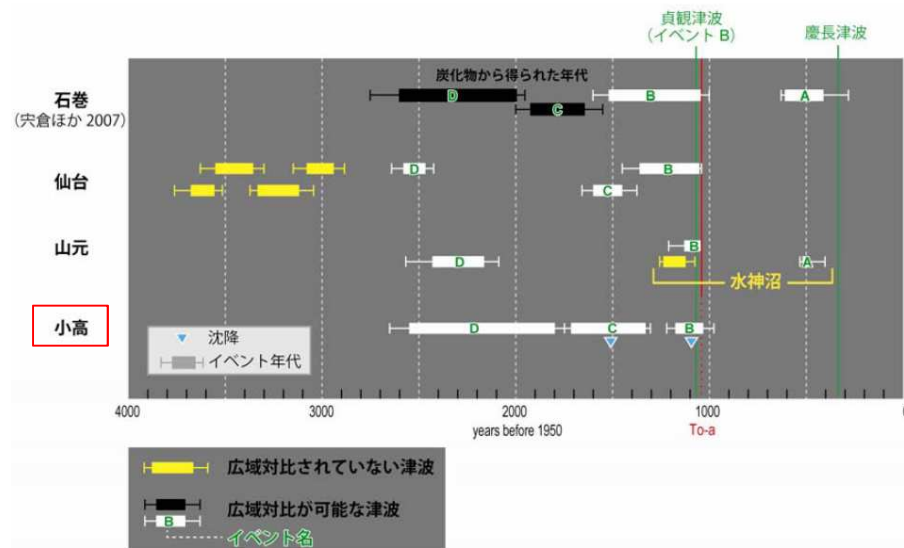
室谷智子・菊池正幸・山中佳子・島崎邦彦(2004): 1938年に起きた複数の福島県東方沖地震の破壊過程(2), 日本地震学会2004年秋季大会  
山中佳子(2003): EIC地震学ノート, No. 141.  
山中佳子(2005): EIC地震学ノート, No. 168.

過去の地震のすべり量分布(気象庁(2009))

## 2. 想定波源域及び地震規模の設定

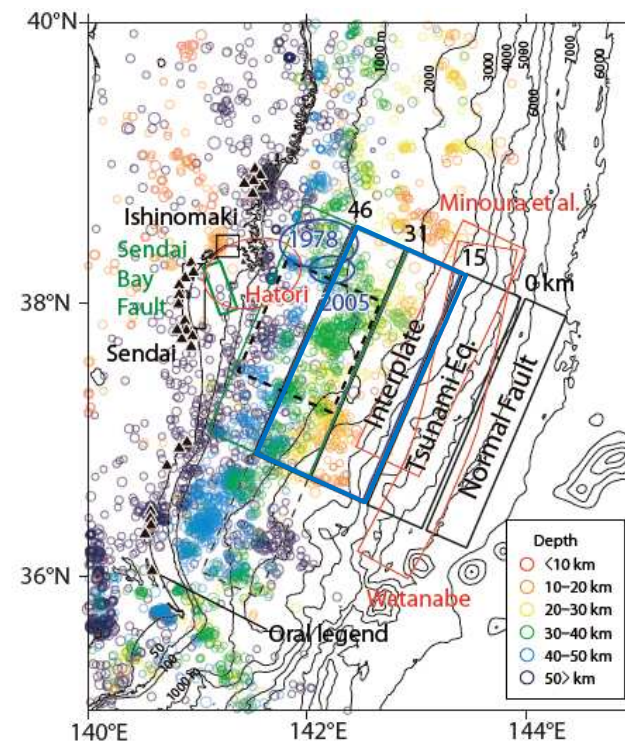
### 2.5 福島県沖・茨城県沖の固着等に関する分析:地震学的知見(地震発生履歴)②

- 福島県沖沿岸では、「東北地方太平洋沖型の地震」のうち、869年の津波、4-5世紀の津波、紀元前3-4世紀の津波による津波堆積物が存在しており(文部科学省 研究開発局ほか(2010))、福島県沖は869年の津波の波源域(佐竹ほか(2008))に含まれる。
- 上記を踏まえ、地震調査研究推進本部(2012)では、「東北地方太平洋沖型の地震」の次の地震の震源域は「少なくとも宮城県沖と三陸沖南部海溝寄りから福島県沖にかけての領域が連動してMw8.4程度、さらに震源域が広がり、3.11地震と同様(三陸沖中部～茨城県沖)にMw9.0前後になる可能性がある。」と評価している。



- (A) 西暦1500年頃のイベント, (B) 869年の津波  
 (C) 西暦430年頃のイベント, (D) 紀元前390年頃のイベント

石巻市, 仙台市, 山元町, 相馬市で見られた津波堆積物の地域間対比  
 (文部科学省 研究開発局ほか(2010))に一部加筆



869年の津波の断層モデル(図中:青の実線)  
 (佐竹ほか(2008))に一部加筆



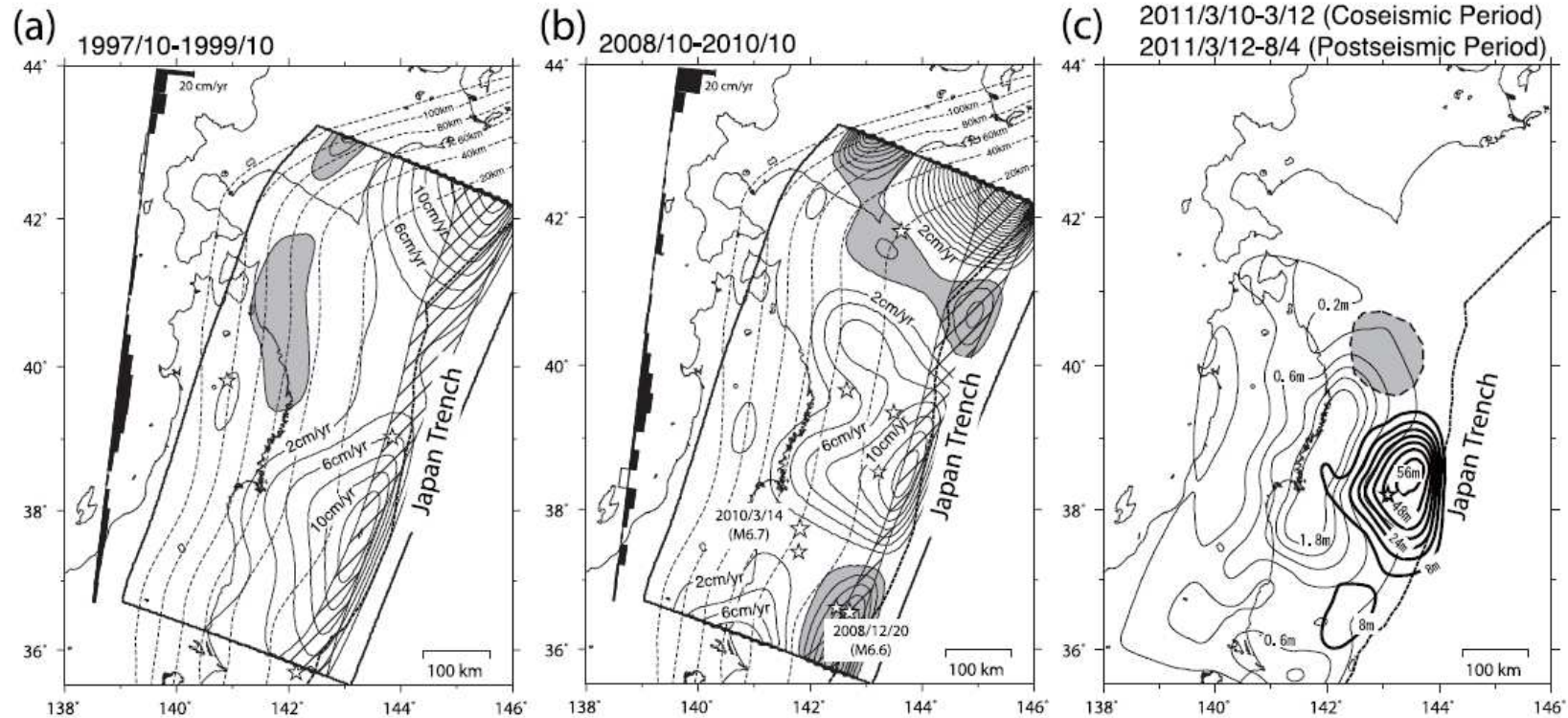
以上の地震学的知見から、福島県沖・茨城県沖はM7クラスの地震を発生させる領域であり、福島県沖は、「東北地方太平洋沖型の地震(Mw8.4~9.0)」の震源域に含まれる領域である。

## 2. 想定波源域及び地震規模の設定

### 2.5 福島県沖・茨城県沖の固着等に関する分析:

#### 測地学的知見(プレート境界深部で発生する長期的な非地震性すべり)①

- 西村(2012)は、GPSによって観測された地殻変動から推定されるすべり欠損分布から、福島県沖のプレート境界の固着状況について分析し、1990年代後半(下図(a))は固着が強い傾向にあり、かつ固着域の一部は陸域までかかっていたが、2000年代後半(下図(b))はほとんど0であったとしている。
- また、上記固着の状況と3.11地震の地震すべり域(下図(c))との比較から、2000年代後半に見られた固着の剥がれは、3.11地震に至る一連のプロセスとして発生していたと捉えることができるとしている。



1997/10 - 1999/10における  
すべり欠損分布  
(西村(2012))

2008/10 - 2010/10における  
すべり欠損分布  
(西村(2012))

3.11地震の地震すべり域(太線)  
(西村(2012))

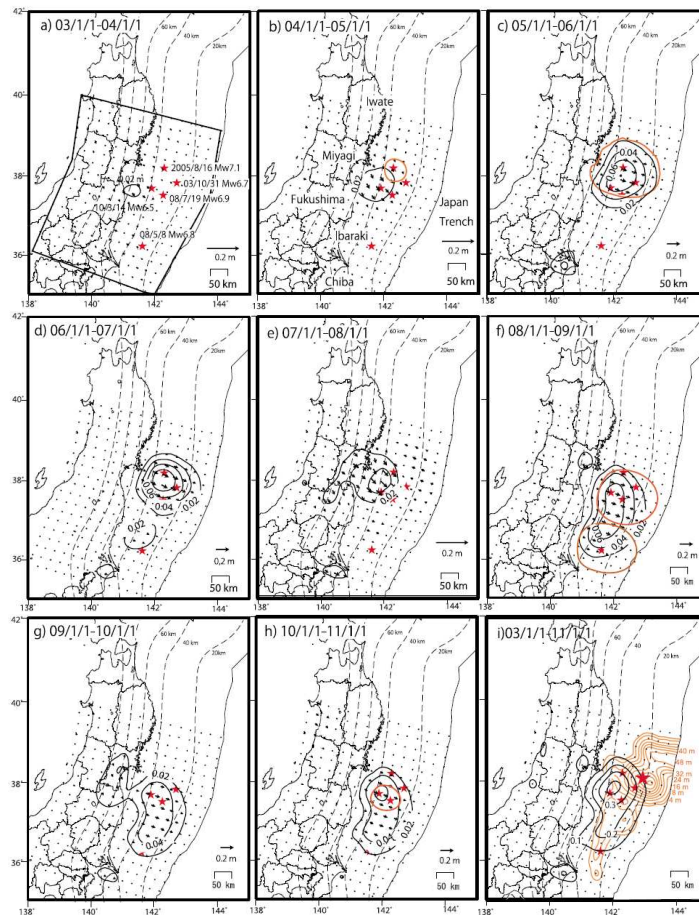
## 2. 想定波源域及び地震規模の設定

### 2.5 福島県沖・茨城県沖の固着等に関する分析:

#### 測地学的知見(プレート境界深部で発生する長期的な非地震性すべり)②

- Ozawa et al.(2012)は、2003年以降のGPSデータの測地インバージョンから、3.11地震の震源域において、2003年以降に発生した地震の余効すべりを推定し、2003年から2010年における余効すべりの全体モーメントは、2003年以降に発生した5つのM7クラスの地震すべり※の全体モーメントの約2.5倍に達するとしている。また、同期間の余効すべりの領域は3.11地震の震源域でかつその深部に対応するとしている。
- さらに、上記余効すべりと2003年以降に発生した5つのM7クラスの地震すべりが、3.11地震の震源域での固着の剥がれを生じさせた可能性があるとしている。

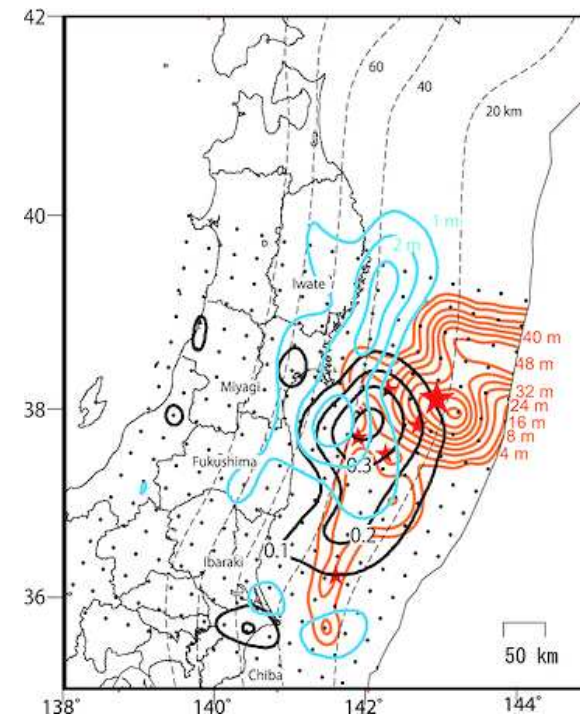
※:2003/10/31(Mw6.7), 2005/8/16(Mw7.1), 2008/5/8(Mw6.8), 2005/7/19(Mw6.9), 2010/3/14(Mw6.5)



2003年以降で発生したM7クラスの地震の  
地震すべり分布と余効すべり分布(Ozawa et al.(2012))

— :地震すべり分布  
— :余効すべり分布

— :2003年から2010年における余効すべり分布  
— :3.11地震の地震すべり分布  
— :3.11地震の余効すべり分布



3.11地震発生前の余効すべり分布と3.11地震の地震すべり  
分布及びその余効すべり分布の比較(Ozawa et al.(2012))

## 2. 想定波源域及び地震規模の設定

### 2.5 福島県沖・茨城県沖の固着等に関する分析:

#### 測地学的知見(プレート境界深部で発生する長期的な非地震性すべり)③

- Yokota et al. (2015)は、1996年3月21日～2011年3月8日におけるGPSによる地殻変動データの分析から、3.11地震の震源域のうち、福島県沖から宮城県沖にかけての深部領域で2002年から3.11地震発生前までの約9年間、長期的なスロースリップが発生していたとしている。
- また、上記の長期的なスロースリップが、3.11地震の発生に至る1つのイベントであった可能性があるとしている。

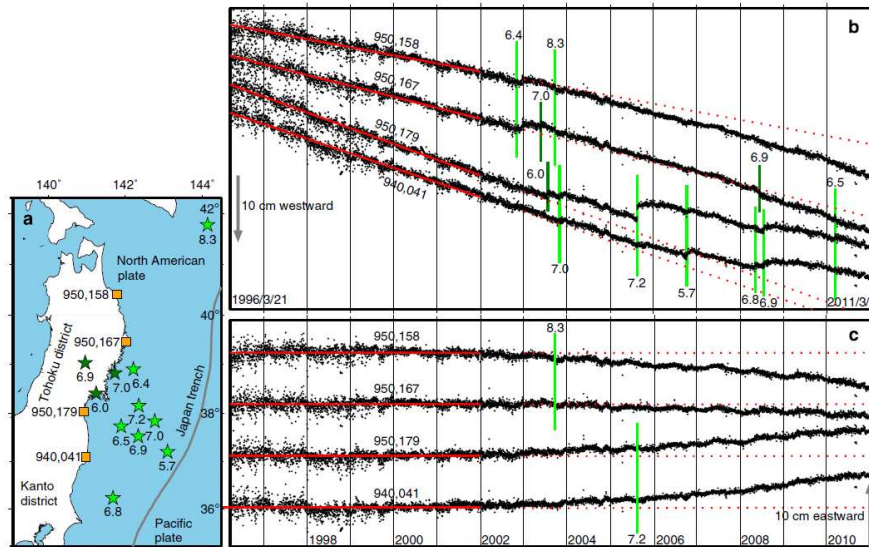


Figure 1 | Time series of east-west deformation at GPS stations in the Tohoku district. (a) Selected GPS stations (orange squares) and  $M_w$  6-8 earthquakes (green stars) in the index map. (b) Original time series of east-west deformation obtained from the GEONET F3 solutions<sup>24</sup> at the stations and the effects of the  $M_w$  6-8 earthquakes (green lines). (c) Detrended time series obtained by removing the regular trends in 1996-2001 (solid red lines), annual variations and earthquake effects. These time series deviated from the zero lines around 2002 and accelerated at the time of the 2003 or 2005 earthquake (green lines).

#### GPS観測点における東西方向の変位の時系列 (Yokota et al. (2015))

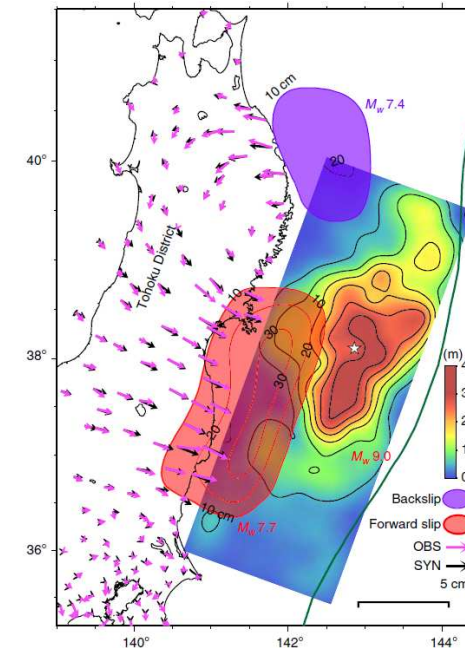


Figure 2 | Distribution of total deviations and the result of a two-source inversion. The red and purple contours represent the distributions of the forward slip by the very long-term transient event and the backslip by the northern source, which were obtained through the two-source inversion of the total deviations (pink arrows). The black arrows denote synthetic deviations computed for the inversion result. The co-seismic slip distribution of the 2011 Tohoku earthquake<sup>9</sup> is also displayed with the epicentre (white star) and Japan Trench (dark green line). The black bar at the bottom right denotes 100 km.

#### 長期的なスロースリップの発生領域 (Yokota et al. (2015))

以上の測地学的知見から、福島県沖・茨城県沖のプレート境界深部で発生する長期的な非地震性すべりは、「東北地方太平洋沖型の地震」の発生に至る一連のプロセスと考えられる。

## 2. 想定波源域及び地震規模の設定

### 2.5 福島県沖・茨城県沖の固着等に関する分析：三陸沖中部との比較

- 三陸沖中部のプレート境界深部には、福島県沖と同様に、非地震性のすべりにより歪みが解放される低地震活動域（SLSR (Sanriku-Oki low-seismicity region)）が存在する（Ye et al.(2012)）。
- Uchida et al.(2011)によれば、小繰り返し地震データ等を用いた3.11地震の震源域におけるカップリング率に関する分析から、福島県沖・茨城県沖のプレート境界深部のカップリングと比較して、三陸沖中部のプレート境界深部のカップリングは弱いことを示している。

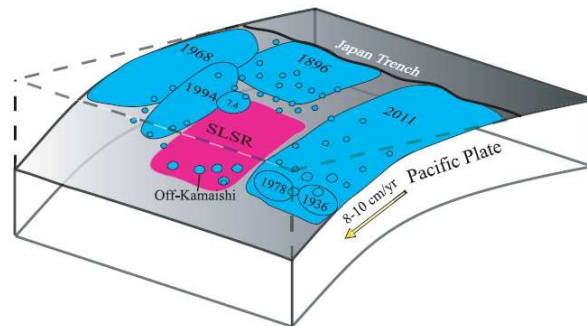


Figure 12. Schematic map of the Japan megathrust fault showing the distribution of rupture zone of historic large events and the 2011 Tohoku earthquake (large blue regions), and aftershocks (small blue regions) along the megathrust from Japan Trench. We plot the southern end of the 1896 rupture zone as extending to about 39°N, north of the aseismic zone seen in Figure 2e, consistent with the southern extent of the tsunami model of Aida [1977] and the region of strong inundation on the Iwate coast indicated by Hatori [1974]. The convergence velocity of the Pacific Plate is indicated by a yellow arrow. The magenta region highlights the SLSR on the megathrust. The SLSR is largely aseismic, but does have modest-size patches of seismogenic regions down-dip, including the off-Kamaishi repeater zone. The shallower portion of the SLSR is almost devoid of moderate-size thrust events, but seismic activity is high in the 1896 rupture zone region further updip.

#### 三陸沖中部における低地震活動域 (Ye et al.(2012))

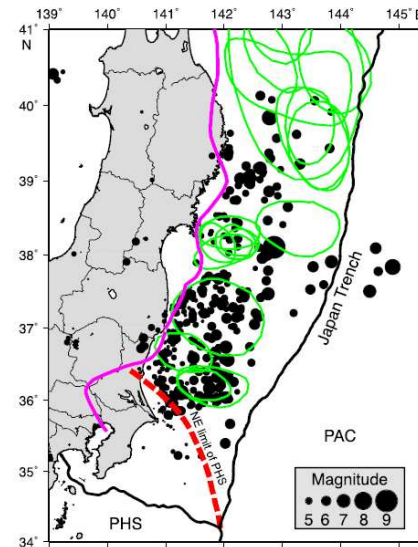


Fig. 1. Hypocenters of mainshock and aftershocks in a 24-hour period for the 2011 Tohoku earthquake (black circles) and aftershock areas for  $M \geq 7$  earthquakes since 1926 (green lines, Uchida *et al.*, 2009). Hypocenter data are from the Japan Meteorological Agency. Red dashed line shows down-dip limit of the Philippine Sea Plate (Uchida *et al.*, 2009). Thick pink line shows the western limit of interplate earthquake distribution from Igarashi *et al.* (2001) and Uchida *et al.* (2009).

#### 2011年東北地方太平洋沖地震後24時間 の地震分布（黒丸）と1926年以降に発生 したM7以上の余震域（緑線）の関係 (Uchida et al.(2011))



上記知見から、福島県沖・茨城県沖におけるプレート境界深部の固着度は三陸沖中部よりも大きいと考えられる。

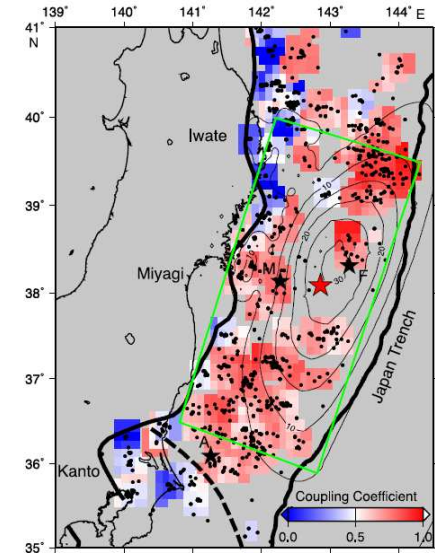


Fig. 2. Interplate coupling coefficient estimated from small repeating earthquakes for the period from 1993 to March 2007 (color). Distribution of small repeating earthquakes (black dots) and coseismic slip area (contours, Iinuma *et al.* (2011)) are also shown in this figure. Bold lines denote the down-dip limit of interplate earthquakes (Igarashi *et al.*, 2001; Uchida *et al.*, 2009) and the trench axis. Dashed bold line denotes northeastern limit of the Philippine Sea plate (Uchida *et al.*, 2009). The averaged coupling coefficient is estimated for every 0.3 degree by 0.3 degree windows that have three or smaller repeating earthquake groups. The red star indicates the hypocenter of the 2011 Tohoku earthquake. Stars marked by M, F and A indicate the hypocenter of the 2005 Miyagi-oki earthquake ( $M 7.2$ ), the  $M 7.3$  earthquake on March 9, 2011 and the largest aftershock on March 11, 2011 ( $M 7.7$ ), respectively.

#### 1993年～2007年における小繰り返し地震 データから推定されるカップリング率 (Uchida et al.(2011))



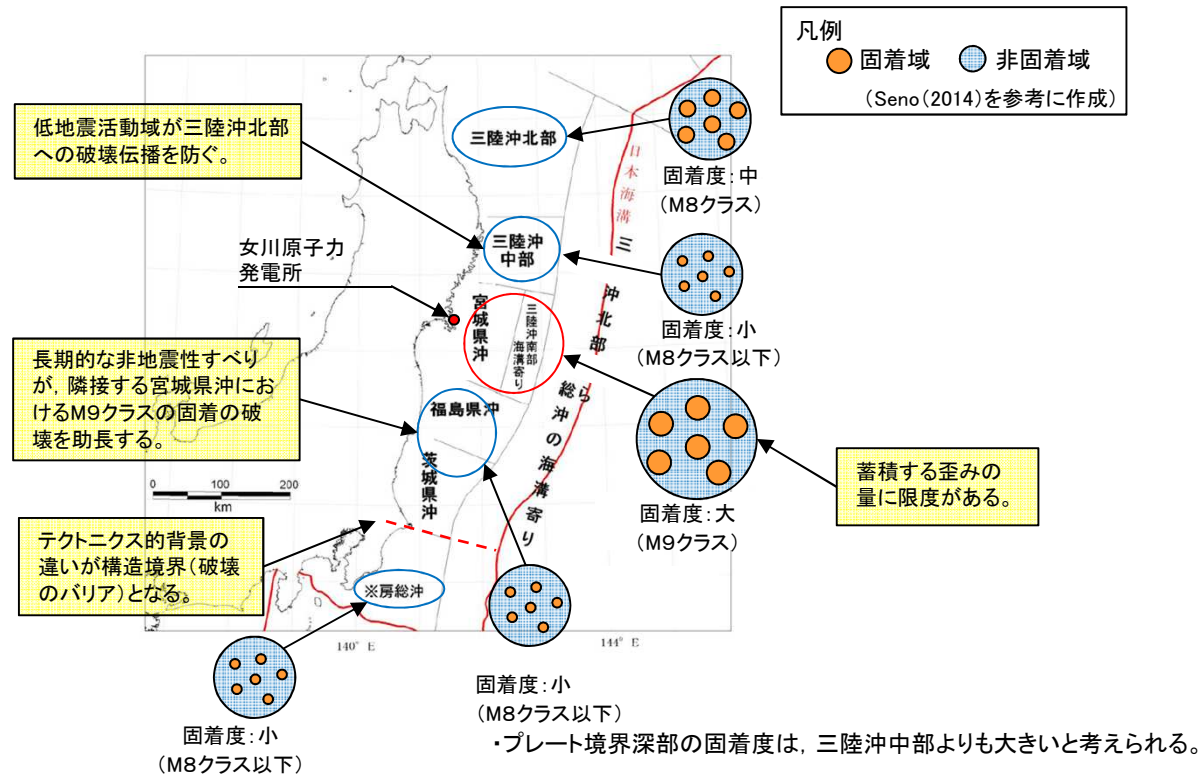
## 2. 想定波源域及び地震規模の設定

### 2.5 福島県沖・茨城県沖の固着等に関する分析:まとめ

- 三陸沖北部, 三陸沖中部, 宮城県沖, 福島県沖・茨城県沖及び房総沖の固着等に関する分析結果※1, 2を以下に示す。

※1: M9クラスの巨大地震を発生させる宮城県沖の固着域に関する分析結果の詳細は, 補足説明資料「2. 「東北地方太平洋沖型の地震」の地震規模(p12~19)」に記載。

※2: 三陸沖北部, 三陸沖中部, 房総沖の固着等に関する分析結果の詳細は, 補足説明資料「2. 「東北地方太平洋沖型の地震」の地震規模(p21~25)」に記載。



各領域の固着等に関する分析結果  
 (地震調査研究推進本部(2012)に一部加筆)

## 2. 想定波源域及び地震規模の設定

### 2.6 破壊の伝播範囲に関する考察

- 福島県沖・茨城県沖の固着等に関する分析結果も踏まえ、宮城県沖を起点（震源）とする破壊伝播の検討結果を以下に示す。

固着等に関する分析				破壊伝播の検討	
地震本部の領域区分	テクトニクス的背景	固着度※	内容	破壊伝播範囲	内容
三陸沖北部	陸側のプレートの下に、太平洋プレートが沈み込む。	中	<ul style="list-style-type: none"> <li>アスペリティのうち、1968年の地震と1994年の地震の共通アスペリティのカップリング率はほぼ100% (Yamanaka et al.(2004)他)。</li> <li>個々のアスペリティが単独で動けばM7クラス、連動するとM8クラスの地震が発生 (Yamanaka et al.(2004)他)。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>M8クラスの地震で歪みは解放し、M9クラスの巨大地震を発生させる歪みは蓄積しない。</li> </ul>
三陸沖中部		小	<ul style="list-style-type: none"> <li>プレート境界深部に、非地震性のすべりにより歪みが解放される低地震活動域が存在 (Ye et al.(2012))。</li> <li>岩手県沖のカップリングが弱い領域は、本震の破壊伝播を防ぐ領域 (Uchida et al.(2011))。</li> </ul>	北端	<ul style="list-style-type: none"> <li>プレート境界深部の低地震活動域が、隣接する領域からの破壊伝播を防ぐ。</li> </ul>
宮城県沖		大	<ul style="list-style-type: none"> <li>M7～8クラスの地震サイクルの上に、より長い周期のサイクル(スーパーサイクル)が存在 (佐竹(2011)他)。</li> <li>世界のM9クラスの巨大地震発生履歴との比較から、蓄積する歪みの量には限度があり、3.11地震に伴う大きなすべり量は最大規模。</li> </ul>	起点(震源)	<ul style="list-style-type: none"> <li>蓄積する歪みの量には限度があり、3.11地震よりもさらに応力を高めることはできない。</li> </ul>
福島県沖・茨城県沖		小	<ul style="list-style-type: none"> <li>M7クラスの地震が発生。また、「東北地方太平洋沖型の地震」の震源域に含まれる領域(地震調査研究推進本部(2012))。</li> <li>プレート境界深部に、「東北地方太平洋沖型の地震」の発生に至る一連のプロセスとなる長期的な非地震性すべりが発生 (Yokota et al.(2015)他)。</li> </ul>	南端	<ul style="list-style-type: none"> <li>プレート境界深部で発生する長期的な非地震性すべり領域が、隣接する宮城県沖におけるM9クラスの固着の破壊を助長する。</li> </ul>
房総沖		小	<ul style="list-style-type: none"> <li>テクトニクス背景の違いにより、カップリング率が大きく異なり、福島県沖・茨城県沖よりも固着が弱い (Uchida et al.(2009))。</li> <li>フィリピン海プレート北東端の位置と3.11地震の破壊域は一致。フィリピン海プレートは、破壊伝播のバリアとして作用する重要な役割を果たす可能性がある (Shinohara et al.(2011))。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>フィリピン海プレートの北東端が、隣接する領域からの破壊伝播のバリアとなる。</li> </ul>

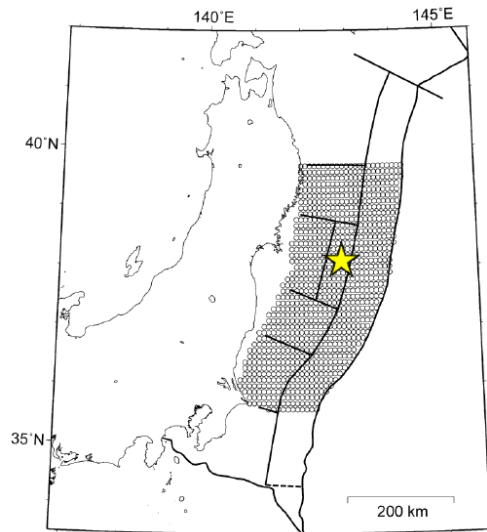
※: M9クラスの巨大地震を発生させる宮城県沖の固着の強さに対する度合い(大小)。

## 2. 想定波源域及び地震規模の設定

### 2.7 想定波源域及び地震規模の評価

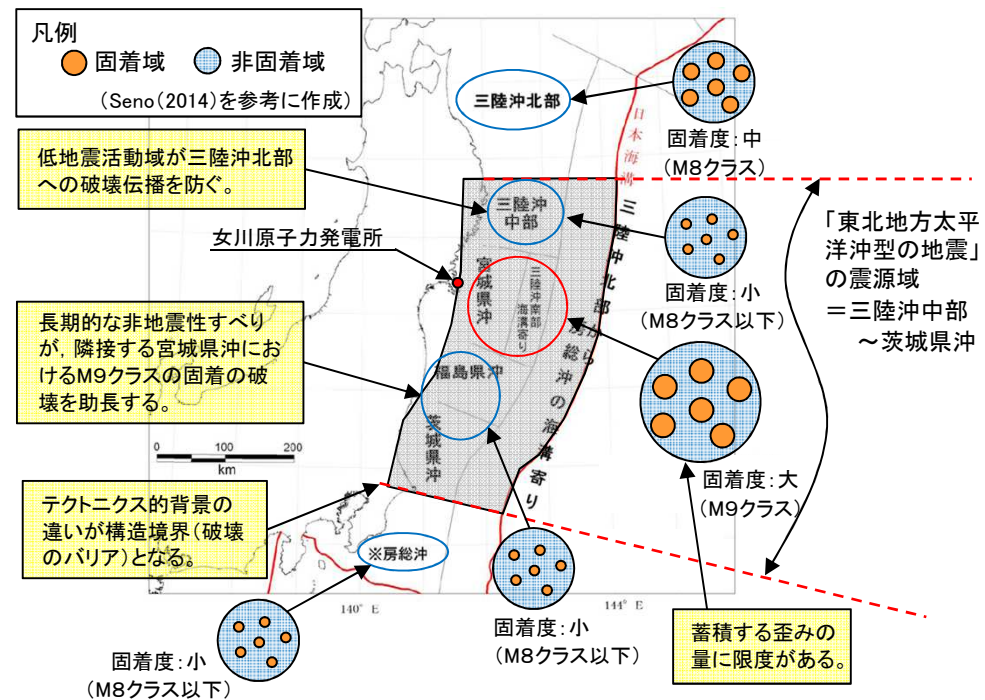
- 以上の検討結果から、地震調査研究推進本部(2012, 2014a)が評価した「東北地方太平洋沖型の地震(Mw8.4~9.0)」を上回る規模の地震が発生する可能性は低いと評価する。

#### ■地震調査研究推進本部(2012, 2014a)の評価



確率論的地震動予測地図の作成に用いた「東北地方太平洋沖型の地震」の断層面 (地震調査研究推進本部(2014a))

#### ■今回の評価

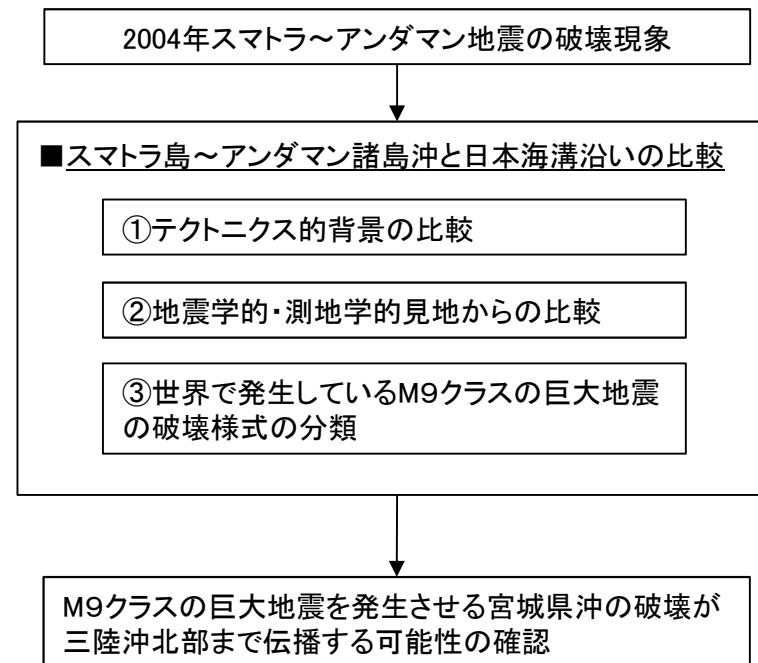


上記評価結果の妥当性について、2004年スマトラ~アンダマン地震での事例を踏まえ、同様の破壊現象(破壊伝播)が、日本海溝沿いでも発生するかどうかを検討する。

## 2. 想定波源域及び地震規模の設定

### 2.8 スマトラ島～アンダマン諸島沖と日本海溝沿いで発生する巨大地震の比較

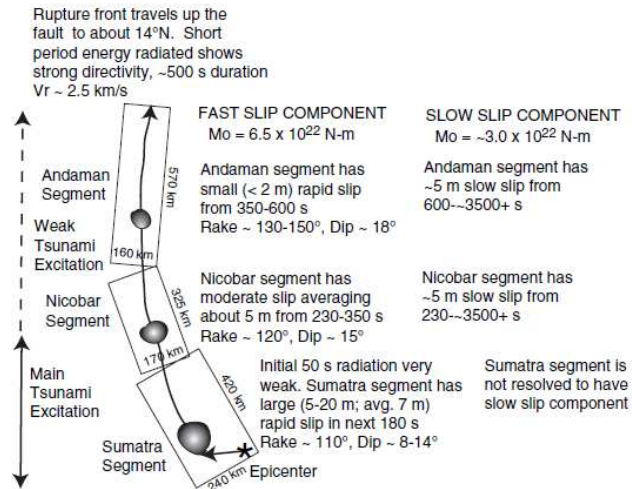
- 2004年スマトラ～アンダマン地震では、スマトラ島沖を震源としてアンダマン諸島沖へ約1300km破壊が伝播した。
- 上記地震と同様の破壊伝播が生じる可能性(=M9クラスの巨大地震を発生させる宮城県沖の固着域を震源とする破壊が三陸沖北部まで伝播する可能性)を確認するため、スマトラ島～アンダマン諸島沖と日本海溝沿いで発生する巨大地震のテクトニクス背景、地震学的・測地学的見地及び地震発生様式の分類に関する見地から比較を行う。



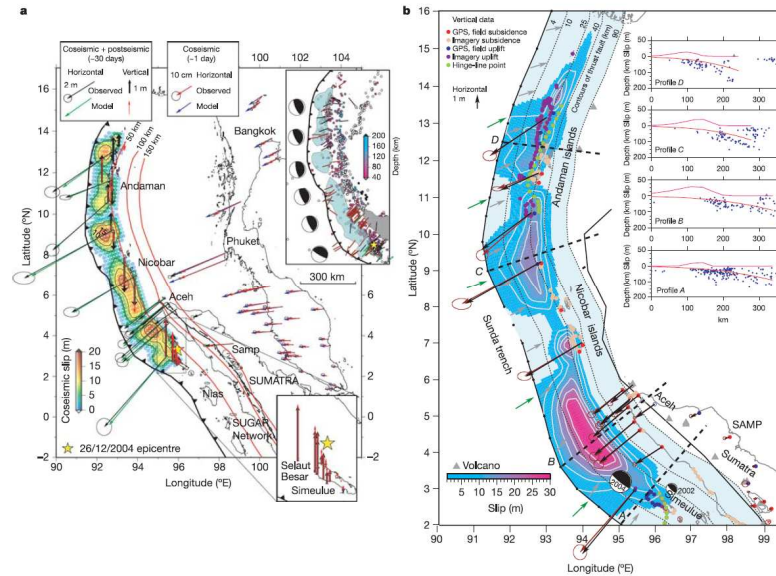
## 2. 8 スマトラ島～アンダマン諸島沖と日本海溝沿いで発生する巨大地震の比較

### 2. 8. 1 2004年スマトラ～アンダマン地震の破壊現象

- 2004年スマトラ～アンダマン地震は、スマトラ島沖を震源としてアンダマン諸島沖へ約1300km破壊が伝播したMw9.1～9.3の巨大地震であり、そのメカニズム解は、低角の逆断層地震である(Lay et al.(2005))。
- 同地震のすべり分布は、震源となったスマトラが最も大きく、北へ行くにつれて小さくなるものの、震源域全体に亘ってすべりが生じており(Lay et al.(2005), Subarya et al.(2006)), 大きなすべりが生じた領域が限定的であった3.11地震と対照的である。



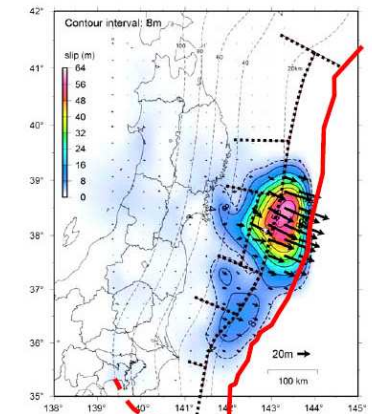
2004年スマトラ～アンダマン地震の破壊過程  
(Lay et al.(2005))



a. 地震すべり及び地震後1ヶ月の余効すべりによる測地データから算定されたすべり分布

b. 地震前後の地震すべりによる測地データから算定されたすべり分布

測地データから算定された2004年スマトラ～アンダマン地震のすべり分布(Subarya et al.(2006))



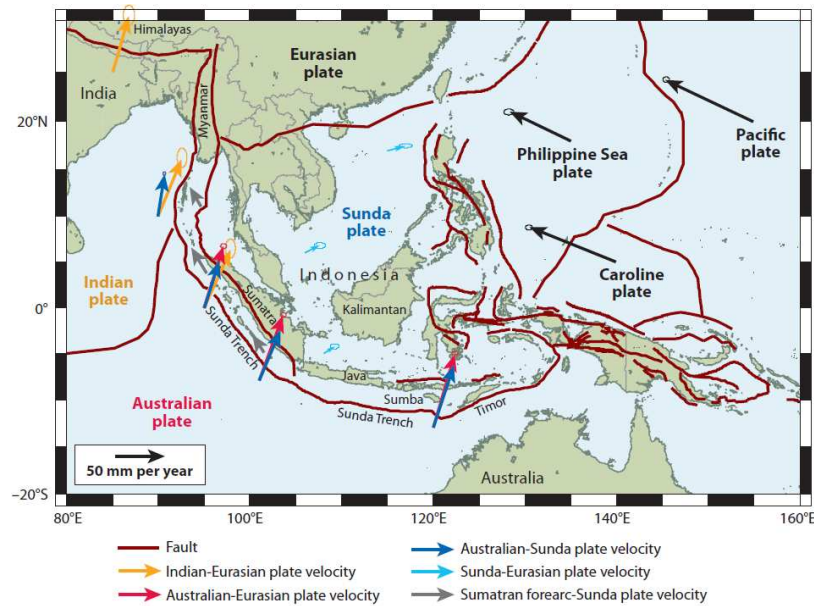
GPS+海底基準点 国土地理院・海上保安庁作成

GPSデータから算定された  
3.11地震のすべり分布  
(地震調査研究推進本部(2012))

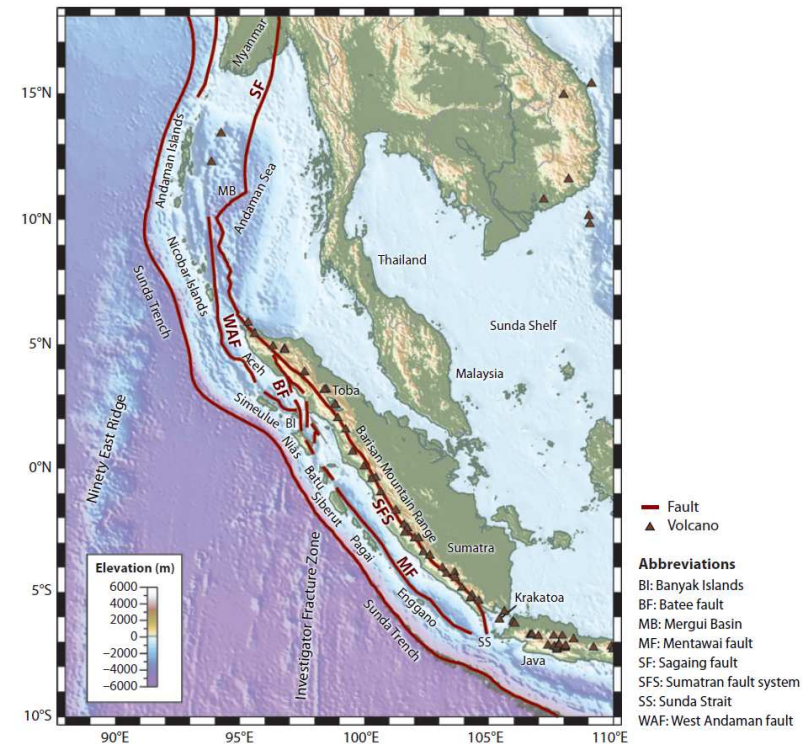
## 2.8 スマトラ島～アンダマン諸島沖と日本海溝沿いで発生する巨大地震の比較

### 2.8.2 テクトニクス的背景の比較①

- スマトラ島～アンダマン諸島沖は、インド・オーストラリアプレートがユーラシアプレートに斜めに沈み込んでおり、この斜め沈み込みによって、火山列に沿うスマトラ断層(右横ずれ断層)、前弧海盆(外弧)の島列、そして前弧スリバーの移動による背弧海盆(アンダマン海)の形成等が起こっている(木村(2002))。



スマトラ周辺のプレートテクトニクス  
(MaCaffrey (2009))

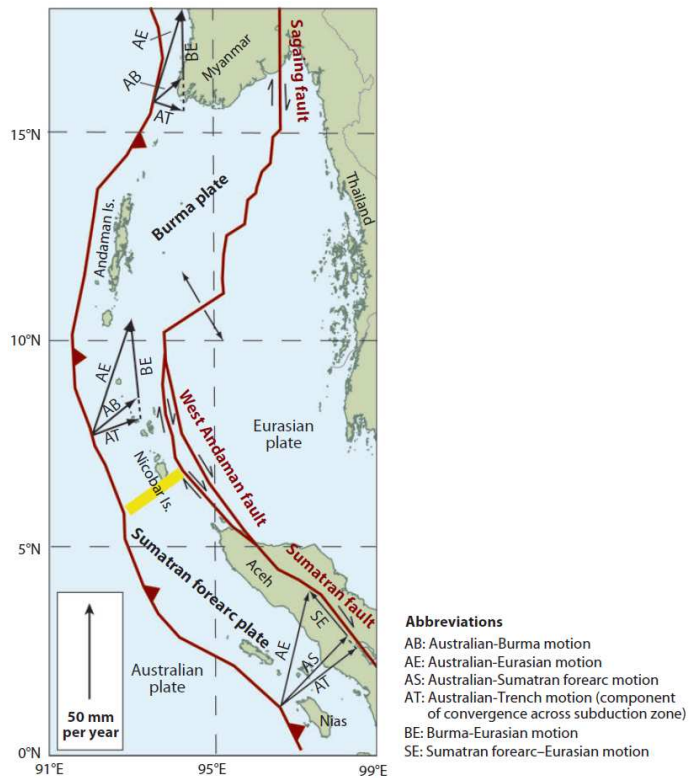


スマトラ島～アンダマン諸島沖周辺の地形  
(MaCaffrey (2009))

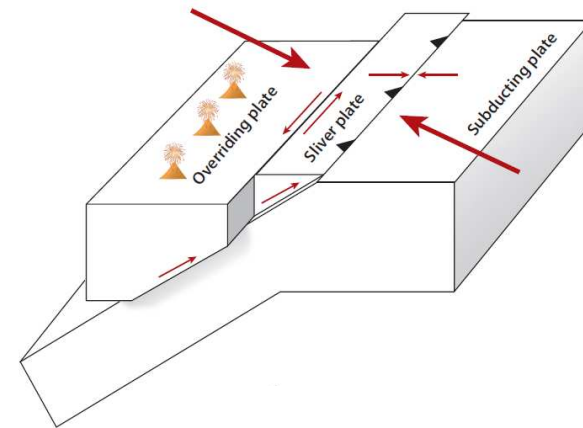
## 2.8 スマトラ島～アンダマン諸島沖と日本海溝沿いで発生する巨大地震の比較

### 2.8.2 テクトニクスの背景の比較②

- スマトラ島～アンダマン諸島沖は、インド・オーストラリアプレートがユーラシアプレートに斜めに沈み込むことにより、スマトラマイクロプレート、ビルママイクロプレートが形成されている(MaCaffrey(2009))。
- スマトラ～アンダマン地域で発生する巨大地震のメカニズム解がプレート運動の斜め衝突とは異なり、海溝軸に直交する向きの低角の逆断層となる要因について、小山ほか(2012)は、インド・オーストラリアプレートの斜め衝突に伴う海溝軸に並行な成分は各マイクロプレートの北への動きで緩和され、海溝に直交する成分のみが卓越する(ひずみとして蓄積される)ためとしている。



スマトラマイクロプレートとビルママイクロプレートの運動方向  
(MaCaffrey(2009))

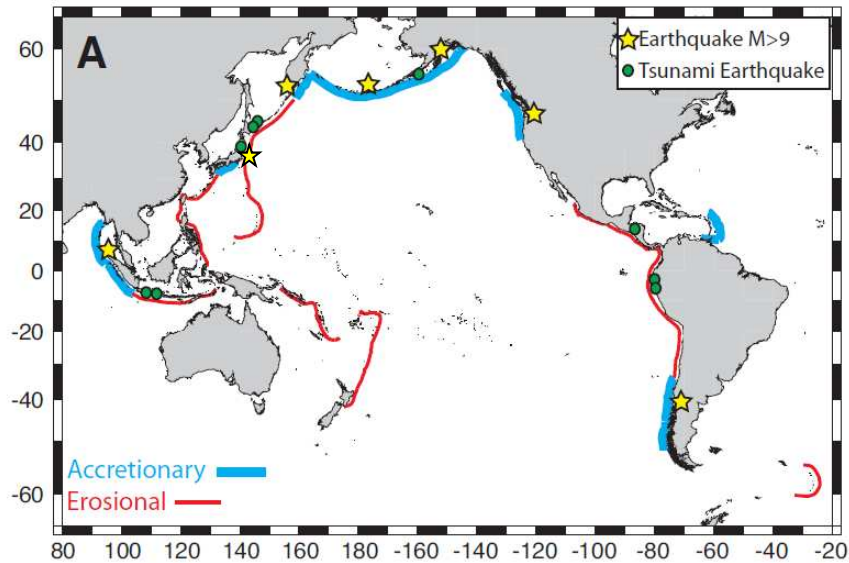


前弧スリバーの形状と斜め沈み込みによるプレート運動(概要図)  
(MaCaffrey(2009))

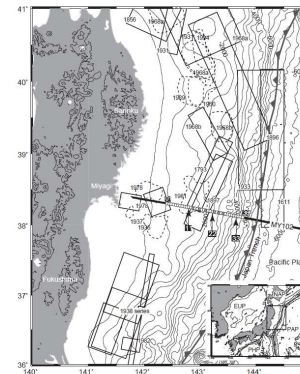
## 2.8 スマトラ島～アンダマン諸島沖と日本海溝沿いで発生する巨大地震の比較

### 2.8.2 テクトニクス的背景の比較③

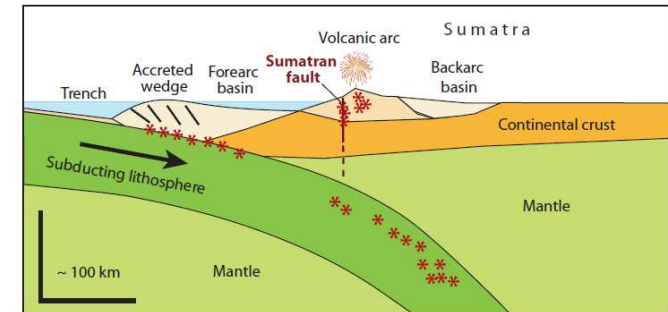
- スマトラ島～アンダマン諸島沖は、M9クラスの巨大地震が発生しているチリ、カスケード、アラスカ・アリューシャンと同様に付加体が発達している海域であるのに対して、日本海溝沿いは造構性侵食作用が卓越し付加体が未発達な海域である。



沈み込み帯の分類  
(Bilek(2010)に一部加筆)

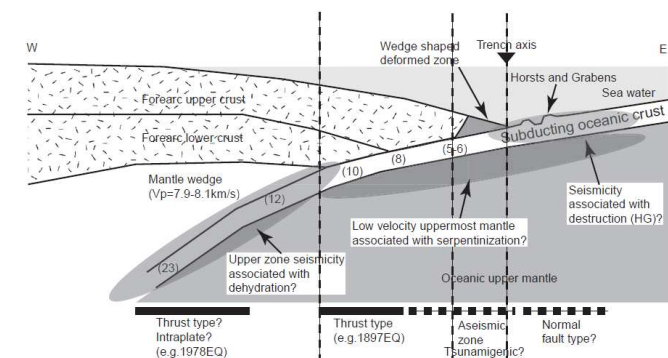


断面位置 (MY102)  
(Miura et al.(2005))



\* Major source of earthquake activity

スマトラ島沖の地下構造 (模式図)  
(McCaffrey(2009))



宮城県沖の地下構造 (模式図)  
(Miura et al.(2005))



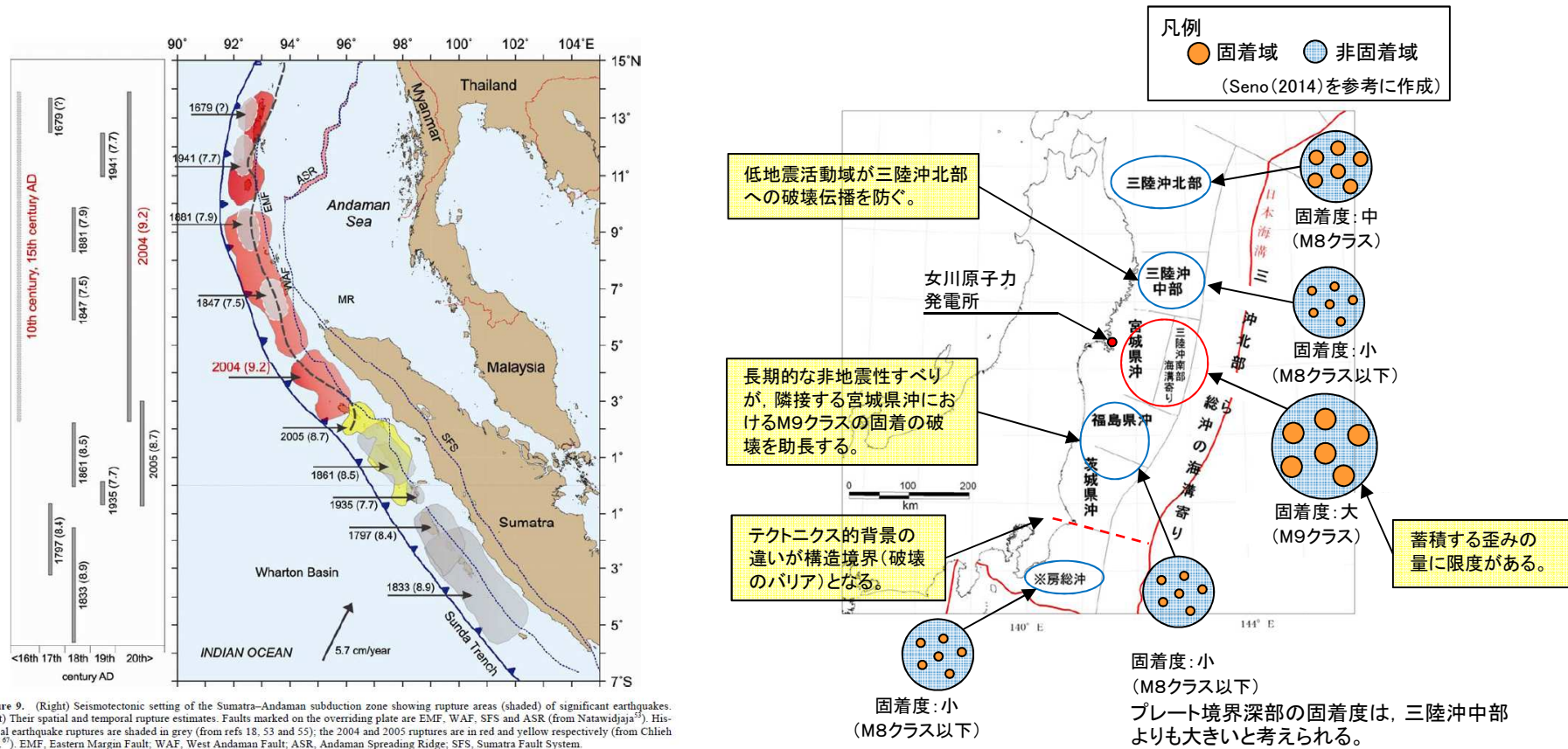
以上から、スマトラ島～アンダマン諸島沖と日本海溝沿いのテクトニクス背景には大きな違いがある。



## 2. 8 スマトラ島～アンダマン諸島沖と日本海溝沿いで発生する巨大地震の比較

### 2. 8. 3 地震学的・測地学的見地：既往地震の発生履歴

- スマトラ島～アンダマン諸島沖では、全域に亘ってM8クラスの地震が発生しており、2004年スマトラ～アンダマン地震の発生領域に関しては、約500年間隔で繰り返し連動型の巨大地震が発生していることから(Rajendran(2013)), プレート境界面の固着のばらつきは小さいと考えられる。
- 一方、日本海溝沿いにおいて約600年間隔で繰り返し発生する東北地方太平洋沖型の地震の震源域となる宮城県沖は、固着が小さい三陸沖中部、福島県・茨城県沖の間に位置しており、両者には大きな違いが見られる。



スマトラ島～アンダマン諸島沖における過去の地震発生履歴  
 (Rajendran(2013))

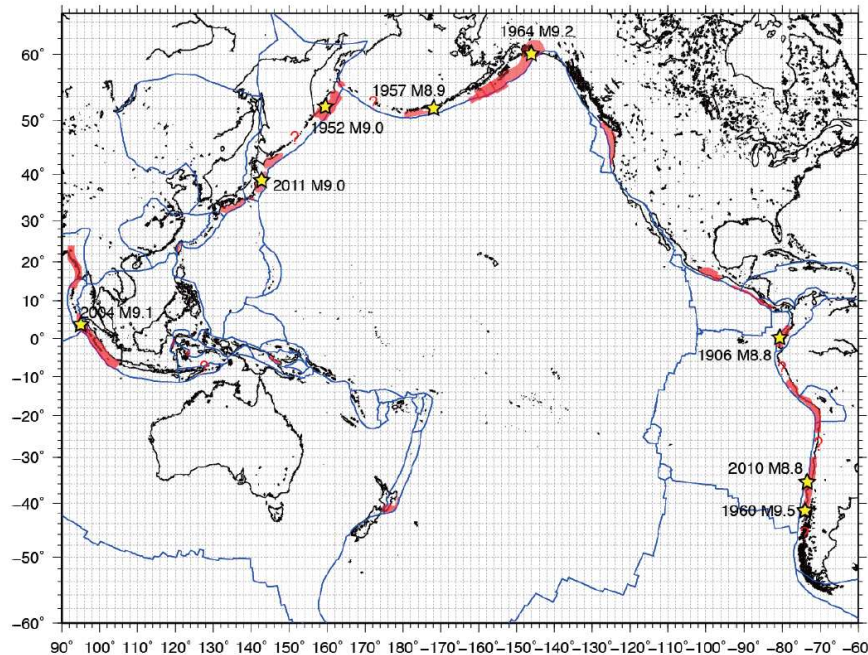
日本海溝沿いにおける各領域の固着等に関する分析結果  
 (地震調査研究推進本部(2012)に一部加筆)

## 2.8 スマトラ島～アンダマン諸島沖と日本海溝沿いで発生する巨大地震の比較

### 2.8.3 地震学的・測地学的見地:カップリング率

- 西村(2013)は, 環太平洋の沈み込み帯とインド洋北東部のスダ海溝沿いのプレート境界面のカップリング率に関する知見を整理し, スマトラの平均的なカップリング係数※は1に近く, 日本海溝は中程度であるとしている。

※: すべり欠損速度をプレート相対運動速度で割ったもの。



- : すべり欠損速度が2cm/年以上と推定されている領域
- ★ : 1900年以降のM8.8以上の超巨大地震の震央
- ?: カップリングしていると疑われるが, 文献が調査できなかった位置
- : プレート境界位置

#### 【平均的なカップリング係数】

- ・1に近い沈み込み帯: 北米カスケード, チリ, スマトラ, 南海トラフ
- ・中程度: カムチャッカ, アリューシャン, アラスカ, メキシコ, 中米, コロンビア, ペルー, 日本海溝, 千島海溝
- ・小さい: ニューゼーランド, トンガ, 伊豆・小笠原, マリアナ, 琉球, フィリピン等

環太平洋とその周辺における測地データから推定された  
プレート間カップリング分布(西村(2013))



以上から, スマトラ島～アンダマン諸島沖と日本海溝沿いのプレート境界面における固着のばらつき及びカップリング率には大きな違いがある。

## 2. 8 スマトラ島～アンダマン諸島沖と日本海溝沿いで発生する巨大地震の比較

### 2. 8. 4 世界で発生しているM9クラスの巨大地震の破壊様式の分類①

- Koyama et al.(2012), 小山ほか(2012)は, 3.11地震のほか, 世界でM9クラスの巨大地震が発生している各海域の地震活動(セグメンテーション), メカニズム解, 破壊パターン, テクトニクス背景等から, 以下に示すとおり各巨大地震の破壊様式を分類している。

#### ■地震活動(セグメンテーション)

##### ①along-dip double segmentation(ダブルセグメント)

- 島弧沿いに並んだ活発な地震活動と海溝沿いの不活発な地震活動帯が海溝軸に並行に二重に存在し, 主要な破壊(大きなすべり)は海溝軸直交方向に進行する地震活動を示す。
- 海溝から島弧まで幅が広く, 震源域を取り囲むような領域で, 大きな地震前に地震活動が活発化する。
- 3.11地震, 1964年アラスカ・アリユーション地震, 1952年カムチャッカ地震がこのタイプに分類される(詳細は, 次頁に示す)。

##### ②along-strike single segmentation(シングルセグメント)

- プレート境界の浅部がほぼ100%固着し, 海溝沿いに沿って破壊が広がる地震活動を示す。
- 地震活動の幅が狭く, 巨大地震が発生する前に震源域全体が鎮静化するseismic gap(地震空白域)が顕著に現れる。
- 2004年スマトラ～アンダマン地震, 1960年チリ地震, 2010年チリ地震がこのタイプに分類される(詳細は, 次頁に示す)。

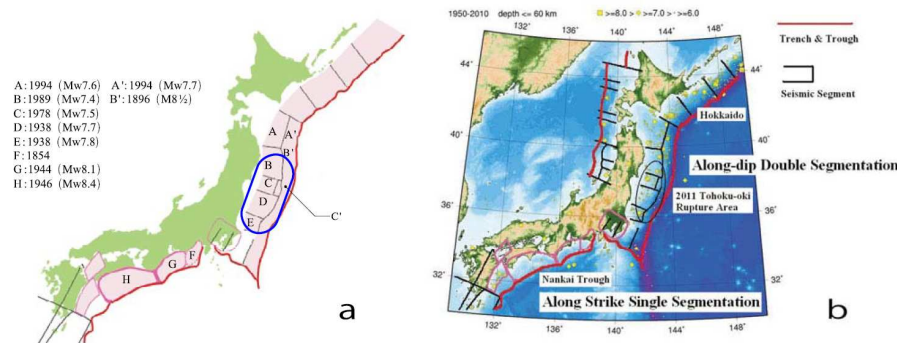


Fig. 1. Seismic activity in Japan and its vicinity. a: Seismic segmentation used in the official earthquake forecasting<sup>4</sup> of the Evaluation of Major Subduction Zone Earthquakes by the Headquarters for Earthquake Research Promotion. The historically largest earthquake in each segment is indicated. b: Epicenters of earthquakes (yellow symbols classified by magnitude) from 1950 to 2010 with magnitudes given by Japan Meteorological Agency equal to, or larger than, 6.0 and focal depths equal to, or shallower than, 60 km. Trenches and troughs near Japan are illustrated by red curves. The 2011 Tohoku-oki megathrust earthquake ruptured the area circled by the solid ellipse, where along-dip double segmentation (ADDS) is obvious. Along-strike single segmentation (ASSS) can be found in the Nankai Trough, where little recent seismic activity has been observed. Such regions are often called seismic gaps. <sup>4</sup><http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/?lang=en> (2010).

日本周辺の地震活動(Koyama et al.(2012))

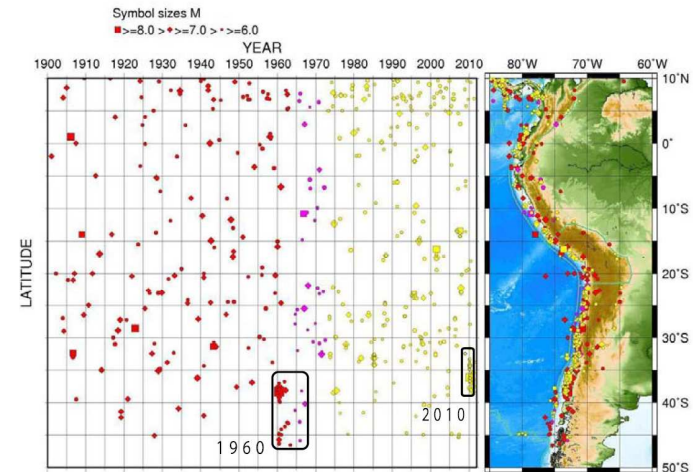


Fig. 2. Seismic activity along the Chilean subduction zone. We notice sparse seismicity prior to the 1960 and 2010 great earthquakes (seismic gap) and a narrow seismically active area along the subduction zone. These are typical characteristics of ASSS. Epicenters relocated by Engdahl *et al.* (1998) are used from 1900 to 1972. From 1973 to July 2011, the USGS NEIC database<sup>5</sup> has been analyzed. <sup>5</sup>[http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/epic\\_global.php](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/epic_global.php).

チリの沈み込み帯における地震活動(Koyama et al.(2012))

## 2.8 スマトラ島～アンダマン諸島沖と日本海溝沿いで発生する巨大地震の比較

### 2.8.4 世界で発生しているM9クラスの巨大地震の破壊様式の種類②

#### ■巨大地震の破壊様式の種類

- 世界の巨大地震は、地震活動(セグメンテーション)、テクトニクス的背景の比較から、(1)1960年チリ型、(2)1964年アラスカ型、(3)2004年スマトラ型、(4)2011年東北沖型の4つの破壊様式に分類できる。

世界で発生した巨大地震の比較(Koyama et al.(2012)に一部加筆)

Table 1. Variability of megathrust earthquakes in the world.

Event	Overriding Plate	Segmentation	Remarks
<b>2004 Sumatra*</b>	Continental Margin	Single	Oblique
1957 Andreanof	Continental Margin	Single	Oblique
1960 Rat Island	Continental Margin	Single	Oblique
<b>1060 Chile</b>	Continent	Single	Cordilleran Orogeny <sup>7</sup>
2010 Chile	Continent	Single	Cordilleran Orogeny
<b>1964 Alaska</b>	Continent	Double	Cordilleran Orogeny
1952 Kamchatka	Continental Margin	Double	Cordilleran Orogeny
<b>2011 Tohoku-oki</b>	Continental Margin	Double	Pacific-type Orogeny <sup>8</sup>

\*Boldface indicates a typical end-member characterized by the category of single/double segmentation, orthogonal/oblique subduction and type of overriding plate/orogeny. <sup>7</sup>: Uyeda (1982); <sup>8</sup>: Maruyama (1997).

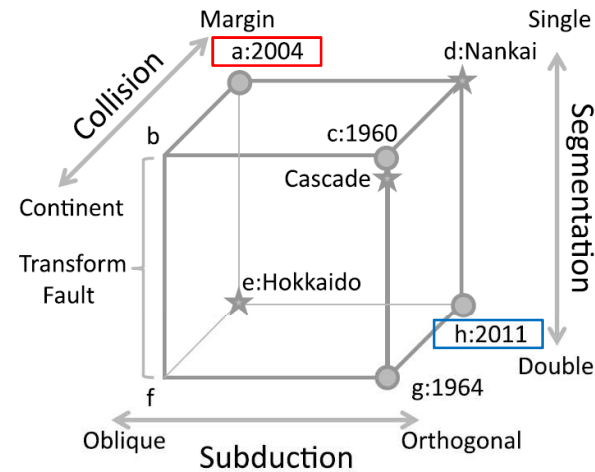


Fig. 7. Variability of megathrust earthquakes in terms of seismic segmentation (along-strike single segmentation, ASSS or along-dip double segmentation, ADDS), subduction zone geometry (orthogonal or oblique) and collision with continental plate or continental margin. Typical end-members of great earthquakes are plotted by solid circles with their year of occurrences. Possible future large earthquakes in Hokkaido and Nankai Trough (Fig. 1(b)) and the Cascade subduction zone are indicated by stars.

巨大地震の破壊様式の種類(Koyama et al.(2012) に一部加筆)



以上から、スマトラ島～アンダマン諸島沖と日本海溝沿いで発生する巨大地震の破壊様式の種類は異なる。

## 2.8 スマトラ島～アンダマン諸島沖と日本海溝沿いで発生する巨大地震の比較

### 2.8.5 比較検討結果

- 2004年スマトラ～アンダマン地震と同様の破壊伝播が生じる可能性(=M9クラスの巨大地震を発生させる宮城県沖の固着域を起点(震源)とする破壊が三陸沖北部まで伝播する可能性)の有無を確認するため、スマトラ島～アンダマン諸島沖と日本海溝沿いで発生する巨大地震のテクトニクス的背景、地震学的・測地学的見地及び地震発生様式の分類に関する見地から比較を行った。
- 比較検討の結果、震源からの破壊伝播範囲に影響を及ぼすテクトニクス的背景及びプレート境界面における固着のばらつき・カップリング率には大きな違いがあり、巨大地震の破壊様式の分類も異なる。
- 以上のことから、日本海溝沿いで2004年スマトラ～アンダマン地震と同様の破壊現象(破壊伝播)が生じる可能性は低い。即ち、M9クラスの巨大地震を発生させる宮城県沖の固着域を起点(震源)とする破壊が三陸沖北部まで伝播する可能性は低いと評価される。

スマトラ島～アンダマン諸島沖と日本海溝沿いの比較検討の結果

		スマトラ島～アンダマン諸島沖	日本海溝沿い	共通性
テクトニクスの背景	沈み込み帯の特徴	・海側のプレートは海溝に対して斜めに沈み沈み、それに伴い前弧スリバーが形成されている。 ・付加体が発達。	・海溝に対して直交方向に沈み込む。 ・造構性侵食作用が卓越し、付加体は未発達。	無
地震学的・測地学的見地	既往地震の発生履歴	・全域にわたってM8クラスの地震が発生し、かつ、2004年スマトラ～アンダマン地震の発生領域では約500年間隔で繰り返し巨大地震が発生。 ・プレート境界面における固着のばらつきは小さい。	・東北地方太平洋沖型の地震の震源域となる宮城県沖は、固着が小さい三陸沖中部、福島県沖・茨城県沖の間に位置する。 ・プレート境界面における固着のばらつきは大きい。	無
	カップリング率	・1に近い。	・中程度。	無
破壊様式の分類 (地震活動(セグメンテーション))		2004年スマトラ型 (along-strike single segmentation)	2011年東北沖型 (along-dip double segmentation)	無

## 2. 想定波源域及び地震規模の設定

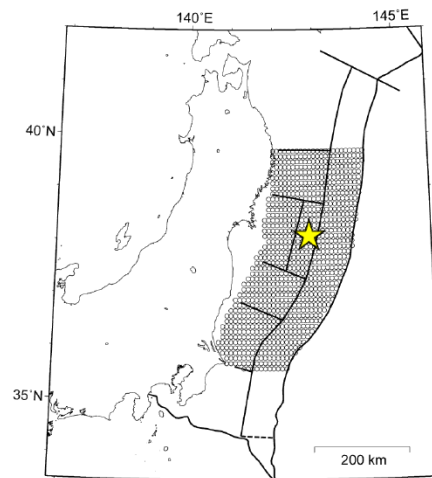
### 2.9 まとめ

No.	コメント時期	コメント内容
S56	1月23日 第185回審査会合	三陸沖北部への連動性を考えるにあたっては、3.11ですべりを生じた福島県沖の固着に関する最新の知見も分析に加え、総合的に考察すること。
S57	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの断層面積及びMwの妥当性について説明すること。



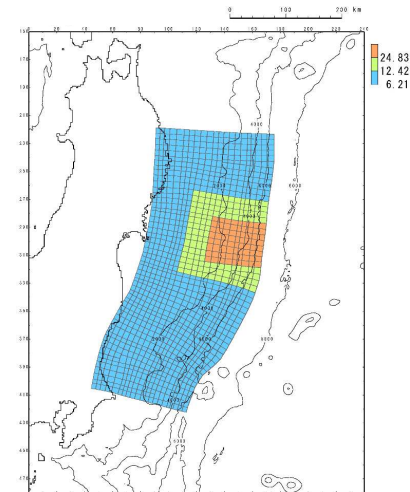
- 以上の検討結果から、地震調査研究推進本部(2012, 2014a)が評価した「東北地方太平洋沖型の地震(Mw8.4~9.0)」を上回る規模の地震が発生する可能性は低いと評価する。
- 本評価結果から、特性化モデルの巨視的波源特性のうち想定波源域は、「三陸沖中部～茨城県沖」と設定する。

■地震調査研究推進本部(2012, 2014a)の評価



確率論的地震動予測地図の作成に用いた  
「東北地方太平洋沖型の地震」の断層面  
(地震調査研究推進本部(2014a))

■特性化モデル



- 断層面積: 107,357 (km<sup>2</sup>)
- Mw: 9.04

### 3. 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

---

3. 1 審査会合での説明とコメント内容	.....	p39
3. 2 本説明(コメント回答)の基本方針	.....	p40
3. 3 3.11地震から得られた知見の整理	.....	p41
3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定	.....	p45
3. 5 まとめ	.....	p106

### 3. 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.1 審査会合での説明とコメント内容

##### ■審査会合での説明

- 3.11地震から得られた知見を踏まえ、波源特性の不確かさのうち津波高さに大きな影響を与える大すべり域(宮城県沖の固着域)の不確かさを幅広く考慮できるモデルとして、特性化モデルを設定。
- 特性化モデルの妥当性確認は、各再現モデルによる敷地前面における津波水位を上回る安全側のモデルになっていることを確認することにより実施。



No.	コメント時期	コメント内容
S57	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの断層面積及びMwの妥当性について説明すること。
S58	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの設定方法のうち、大すべり域・超大すべり域を設定することによるMwの調整を、波源域全体で調整しているが、背景領域を設定して調整した場合にどのような影響があるか説明すること。
S59	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの波源域全体に占める大すべり域の割合を変化させた場合にどのような影響があるか説明すること。
S60	1月23日 第185回審査会合	すべりの不均質性を考慮した内閣府モデル、女川再現モデル、特性化モデルの大すべり域が、最も厳しい位置となっているか確認すること。
S62	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの剛性率の妥当性について説明すること。



### 3. 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

## 3.2 本説明(コメント回答)の基本方針

S● : 審査会合コメントNo.

#### ■本説明(コメント回答)の基本方針

##### (1)3.11地震から得られた知見の整理

- 3.11地震の地震特性を再現するモデル(震源断層モデル)、津波特性を再現するモデル(津波波源モデル)の比較等から、特性化モデル(基準断層モデル)の設定にあたって反映が必要な知見は、以下のとおり整理される。

- 広域に亘って、時間的・空間的に複雑なすべり分布の不均一性が見られたが、女川地点の津波高さに大きな影響を及ぼしたのは、震源付近(宮城県沖)で生じた大きなすべり領域である(Satake et al.(2013), 杉野ほか(2013))。
- 震源断層モデル(地震特性)と津波波源モデル(津波特性)には違いが見られる(地震調査研究推進本部(2012)他)。
- 実現象に近い破壊メカニズム(=地震特性)を再現するモデルと、広域沿岸部の痕跡高(=津波特性)を再現するモデルは異なり、両モデルの差を埋めるのは、今後検討すべき課題である(杉野ほか(2013))。

##### (2)特性化モデル(基準断層モデル)設定にあたっての基本方針

- 3.11地震から得られた知見の整理結果を踏まえ、以下の基本方針に基づき、広域の津波特性をモデルに反映する観点から、3.11地震を上回る規模の特性化モデル(基準断層モデル)を設定して、基準津波を評価する。

##### a. 知見: i, iiiの反映

①地震特性の観点:宮城県沖の大すべり域(固着域)の破壊特性を考慮したモデル、②津波特性の観点:広域の津波特性(沿岸部の痕跡高)を考慮したモデルの2つのモデルを基本として設定する。 S58 S59 S62

##### b. 科学的想像力の発揮

次の「東北地方太平洋沖型の地震」が、3.11地震と同様の破壊形態で発生するとは限らないことから、発電所の津波高さに与える影響が大きい宮城県沖の大すべり域(固着域)の破壊位置にゆらぎが存在する可能性を考慮して、発電所に与える影響が大きい大すべり域・超大すべり域の位置を検討する。 S60

##### c. 知見: iiの反映

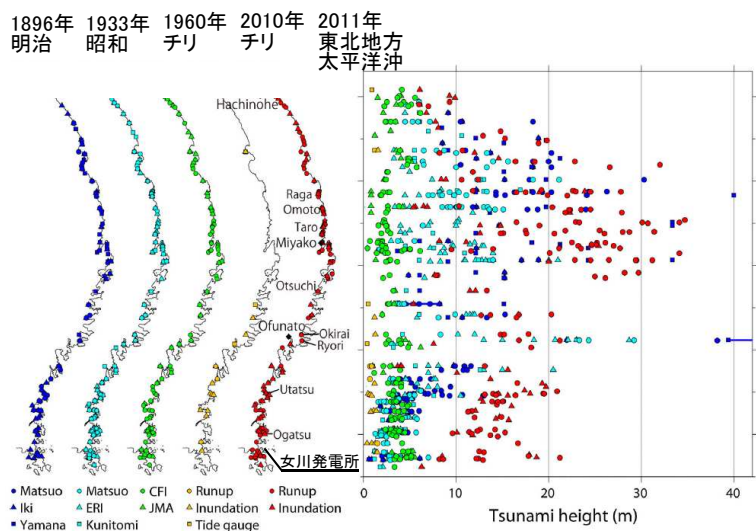
最新の科学的・技術的知見から、地震調査研究推進本部(2012, 2014a)が評価した「東北地方太平洋沖型の地震(想定波源域:三陸沖中部～茨城県沖, 地震規模:Mw9.0)」を上回る規模の地震が発生する可能性は低いと評価されるが、広域の津波特性を特性化モデル(基準断層モデル)に適切に反映する観点から、上記①のモデルについては、震源断層モデルと津波波源モデルの断層面積の違いを大すべり域・超大すべり域のすべり量の増分(約20%)として考慮する。また、上記②のモデルについては、波源域の北端を三陸沖北部まで拡大する。 S57

### 3. 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

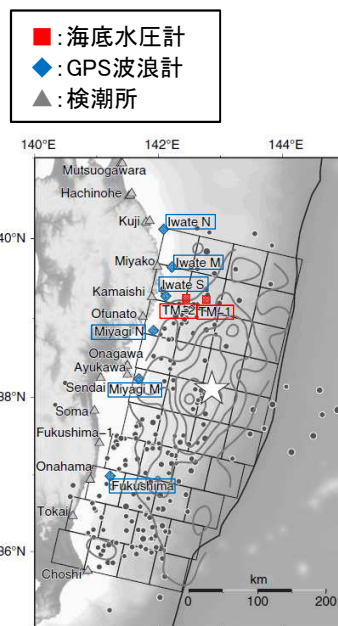
#### 3.3 3.11地震から得られた知見の整理(知見:i)①

i. 広域に亘って、時間的・空間的に複雑なすべり分布の不均一性が見られたが、女川地点の津波高さに大きな影響を及ぼしたのは、震源付近(宮城県沖)で生じた大きなすべり領域である。

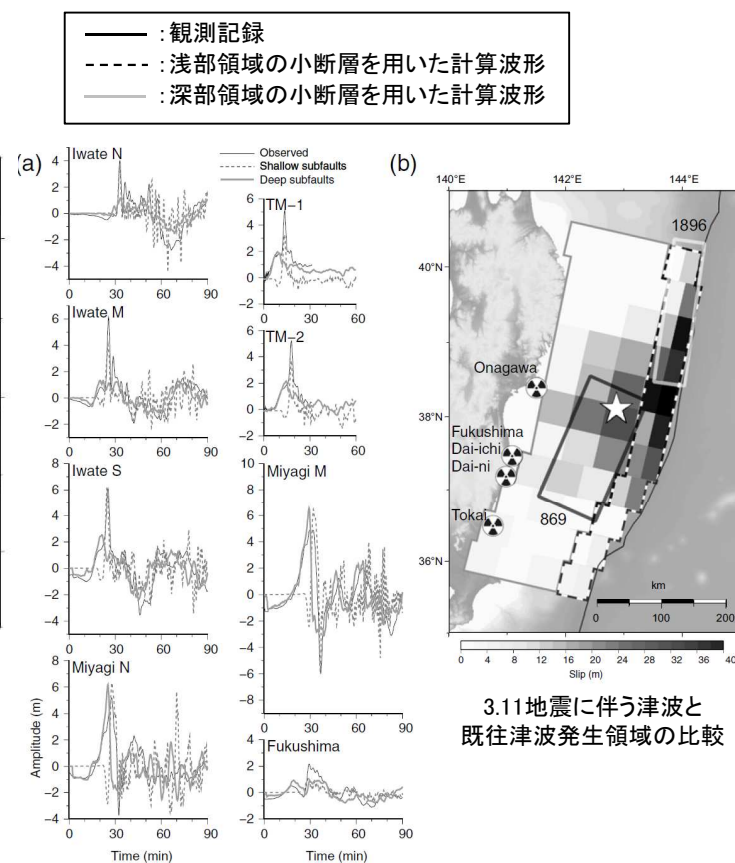
- 3.11地震に伴う津波は、震源域に位置する宮城県沖沿岸の津波高さ(痕跡高)よりも、三陸沖沿岸の津波高さ(痕跡高)の方が高かったことが特徴的である(Tsuji et al.(2014))。
- Satake et al.(2013)は、津波波形インバージョン解析から推定された断層モデルを用いて、宮城県沖沿岸、三陸沖沿岸の津波高さに寄与したすべり領域の分析を実施し、宮城県沖沿岸の津波高さに寄与したすべり領域は、869年の地震に伴う津波の発生領域であったとしている。



1960年及び2010年チリ津波と日本海溝沿いで発生した  
主な津波の津波高さの比較  
(Tsuji et al.(2014)に一部加筆)



津波波形の比較位置



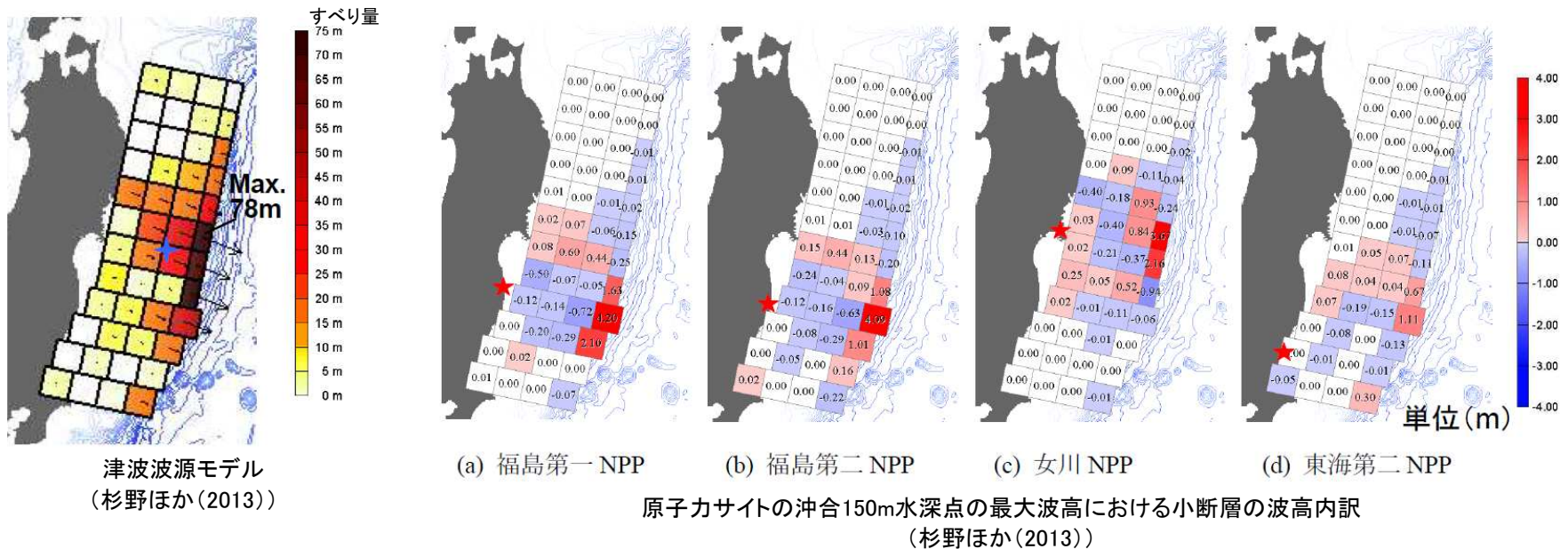
観測波形と計算波形の比較

3.11地震に伴う津波特性の分析  
(Satake et al.(2013)に一部加筆)

### 3. 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.3 3.11地震から得られた知見の整理(知見:i)②

- 杉野ほか(2013)は、観測津波波形、観測地殻変動データ等を用いたジョイントインバージョン解析から推定された津波波源モデルを用いて、原子力サイト沖合150m水深点の最大津波高に寄与した3.11地震のすべり領域の分析を実施しており、女川地点は、宮城北部沖の日本海溝付近の浅い部分が大きく寄与していたとしている。



### 3. 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.3 3.11地震から得られた知見の整理(知見: ii)

ii. 震源断層モデル(地震特性)と津波波源モデル(津波特性)には違いが見られる。

- 3.11地震の地震特性を再現する各種の震源断層モデルのすべり領域は、三陸沖中部～茨城県沖であるのに対して、広域の津波特性を再現する津波波源モデルのすべり領域は、三陸沖北部～茨城県沖であり、両者には違いが見られる。

#### ■3.11地震の地震特性を再現する震源断層モデルのすべり領域

##### 3.11地震の各種すべり分布モデル※

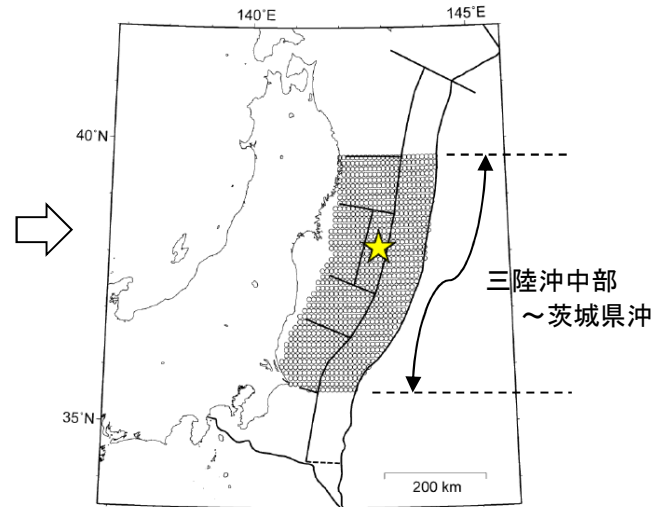
###### 【各種の震源断層モデル】

- ・遠地地震波形解析によるすべり分布モデル
- ・強震動波形解析によるすべり分布モデル
- ・アレイ波形によるすべり分布モデル

###### 【上記以外のすべり分布モデル】

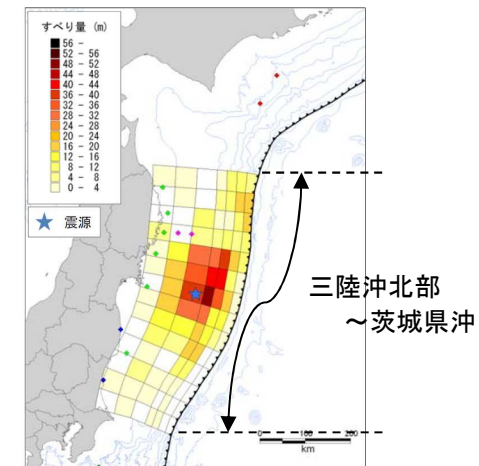
- ・GPSデータによる地震時のすべり分布モデル
- ・津波波形解析によるすべり分布モデル

※:各種のすべり分布モデルの詳細は、補足説明資料「1.2011年東北地方太平洋沖地震の各種のすべり分布モデル(p2～9)」に記載。



東北地方太平洋沖型の地震  
(地震調査研究推進本部(2014a)に一部加筆)

#### ■3.11地震の広域の津波特性を再現する津波波源モデルのすべり領域



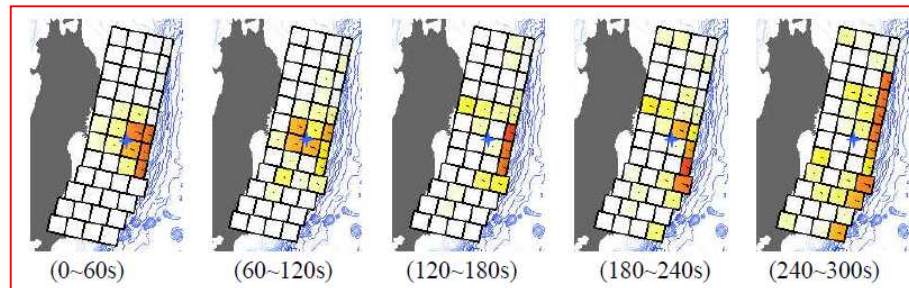
広域の津波特性を再現するすべり分布(例)  
(内閣府(2012a))

### 3. 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

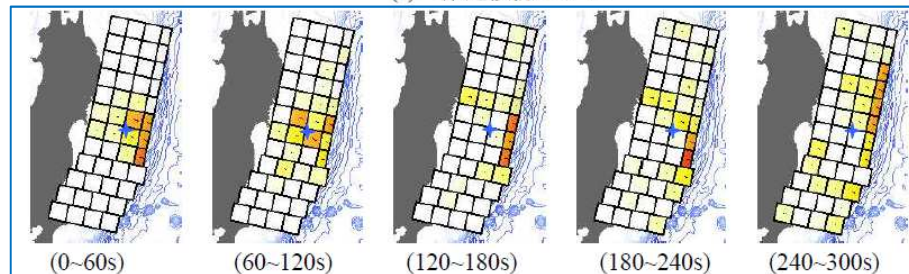
#### 3.3 3.11地震から得られた知見の整理(知見: iii)

iii. 実現象に近い破壊メカニズム(=地震特性)を再現するモデルと、広域沿岸部の痕跡高(=津波特性)を再現するモデルは異なり、両モデルの差を埋めるのは、今後検討すべき課題である。

- 杉野ほか(2013)では、3.11地震の破壊メカニズム(地震特性)が表れる沖合いの観測波形及び観測地殻変動量をターゲットとしたインバージョン解析により求められたモデル(=暫定波源モデル)と、沿岸の痕跡高(広域の津波特性)を再現するモデル(=確定波源モデル)を得ており、後者のモデルのすべり量は前者のモデルのすべり量を1.2倍している。
- 両者のモデルの意義を以下のとおり整理している。
  - ▶ 暫定波源モデルは、実現象に近い破壊メカニズムを表していると考えられ、理学的側面において意義がある。
  - ▶ 確定波源モデルは、波源想定等の工学的側面において意義がある。
  - ▶ 理学・工学の両方の観点から全ての現象(プレート境界の破壊、津波伝播、津波遡上)を共通のモデルでより良く説明・再現できることが理想であるが、両モデルの差を埋めるのは、今後検討すべき課題である。



(a) 確定波源モデル



(b) 暫定波源モデル

#### ■ 確定波源モデル

沿岸の痕跡高(広域の津波特性)を再現するため破壊メカニズムを再現する暫定波源モデルのすべり量を1.2倍したモデル

#### ■ 暫定波源モデル

破壊メカニズム(地殻変動量, 沖合いの観測波形)を再現するモデル

3.11地震を再現する津波波源モデルのすべり分布の経時変化  
(杉野ほか(2013)に一部加筆)

### 3. 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

---

#### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

3.4.1 基本方針(設定フロー)	p46
3.4.2 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの設定	p47
3.4.3 広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定	p60
3.4.4 宮城県沖の大すべり域・超大すべり域の位置の検討	p71
3.4.5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定	p80

### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.1 基本方針(設定フロー)

・3.11地震から得られた知見を踏まえ、広域の津波特性をモデルに反映する観点から、3.11地震を上回る規模の特性化モデル(基準断層モデル)を設定する。

**a. 知見: i, iiiの反映**

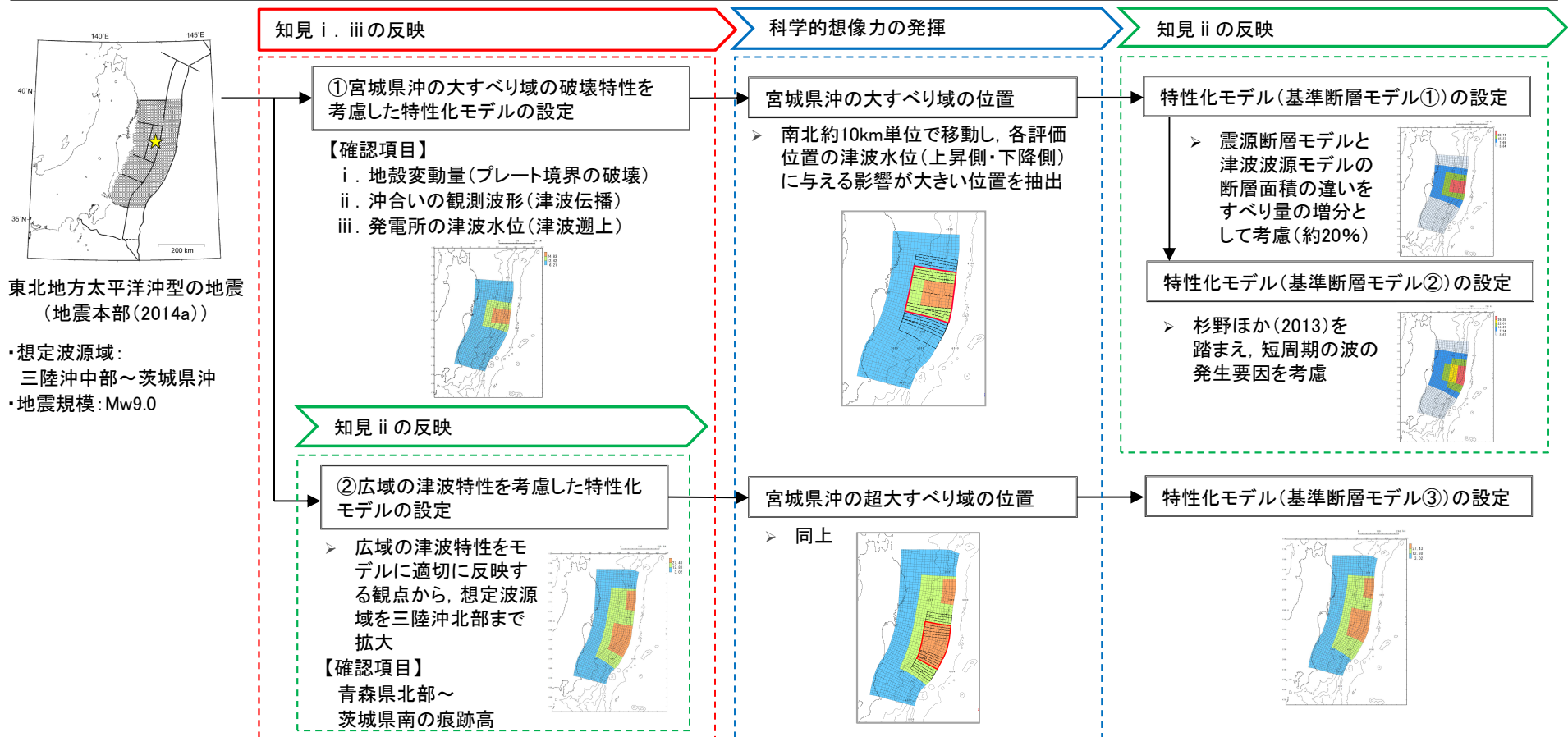
①地震特性の観点: 宮城県沖の大すべり域(固着域)の破壊特性を考慮したモデル, ②津波特性の観点: 広域の津波特性(沿岸部の痕跡高)を考慮したモデルの2つのモデルを基本として設定する。

**b. 科学的想像力の発揮**

次の「東北地方太平洋沖型の地震」が、3.11地震と同様の破壊形態で発生するとは限らないことから、発電所の津波高さに与える影響が大きい宮城県沖の大すべり域(固着域)の破壊位置にゆらぎが存在する可能性を考慮して、発電所に与える影響が大きい大すべり域・超大すべり域の位置を検討する。

**c. 知見: iiの反映**

広域の津波特性を特性化モデル(基準断層モデル)に適切に反映する観点から、上記①のモデルについては、震源断層モデルと津波波源モデルの断層面積の違いを大すべり域・超大すべり域のすべり量の増分(約20%)として考慮する。また、上記②のモデルについては、波源域の北端を三陸沖北部まで拡大する。

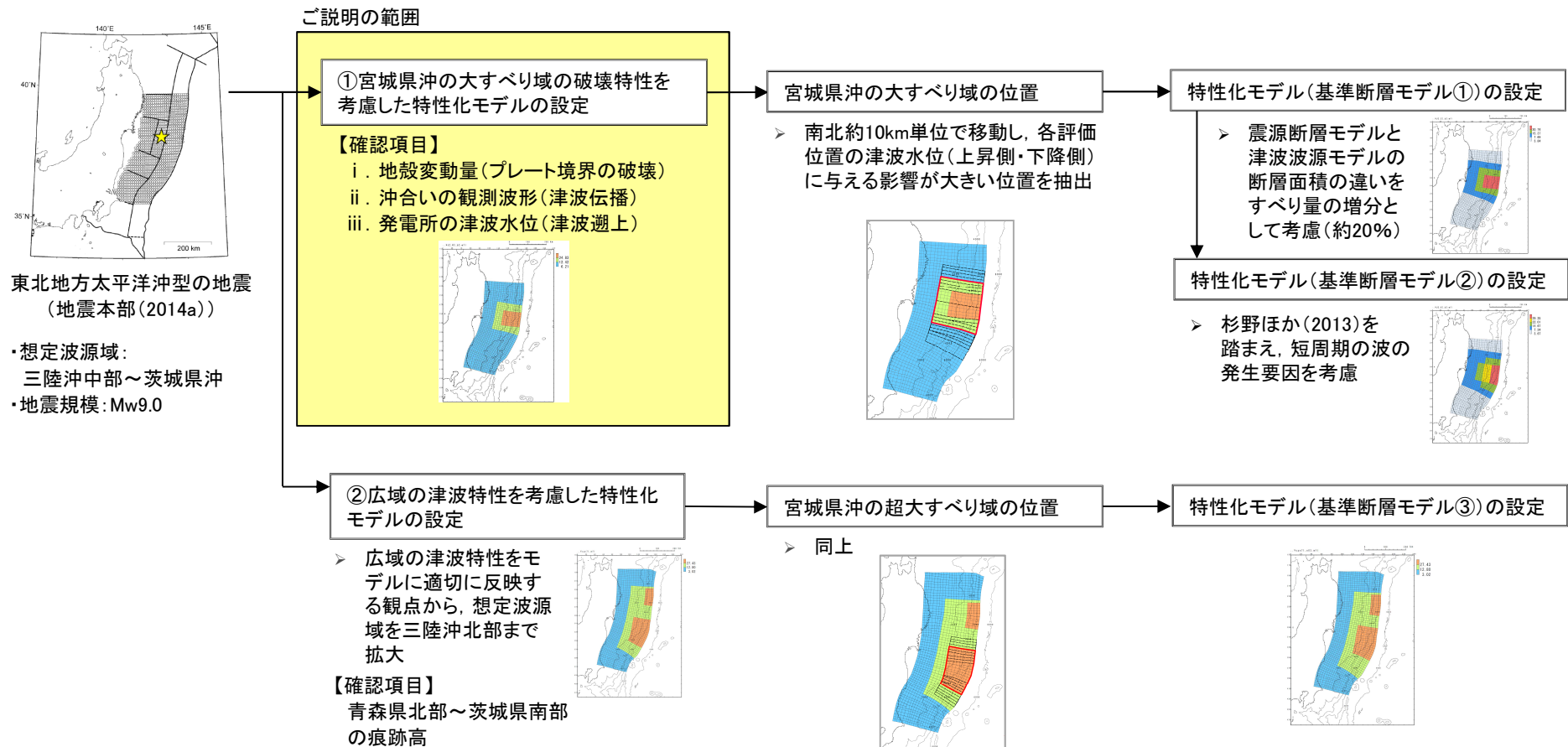


東北地方太平洋沖型の地震  
(地震本部(2014a))

・想定波源域:  
三陸沖中部～茨城県沖

・地震規模: Mw9.0

### 3.4.2 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの設定





### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

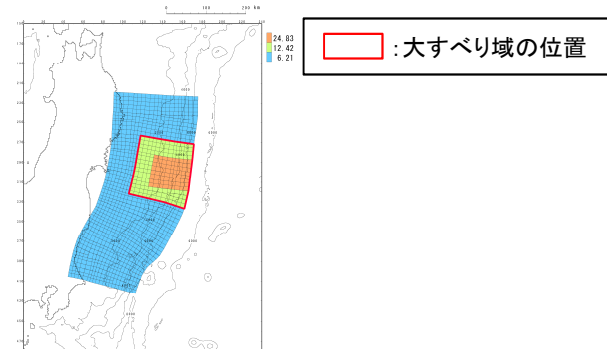
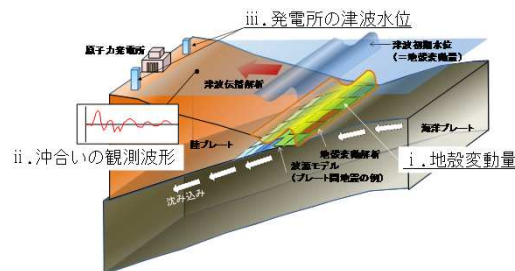
#### 3.4.2 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの設定①

##### ■基本方針

- 設定した特性化モデルが、宮城県沖における大すべり域の破壊特性を適切に考慮しているかを確認するため、杉野ほか(2013)を参考に、破壊特性が表れる地殻変動量(プレート境界の破壊)、沖合いの観測波形(津波伝播)及び発電所の津波水位(津波遡上)について、3.11地震の実現象と比較する。

##### 【確認項目】

- 地殻変動量(プレート境界の破壊)
- 沖合いの観測波形(津波伝播)
- 発電所の津波水位(津波遡上)



宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル

##### ■審査会合コメントとの対応

No.	コメント時期	コメント内容
S58	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの設定方法のうち、大すべり域・超大すべり域を設定することによるMwの調整を、波源域全体で調整しているが、背景領域を設定して調整した場合にどのような影響があるか説明すること。
S62	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの剛性率の妥当性について説明すること。

##### 【S58への対応】

- 設定した特性化モデルは、大すべり域、超大すべり域を設定することに伴う地震モーメントの調整を波源モデルの全領域で行っている。これに対し、地震モーメントの調整を背景領域で行うモデルを設定し、地震モーメントの調整方法の違いによる影響確認を行う。

##### 【S62への対応】

- 剛性率を含む個々のパラメータは、モデルを構成する一連のパッケージとして設定されることから、剛性率の妥当性については、上記宮城県沖における大すべり域の破壊特性に関する3.11地震の実現象との比較から確認する。
- また、設定した特性化モデルを深部領域・浅部領域に分割し、各領域の剛性率を考慮した平均的な剛性率を別途算定して、設定した特性化モデルの剛性率との比較を行う。

### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3. 4. 2 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの設定②

##### ■特性化モデルの設定方法

##### (1)巨視的波源特性:想定波源域の設定

- 宮城県沖の大すべり域の破壊特性(地震特性)を特性化モデルに反映する観点から、想定波源域は、地震調査研究推進本部(2012, 2014a)による「東北地方太平洋沖型の地震」の想定波源域と同様に、三陸沖中部～茨城県沖に設定した。

##### (2)微視的波源特性:大すべり域・超大すべり域の設定

- 国内外の巨大地震の解析事例の調査に基づき大すべり域・超大すべり域のすべり量及び全体面積に占める面積比率を示している内閣府(2012b)を参考に設定<sup>※1</sup>した。
  - 大すべり域:津波断層の平均すべり量の2倍,全体面積の20%程度(超大すべり域を含む)
  - 超大すべり域:津波断層の平均すべり量の4倍,全体面積の5%程度

※1:内閣府(2012b)による南海トラフ巨大地震(津波断層モデル)の面積比率の詳細は、補足説明資料「3. 南海トラフの巨大地震モデル(津波断層モデル)の分析(p29～32)」に記載。

- なお、設定した特性化モデルの大すべり域・超大すべり域の面積は、震源の全体的は破壊の動きを捉えていると考えられる長周期観測地震動に基づいて推定された震源断層モデル(Wu et al.(2012))のすべり分布を参考として(杉野ほか(2013)),内閣府(2012b)に示されている面積比率よりも大きく設定<sup>※2</sup>した。

※2:大すべり域:20.7%(超大すべり域を含む),超大すべり域:7.5%

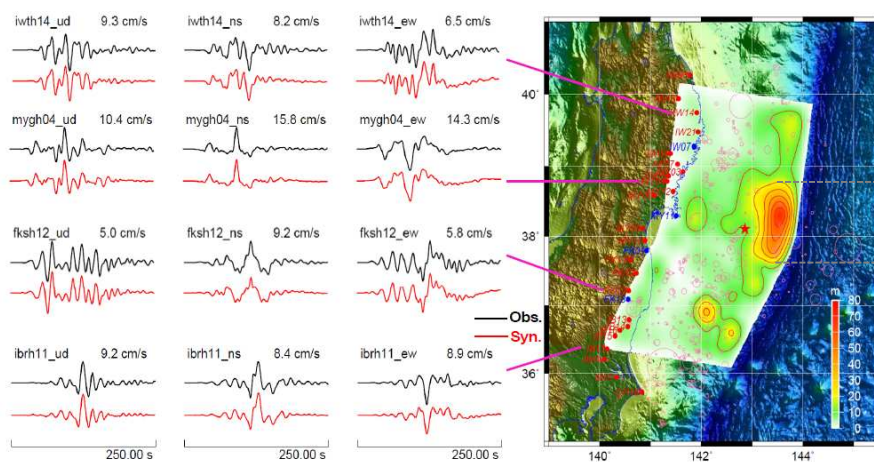
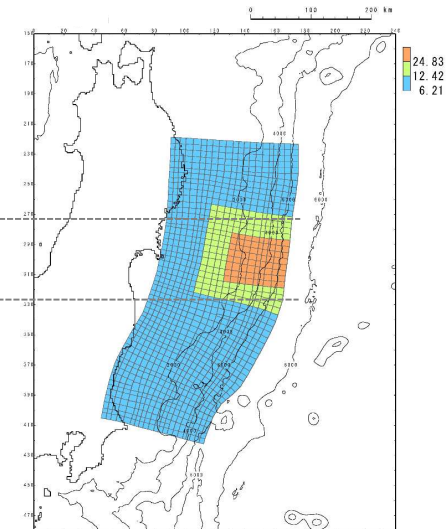


Figure 2. Waveform comparison and slip distribution map. Left: Comparison of synthetic waveforms (red) with the observation data (black); Right: Slip distribution inferred from the long-period seismic waves (<math><0.1\text{Hz}</math>).

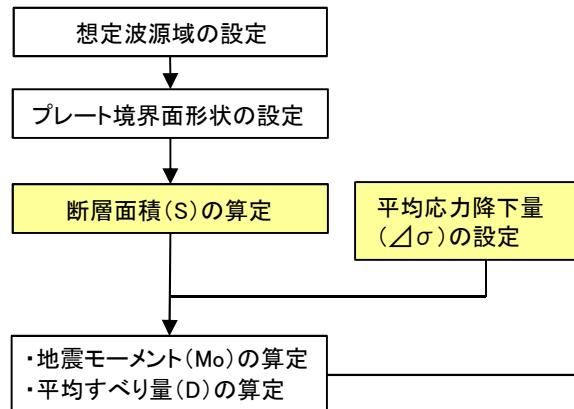
長周期地震動に基づくすべり分布(Wu et al.(2012)に一部加筆)



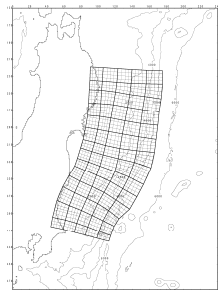
宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルのすべり分布

# 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの設定フロー

## 1. 巨視的波源特性の設定



スケールリング則の適用  
(円形破壊面を仮定した関係式)



- 約10km四方の小断層(総数:1107)でプレート境界面を近似。
- すべり分布の設定にあたっては、小断層を約40km四方にブロック化(総数:70)し、各ブロックのすべり量を同一に与える。

プレート境界面  
(すべり分布のブロック割図)

各パラメーター一覧

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S)	三陸沖中部~茨城県沖	107,357(km <sup>2</sup> )
地震発生深さ	地震調査研究推進本部(2012)	海溝軸~深さ60km
平均応力降下量(Δσ)	内閣府(2012b), Murotani et al.(2013)	3(MPa)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(Mo)	16/(7π <sup>3/2</sup> ) · Δσ · S <sup>3/2</sup>	4.33 × 10 <sup>22</sup> (Nm)
平均すべり量(D)	16/(7π <sup>3/2</sup> ) · Δσ · S <sup>1/2</sup> / μ	8.07(m)

※:土木学会(2002)が引用したP波速度構造に関する文献情報と、近年の地震波探査で得られたP波速度構造に関する文献情報の比較結果を補足説明資料「4. P波速度構造に関する文献情報(p33~35)」に記載。

## 2. 微視的波源特性の設定

(1) 大すべり域・超大すべり域の設定

- 断層面積(S<sub>2</sub>, S<sub>4</sub>)の算定
- すべり量(D<sub>2</sub>, D<sub>4</sub>)の算定
- 地震モーメント(M<sub>o2</sub>, M<sub>o4</sub>)の算定

### ■大すべり域

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S <sub>2</sub> )	断層面積(S)の15% <sup>※</sup>	16,104(km <sup>2</sup> )
すべり量(D <sub>2</sub> )	平均すべり量(D)の2倍 内閣府(2012b)	16.14(m)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(M <sub>o2</sub> )	μ · S <sub>2</sub> · D <sub>2</sub>	1.30 × 10 <sup>22</sup> (Nm)

### ■超大すべり域

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S <sub>4</sub> )	断層面積(S)の5%	5,368(km <sup>2</sup> )
すべり量(D <sub>4</sub> )	平均すべり量(D)の4倍 内閣府(2012b)	32.28(m)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(M <sub>o4</sub> )	μ · S <sub>4</sub> · D <sub>4</sub>	8.66 × 10 <sup>21</sup> (Nm)

※:大すべり域と超大すべり域をあわせた領域の面積比率は20%。

(2) 地震モーメントの調整(すべり量の調整)

(2)-1 基本すべり域の設定

### ■基本すべり域

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S <sub>b</sub> )	断層面積の80%	85,885(km <sup>2</sup> )
すべり量(D <sub>b</sub> )	平均すべり量(D)	8.07(m)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(M <sub>ob</sub> )	μ · S <sub>b</sub> · D <sub>b</sub>	3.47 × 10 <sup>22</sup> (Nm)

(2)-2 各領域の地震モーメント(合計)の算定

Mo' = Mo<sub>2</sub> + Mo<sub>4</sub> + Mo<sub>b</sub> = 5.63 × 10<sup>22</sup>(Nm)

(2)-3 地震モーメントの調整(すべり量の調整)

- Mo/Mo' = 4.33 × 10<sup>22</sup>(Nm) / 5.63 × 10<sup>22</sup>(Nm) = 0.77
- 上記倍率を用いて、基準断層モデルに反映する各領域のすべり量を一律に調整する。

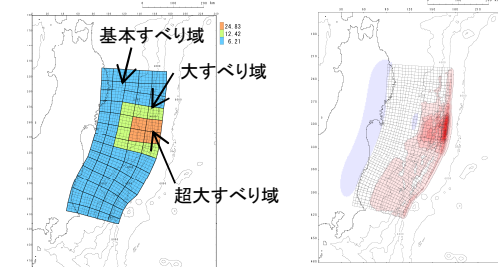
	調整前	調整後
基本すべり域	8.07(m)	6.21(m)
大すべり域	16.14(m)	12.42(m)
超大すべり域	32.28(m)	24.83(m)

## 3. 基準断層モデルの設定

断層モデルへの微視的波源特性の反映

- 設定したプレート境界面(すべり分布のブロック割図)に微視的波源特性を反映。

モーメントマグニチュード(Mw)の算定



すべり量分布

地殻変動量分布

モーメントマグニチュード(Mw)	9.04	基本すべり域	すべり量	6.21(m)
地震発生深さ	海溝軸~深さ60km	断層面積(面積比率)	85,165(km <sup>2</sup> ) (79.3%)	
断層面積(S)	107,357(km <sup>2</sup> )	大すべり域	すべり量	12.42(m)
平均応力降下量(Δσ) (=7/16 · Mo · (S/π) <sup>-3/2</sup> )	3.13(MPa)	断層面積(面積比率) <sup>※</sup>	22,192(km <sup>2</sup> ) (20.7%)	
剛性率(μ)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )	超大すべり域	すべり量	24.83(m)
地震モーメントMo	4.52 × 10 <sup>22</sup> (Nm)	断層面積(面積比率)	8,078(km <sup>2</sup> ) (7.5%)	
すべり角λ	太平洋プレートの運動方向に基づいて設定	平均すべり量D	8.43(m)	
ライズタイムτ	60(s)			

※:大すべり域と超大すべり域をあわせた領域の面積比率

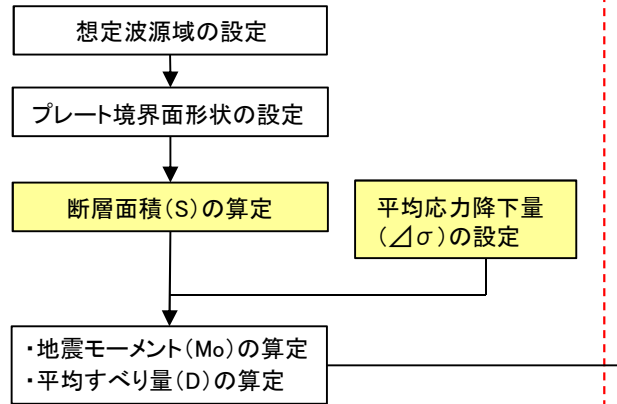
与条件

### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

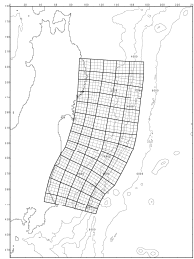
#### 3. 4. 2 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの設定③

##### ■背景領域により地震モーメントを調整した特性化モデルの設定フロー

###### 1. 巨視的波源特性の設定



➢ スケーリング則の適用  
(円形破壊面を仮定した関係式)



- 約10km四方の小断層(総数:1107)でプレート境界面を近似。
- すべり分布の設定にあたっては、小断層を約40km四方にブロック化(総数:70)し、各ブロックのすべり量を同一に与える。

プレート境界面  
(すべり分布のブロック割図)

各パラメーター一覧

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S)	三陸沖中部～茨城県沖	107,357(km <sup>2</sup> )
地震発生深さ	地震調査研究推進本部(2012)	海溝軸～深さ60km
平均応力降下量(Δσ)	内閣府(2012b), Murotani et al.(2013)	3(MPa)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0×10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(Mo)	16/(7π <sup>3/2</sup> )・Δσ・S <sup>3/2</sup>	4.33×10 <sup>22</sup> (Nm)
平均すべり量(D)	16/(7π <sup>3/2</sup> )・Δσ・S <sup>1/2</sup> /μ	8.07(m)

###### 2. 微視的波源特性の設定

###### (1)大すべり域・超大すべり域の設定

- 断層面積(S<sub>2</sub>,S<sub>4</sub>)の算定
- すべり量(D<sub>2</sub>,D<sub>4</sub>)の算定
- 地震モーメント(M<sub>o2</sub>,M<sub>o4</sub>)の算定

###### ■大すべり域

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S <sub>2</sub> )	断層面積(S)の15%※	16,104(km <sup>2</sup> )
すべり量(D <sub>2</sub> )	平均すべり量(D)の2倍 内閣府(2012b)	16.14(m)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0×10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(M <sub>o2</sub> )	μ・S <sub>2</sub> ・D <sub>2</sub>	1.30×10 <sup>22</sup> (Nm)

###### ■超大すべり域

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S <sub>4</sub> )	断層面積(S)の5%	5,368(km <sup>2</sup> )
すべり量(D <sub>4</sub> )	平均すべり量(D)の4倍 内閣府(2012b)	32.28(m)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0×10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(M <sub>o4</sub> )	μ・S <sub>4</sub> ・D <sub>4</sub>	8.66×10 <sup>21</sup> (Nm)

※:大すべり域と超大すべり域をあわせた領域の面積比率は20%。

###### (2)地震モーメントの調整(背景領域の設定)

###### ■背景領域

パラメータ	設定方法	設定値
地震モーメント(M <sub>ob</sub> )	M <sub>o</sub> - (M <sub>o2</sub> +M <sub>o4</sub> )	2.16×10 <sup>22</sup> (Nm)
断層面積(S <sub>b</sub> )	断層面積の80%	85,885(km <sup>2</sup> )
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0×10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
すべり量(D <sub>b</sub> )	M <sub>ob</sub> /S <sub>ob</sub> /μ	5.04(m)

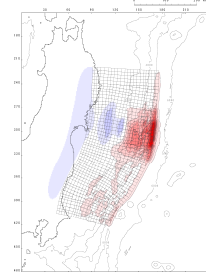
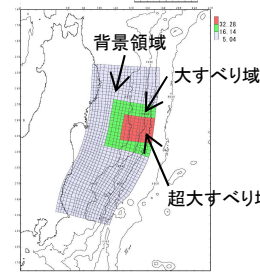
###### 3. 基準断層モデルの設定

■ : 与条件

###### 断層モデルへの微視的波源特性の反映

- 設定したプレート境界面(すべり分布のブロック割図)に微視的波源特性を反映。

###### モーメントマグニチュード(Mw)の算定



すべり量分布

地殻変動量分布

モーメントマグニチュード(Mw)	9.04	背景領域	すべり量	5.04(m)
地震発生深さ	海溝軸～深さ60km	断層面積(面積比率)	85,165(km <sup>2</sup> ) (79.3%)	
断層面積(S)	107,357(km <sup>2</sup> )	大すべり域	すべり量	16.14(m)
平均応力降下量(Δσ) (=7/16・Mo・(S/π) <sup>-3/2</sup> )	3.18(MPa)		断層面積(面積比率)※	22,192(km <sup>2</sup> ) (20.7%)
剛性率(μ)	5.0×10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )	超大すべり域	すべり量	32.28(m)
地震モーメントMo	4.59×10 <sup>22</sup> (Nm)		断層面積(面積比率)	8,078(km <sup>2</sup> ) (7.5%)
すべり角λ	太平洋プレートの運動方向に基づいて設定	平均すべり量D		8.43(m)
ライズタイムτ	60(s)			

※:大すべり域と超大すべり域をあわせた領域の面積比率

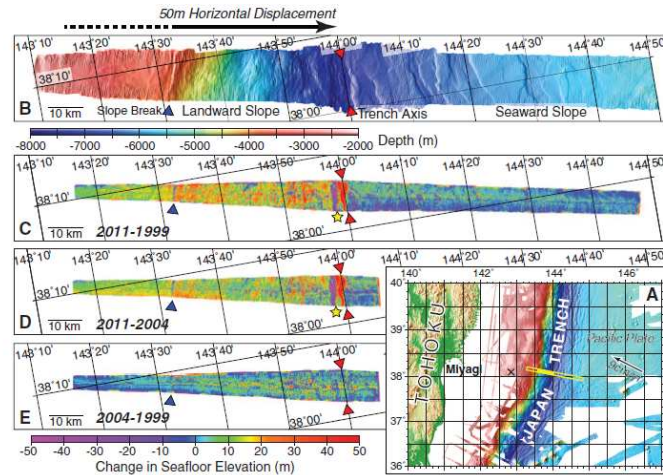
余白

### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3. 4. 2 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの設定④

##### ■3.11地震の地殻変動量(地球物理学的知見)

- Fujiwara et al.(2011)は、3.11地震前後の海底地形データの比較から、宮城県沖の海溝軸付近において、水平方向に50~56m、上下方向(水平変位に伴う鉛直変位も含む)に11m( $\sigma=8.53$ )~16m( $\sigma=9.35$ )の変位が生じたとしている。



**Fig. 1.** Changes in sea-floor elevation between bathymetric data before and after the 2011 Tohoku-Oki earthquake. (A) Location map with bathymetric survey track shown as yellow line. Coseismic horizontal displacement is estimated over the landward slope indicated by solid portion of yellow line. Cross shows the epicenter. (B) Multibeam bathymetry collected in 2011. Red triangles mark the trench axis; the blue triangle marks the landward slope break. Change in sea-floor elevation by subtracting the 1999 bathymetric data from the 2011 data (C), the 2004 data from the 2011 data (D), and the 1999 data from the 2004 data (E). The yellow star marks location of probable submarine landslide.

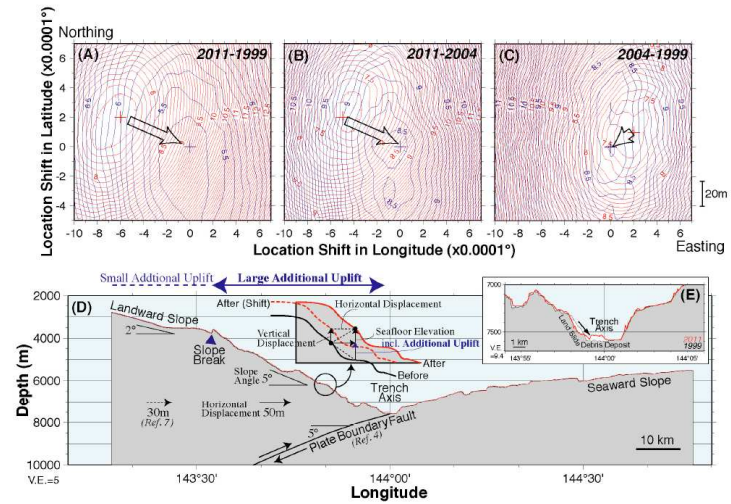
##### 調査位置図(Fujiwara et al.(2011))

##### 陸側斜面及び海側斜面の地震時の変位 (Fujiwara et al.(2011))

**Table S1.**

Estimated coseismic displacements caused by the 11 March 2011 Tohoku-Oki Earthquake in the outermost landward slope area, off Miyagi in the Tohoku district.

Survey Years	Landward Slope					Seaward Slope
	Horizontal Displacement		Seafloor Elevation (Fig. 1)	Vertical Displacement	Additional Uplift	Seafloor Elevation
	Distance	Direction				
2011-1999	56 m	113°	+16 m ( $\sigma=9.35$ )	+10 m ( $\sigma=7.50$ )	+6 m	$\pm 0$ m ( $\sigma=5.32$ )
2011-2004	50 m	117°	+11 m ( $\sigma=8.53$ )	+7 m ( $\sigma=7.22$ )	+4 m	$\pm 0$ m ( $\sigma=8.42$ )
2004-1999	20 m	235°	$\pm 0$ m ( $\sigma=7.44$ )	+1 m ( $\sigma=7.26$ )	-1 m	$\pm 0$ m ( $\sigma=8.17$ )



**Fig. S1.**

Contour maps showing standard deviations (~variances) of depth differences between different surveys for given shifted locations. (A) Comparison between 1999 and 2011 data, (B) comparison between 2004 and 2011 data, and (C) comparison between 2004 and 1999 data, respectively. Red and blue contours show standard deviations of the landward slope and the seaward slopes, respectively. Crosses indicate the minimum peaks of the standard deviations. Arrows show vectors of horizontal shifts from landward to seaward. (D) Schematic cross-section showing coseismic displacement. A sum of a vertical displacement and an additional uplift for a sloping seafloor correspond the observed seafloor elevation changes shown in Fig. 1. The inset is for illustrative purposes (not to scale). (E) Bathymetric cross section at the trench. Red and black indicate 2011 and 1999 data.

##### 地震時変位の概略断面図(図:(D)) (Fujiwara et al.(2011))

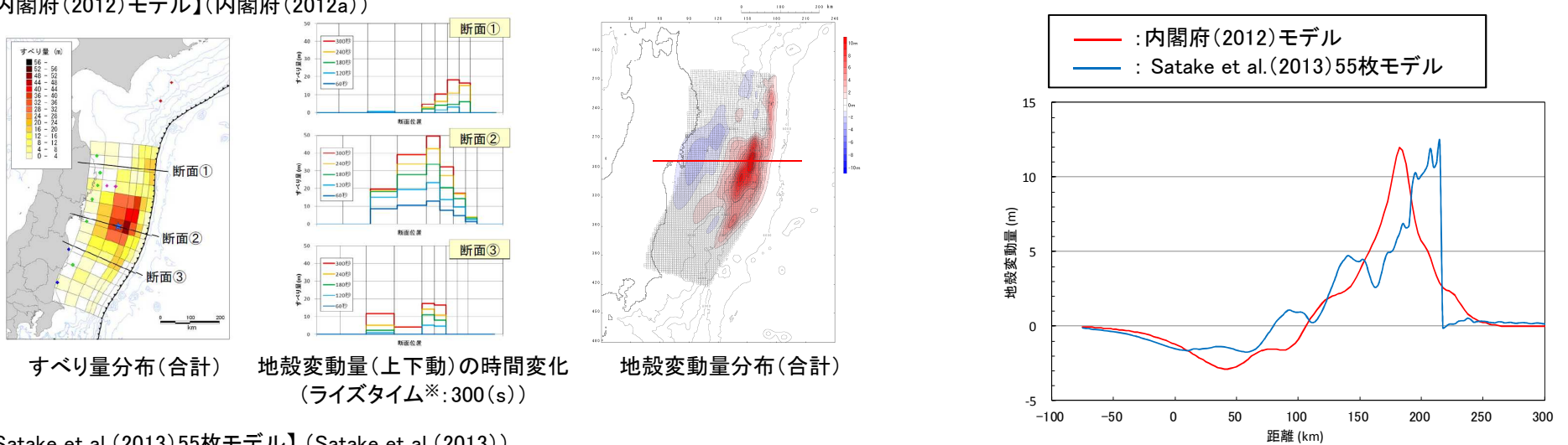
### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

## 3. 4. 2 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの設定④

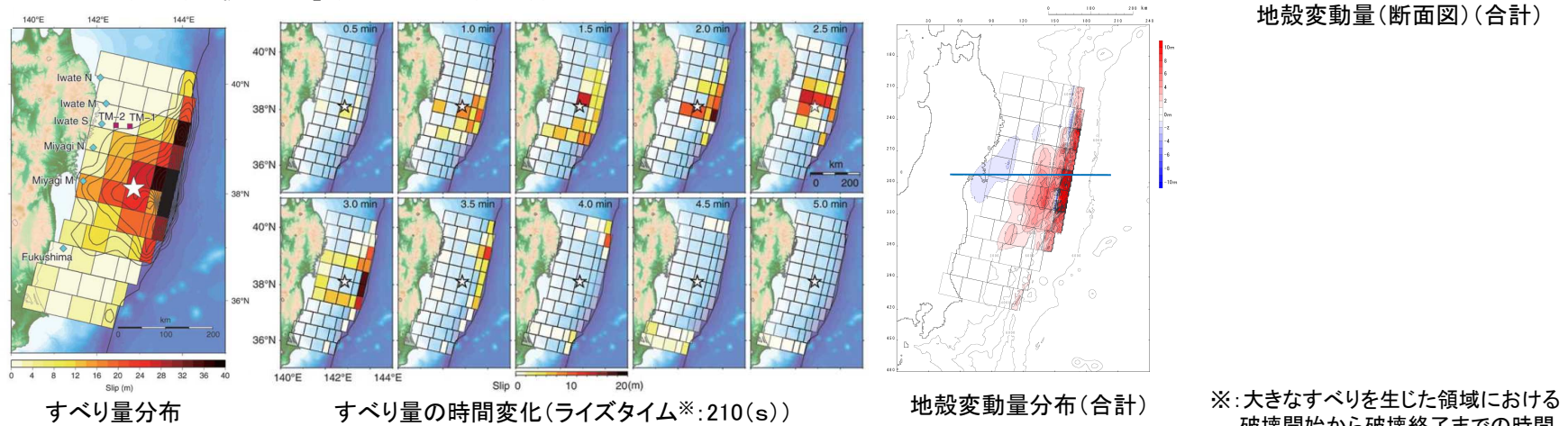
#### ■3.11地震の地殻変動量(3.11地震に伴う津波の再現モデル)

- 各機関等で提案されている3.11地震に伴う津波の再現モデルのうち、津波波形等をインバージョンした内閣府(2012)モデル, Satake et al.(2013) 55枚モデルの地殻変動量から、津波特性を良好に再現する最大鉛直変位は12m程度であることが確認される。

#### 【内閣府(2012)モデル】(内閣府(2012a))



#### 【Satake et al.(2013) 55枚モデル】(Satake et al.(2013))



以上の地球物理学的知見及び再現モデルによる地殻変動量から、3.11地震による最大鉛直変位は12m程度と考えられる。

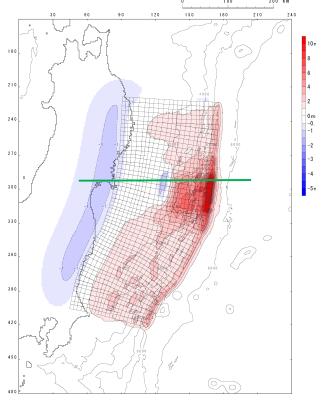
### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.2 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの設定④

##### ■地殻変動量(プレート境界の破壊)の比較

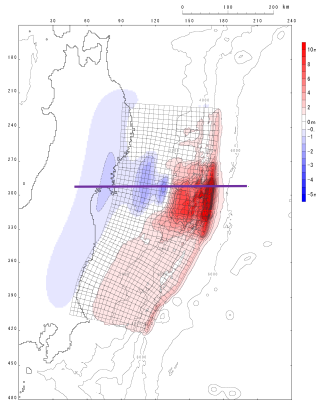
- 設定した特性化モデルについて、内閣府(2012)モデルと同様の条件下で算定される最大鉛直変位は13m程度であり、3.11地震による最大鉛直変位と整合的であることを確認した。
- 一方、背景領域の調整で設定した特性化モデルの最大鉛直変位は17m程度であり、整合性が低いことを確認した。

##### 【宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの地殻変動量分布】

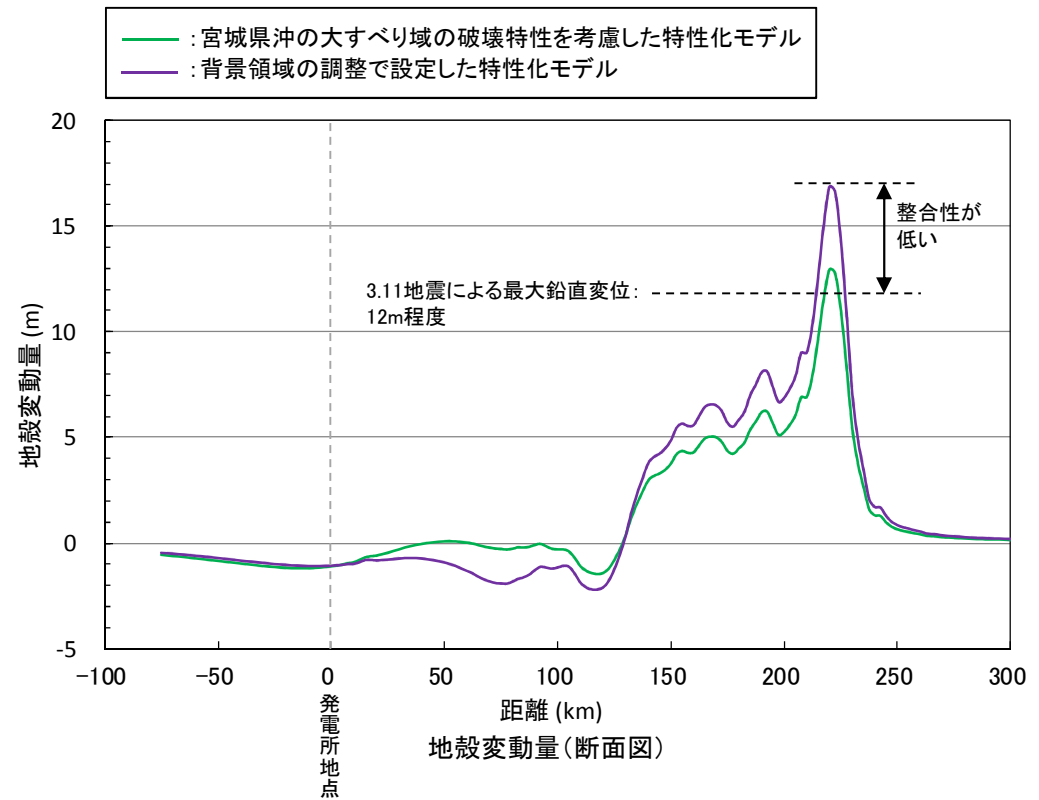


ライズタイム:300(s)相当

##### 【背景領域の調整で設定した特性化モデルの地殻変動量分布】



ライズタイム:300(s)相当



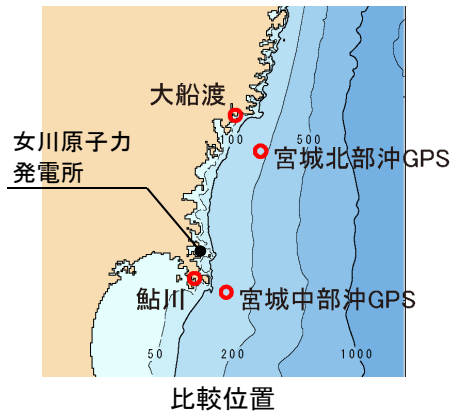


### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

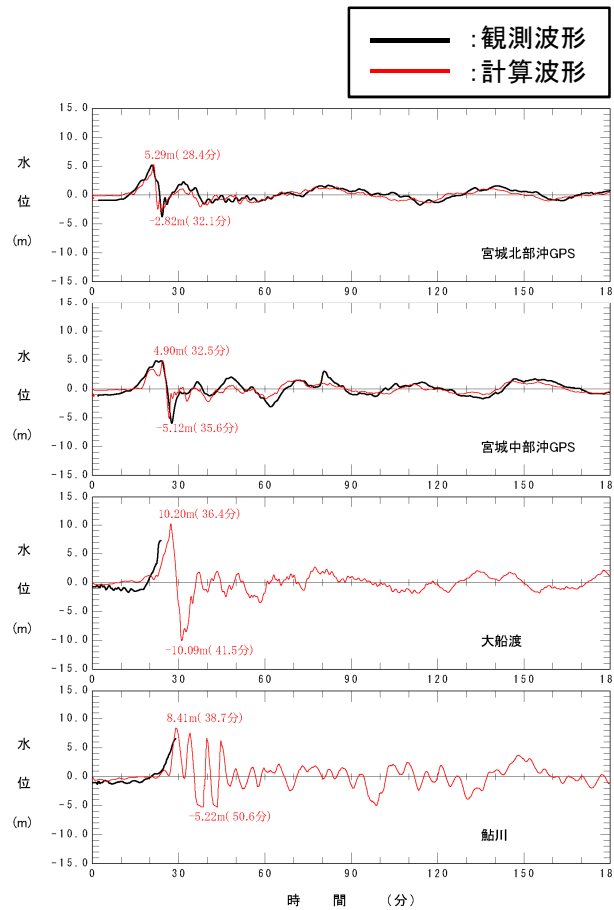
#### 3.4.2 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの設定④

##### ■ 沖合いの観測波形(津波伝播)の比較

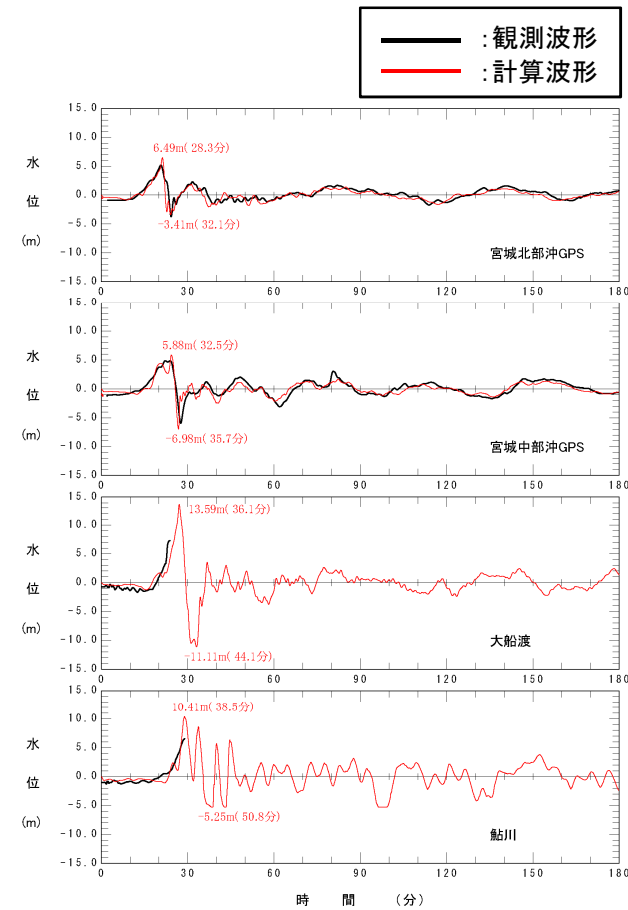
- 設定した特性化モデルによる計算波形は、発電所前面海域の観測波形に見られる津波特性(津波水位, 周期, 津波の到達時間)と整合的であることを確認した。
- 一方、背景領域の調整で設定した特性化モデルは、周期, 津波の到達時間の整合性は良いものの、津波水位の整合性は低いことを確認した。



※:3.11地震に伴う津波の再現解析条件の詳細は、補足説明資料「5. 津波解析条件 (p39~40)」に記載。



宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル



背景領域の調整で設定した特性化モデル

### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

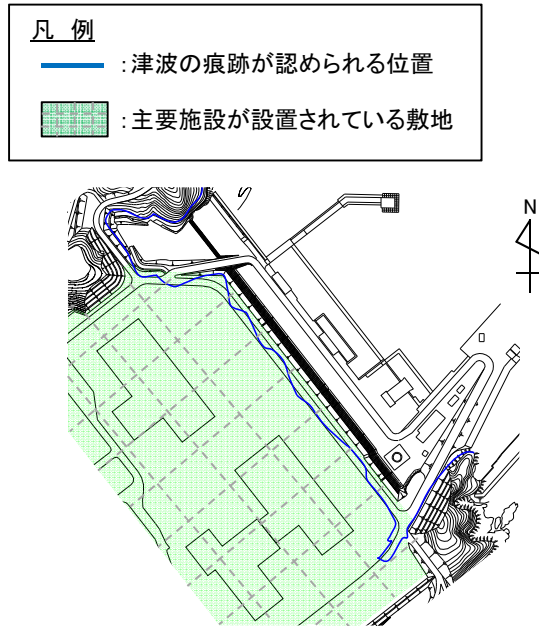
#### 3.4.2 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの設定④

##### ■発電所の津波水位(津波遡上)の比較※1

- 設定した特性化モデルによる最大水位上昇量分布は実際の現象と整合するが、背景領域の調整で設定した特性化モデルでは、実際の現象とは整合せず、3.11地震に伴う津波により敷地全体が浸水する結果となることを確認した。

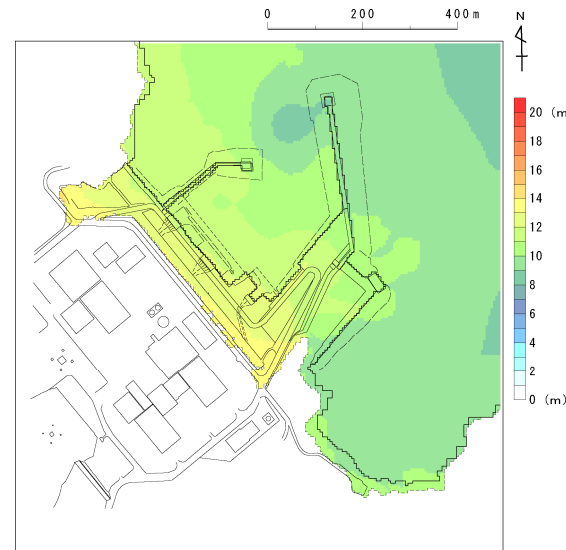
※1:3.11地震に伴う津波の再現解析条件の詳細は、補足説明資料「5. 津波解析条件(p39～40)」に記載。

##### 【発電所敷地における痕跡調査結果】



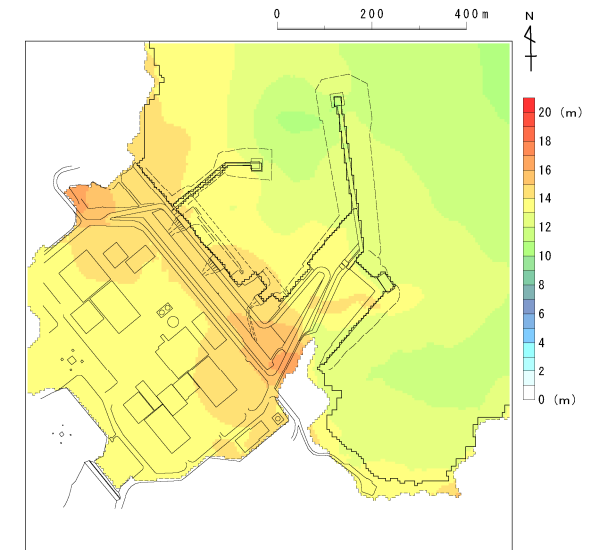
東北電力(2011)を一部修正

##### 【最大水位上昇量分布】



宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル

⇒ 実際の現象と整合する。



背景領域の調整で設定した特性化モデル

⇒ 実際の現象と整合しない。※2

※2:3.11地震時の地形モデルを用いた解析結果であり、防潮堤は地形モデルに反映していないことから、敷地が浸水する結果となっている。

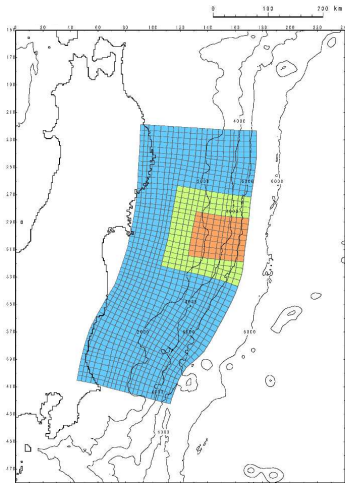
### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

## 3. 4. 2 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの設定⑤

#### ■ 平均的な剛性率との比較

- 設定した剛性率 ( $5.0 \times 10^{10} \text{ (N/m}^2\text{)}$ ) と、宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルを深部領域・浅部領域に分割し、両領域の面積に基づき算定される平均的な剛性率を比較した結果、両者は整合的であることを確認した。

#### 【宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル】

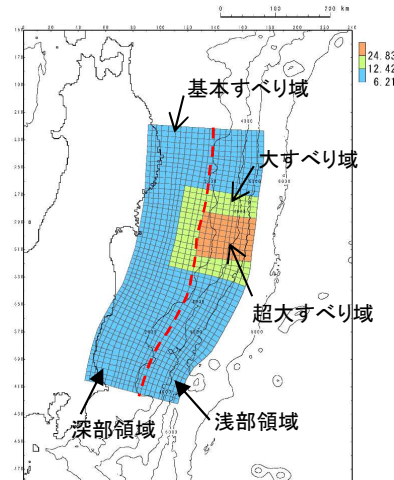


すべり量分布

モーメントマグニチュード*(Mw)		9.04
断層面積: S(km <sup>2</sup> )		107,357
地震モーメント: Mo(Nm)		$4.52 \times 10^{22}$
剛性率: $\mu \text{ (N/m}^2\text{)}^{\ast 1}$		$5.0 \times 10^{10}$
すべり量	基本すべり域(m)	6.21
	大すべり域(m)	12.42
	超大すべり域(m)	24.83
平均すべり量: D(m)		8.43

#### 【平均的な剛性率の算定】

--- : 浅部領域と深部領域の境界<sup>※2</sup>  
(深さ約20kmの境界)



すべり量分布

浅部領域 <sup>※1</sup> の断層面積 <sup>※2</sup> : S <sub>shallow</sub> (km <sup>2</sup> )		59,793
深部領域 <sup>※1</sup> の断層面積 <sup>※2</sup> : S <sub>deep</sub> (km <sup>2</sup> )		47,564
浅部領域の剛性率 <sup>※1, 3</sup> : $\mu_{\text{shallow}} \text{ (N/m}^2\text{)}$		$3.5 \times 10^{10}$
深部領域の剛性率 <sup>※1, 3</sup> : $\mu_{\text{deep}} \text{ (N/m}^2\text{)}$		$7.0 \times 10^{10}$
すべり量	基本すべり域(m)	6.21
	大すべり域(m)	12.42
	超大すべり域(m)	24.83
平均すべり量: D(m)		8.43

#### ■ 地震モーメント: Mo

- 各小断層の地震モーメントの合計

$$Mo = Mo_{\text{shallow}} + Mo_{\text{deep}} = 4.61 \times 10^{22} \text{ (Nm)}$$

$$\text{ここで, } Mo_{\text{shallow}} = \sum (\mu_{i_{\text{shallow}}} \times Si_{\text{shallow}} \times Di_{\text{shallow}}) = 2.88 \times 10^{22} \text{ (Nm)}$$

$$Mo_{\text{deep}} = \sum (\mu_{i_{\text{deep}}} \times Si_{\text{deep}} \times Di_{\text{deep}}) = 1.72 \times 10^{22} \text{ (Nm)}$$

#### ■ 平均的な剛性率: $\mu$

$$Mo = \mu \times S \times D \text{ より}$$

$$\mu = Mo / ((S_{\text{shallow}} + S_{\text{deep}}) \times D) = 5.1 \times 10^{10} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

※1: 土木学会(2002)が引用したP波速度構造に関する文献情報と、近年の地震波探査で得られたP波速度構造に関する文献情報の比較結果を補足説明資料「4. P波速度構造に関する文献情報(p33~35)」に記載。

※2: 土木学会(2002)を参考として、浅部領域と深部領域の境界の深さを約20kmとした。

※3: 土木学会(2002)を参考に設定した。

### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.2 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの設定⑥

##### ■まとめ

No.	コメント時期	コメント内容
S58	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの設定方法のうち、大すべり域・超大すべり域を設定することによるMwの調整を、波源域全体で調整しているが、背景領域を設定して調整した場合にどのような影響があるか説明すること。
S62	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの剛性率の妥当性について説明すること。

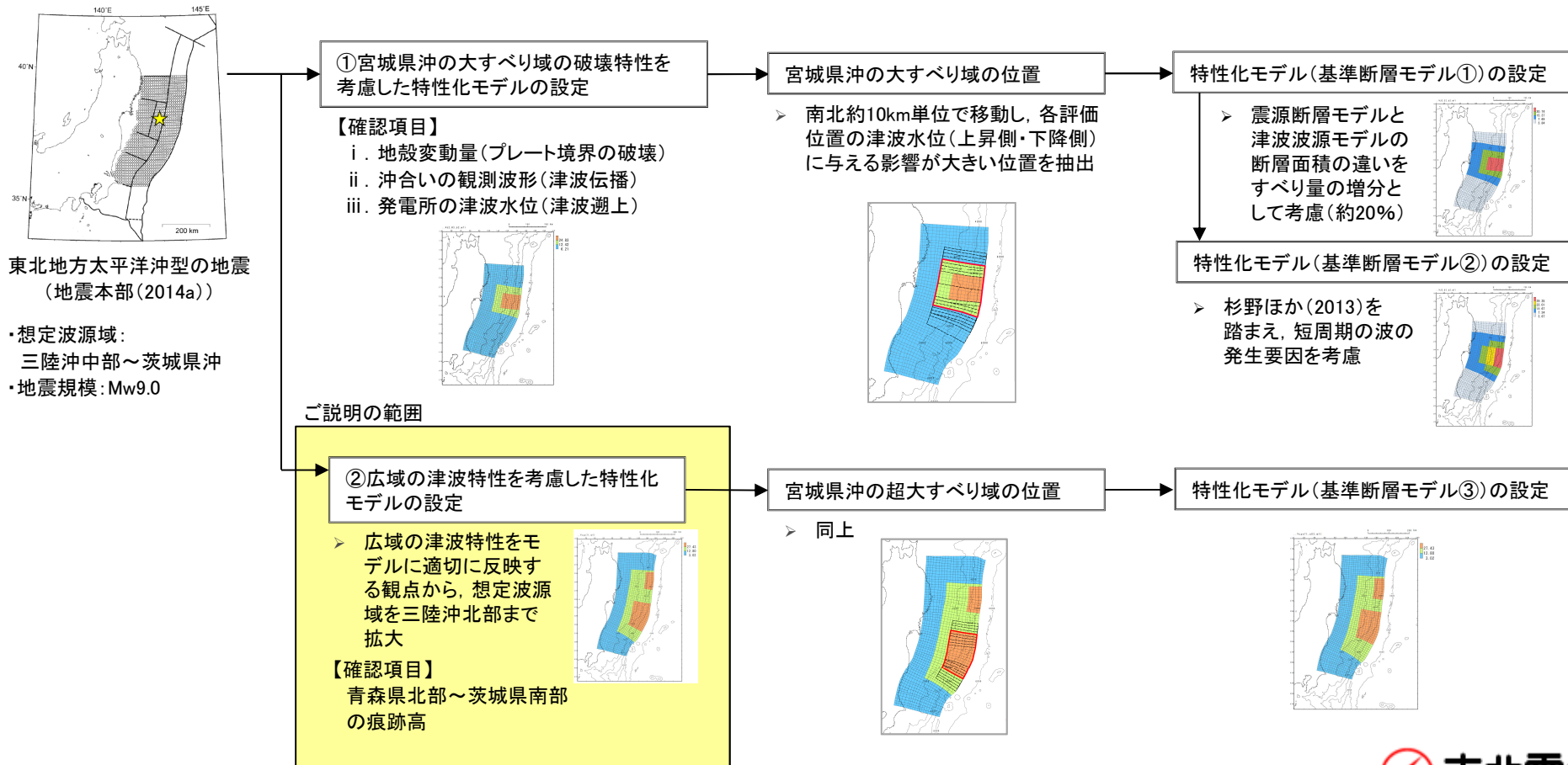
##### 【S58への回答】

- 設定した特性化モデルは、3.11地震の宮城県沖における大すべり域の地殻変動量(プレート境界の破壊)、沖合いの観測波形(津波伝播)、発電所の津波水位(津波遡上)を総合的に説明できるモデルであり、発電所の津波水位に与える影響が大きい宮城県沖の大すべり域の破壊特性を適切に考慮するモデルであることを確認した。
- 一方、背景領域の調整で設定した特性化モデルは、整合性が低いことを確認した。

##### 【S62への回答】

- 剛性率について、上記、宮城県沖における大すべり域の破壊特性に関する3.11地震の実現象との比較から、設定値が妥当であることを確認した。
- また、設定した剛性率( $5.0 \times 10^{10} \text{ (N/m}^2\text{)}$ )と、宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルを深部領域・浅部領域に分割し、両領域の面積に基づき算定される平均的な剛性率を比較した結果、両者は整合的であることを確認した。

### 3.4.3 広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定

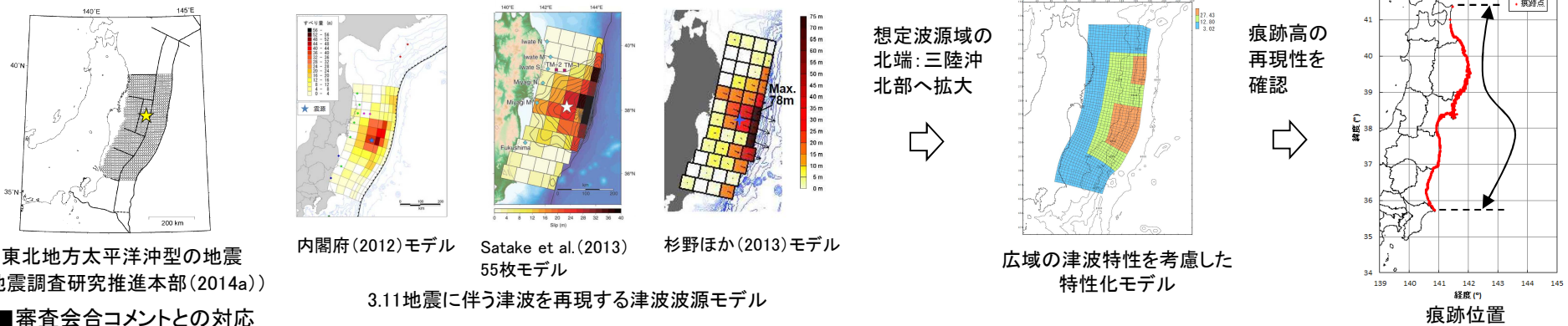


### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.3 広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定①

■基本方針

- 広域の津波特性(痕跡高)を特性化モデルに反映する観点から、3.11地震に伴う津波を広域に再現する津波波源モデルを参考に、想定波源域の北端を三陸沖中部から三陸沖北部に拡大する。
- 大すべり域・超大すべり域のすべり分布については、3.11地震から得られた知見、世界のプレート境界面で発生しているM9クラスの巨大地震に係る最新の科学的・技術的知見に基づく、各領域の固着等に関する分析結果を踏まえて設定する。
- 設定した特性化モデルが広域の津波特性を適切に考慮しているかを確認するため、杉野ほか(2013)を参考に、青森県北部～茨城県南部における3.11地震に伴う津波の痕跡高の再現性を確認する。



■審査会合コメントとの対応

No.	コメント時期	コメント内容
S57	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの断層面積及びMwの妥当性について説明すること。
S59	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの波源域全体に占める大すべり域の割合を変化させた場合にどのような影響があるか説明すること。
S62	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの剛性率の妥当性について説明すること。

【S57への対応】

- 広域の津波特性(痕跡高)を特性化モデルに反映する観点から、3.11地震に伴う津波を広域に再現する津波波源モデルを参考に、想定波源域の北端を三陸沖中部から三陸沖北部に拡大した特性化モデルを設定する。

【S59への対応】

- 広域の津波特性(痕跡高)を考慮する観点から、内閣府(2012b)の全体面積に占める大すべり域・超大すべり域の面積よりも大きい面積比率を示す杉野ほか(2014)の知見を参考に設定する。

【S62への対応】

- 剛性率を含む個々のパラメータは、モデルを構成する一連のパッケージとして設定されることから、剛性率の妥当性については、3.11地震に伴う津波の痕跡高の再現性から確認する。
- また、設定した特性化モデルを深部領域・浅部領域に分割し、各領域の剛性率を考慮した平均的な剛性率を別途算定して、設定した特性化モデルの剛性率との比較を行う。

### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

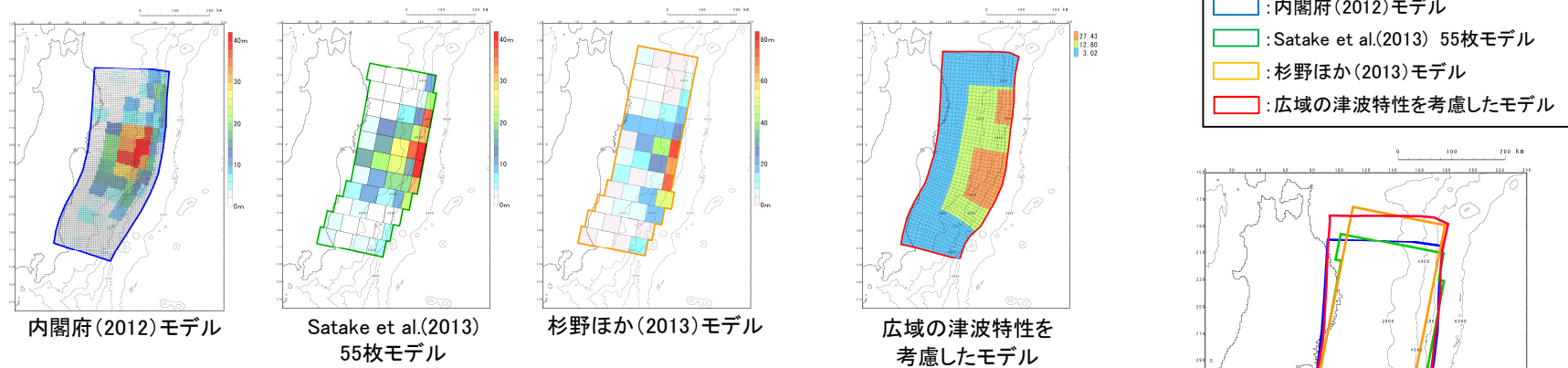
#### 3.4.3 広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定②

##### ■特性化モデルの設定

##### (1)巨視的波源特性:想定波源域の設定

- 各機関等で提案されている3.11地震に伴う津波の再現モデルのうち、津波波形等をインバージョンした内閣府(2012)モデル, Satake et al.(2013) 55枚モデル, 杉野ほか(2013)モデルの波源域を比較して、波源域が最も大きい杉野ほか(2013)モデルを参考に、想定波源域を設定<sup>※1</sup>した。

※1:内閣府(2012)モデル, Satake et al.(2013)55枚モデルの波源域を参考に設定した特性化モデルの検討結果の詳細は、補足説明資料「6. 広域の津波特性を考慮した特性化モデルの検討(p44~47)」に記載。



##### 3.11地震に伴う津波を再現する津波波源モデル<sup>※2</sup>

※2:各津波波源モデルの概要を補足説明資料「7. 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波の再現モデル(p49~51)」に記載。

##### 各津波波源モデルの比較

モデル	Mw	断層面積
内閣府(2012)モデル	9.0	119,974 (km <sup>2</sup> )
Satake et al.(2013)55枚モデル	9.0	110,000 (km <sup>2</sup> )
杉野ほか(2013)モデル	9.1	112,000 (km <sup>2</sup> )
広域の津波特性を考慮したモデル	9.13	129,034 (km <sup>2</sup> )

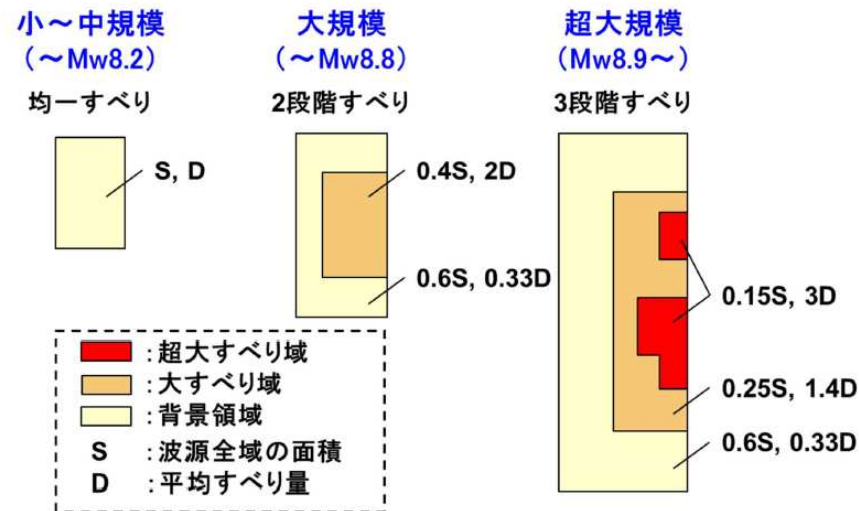
波源領域の比較

### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

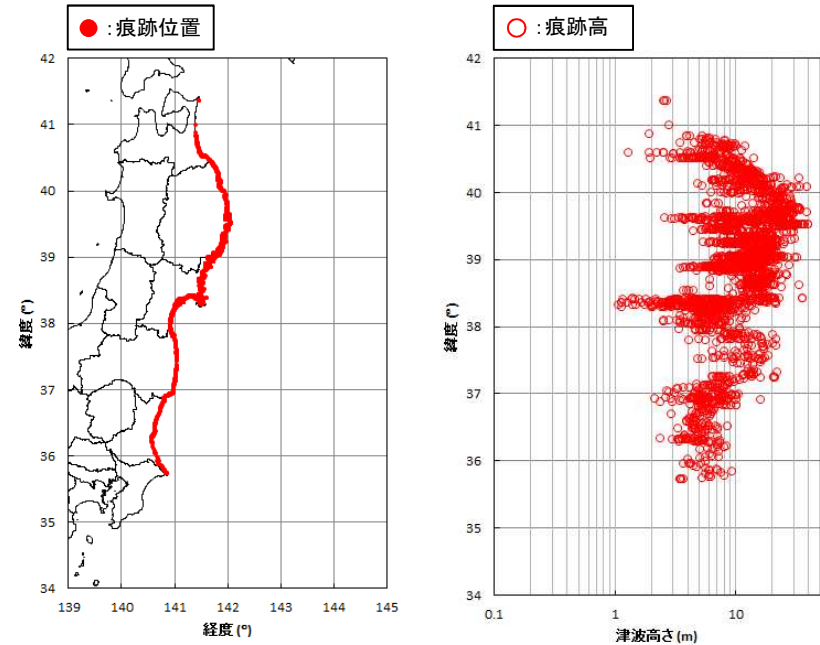
#### 3.4.3 広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定②

##### (2) 微視的波源特性: 大すべり域・超大すべり域の設定

- 広域の津波特性(痕跡高)を考慮するため、内閣府(2012b)で示されている大すべり域・超大すべり域の面積よりも大きい面積を示している杉野ほか(2014)を参考として、特性化モデルを設定した。
  - 大すべり域: 津波断層の平均すべり量の1.4倍, 全体面積の40%程度(超大すべり域を含む)
  - 超大すべり域: 津波断層の平均すべり量の3倍, 全体面積の15%程度
- なお、福島県沿岸には10m以上の痕跡高が多数見られることを踏まえ、設定する特性化モデルの大すべり域・超大すべり域の面積は、杉野ほか(2014)に示されている面積比率よりも大きく設定<sup>※1</sup>した。  
<sup>※1</sup>: 大すべり域: 43.5%(超大すべり域を含む), 超大すべり域: 16.0%



杉野ほか(2014)によるMw8.9以上の規模の地震の大すべり域・超大すべり域の設定方法 (杉野ほか(2014))



青森県北部～茨城県南部における3.11地震に伴う津波の痕跡高<sup>※2</sup> (東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012))

<sup>※2</sup>: 海岸線からの距離1000m以内, 信頼度Aのデータ(総数: 2,686)

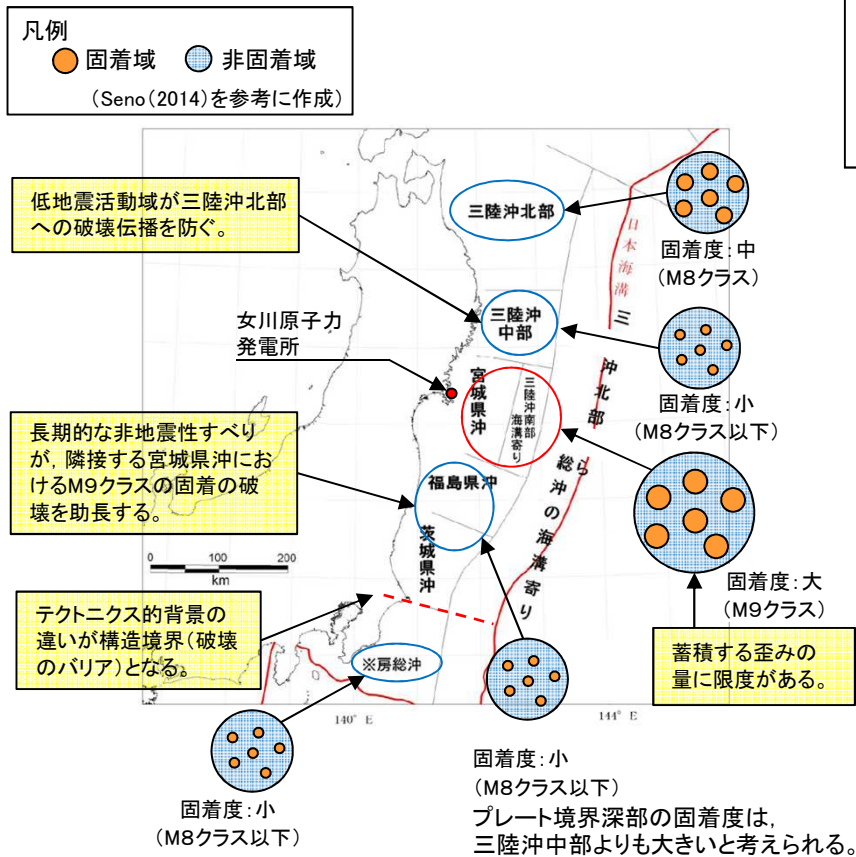


### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.3 広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定②

##### (3) 微視的波源特性: 大すべり域・超大すべり域のすべり分布の設定

- 3.11地震から得られた知見, 世界のプレート境界面で発生しているM9クラスの巨大地震に係る最新の科学的・技術的知見に基づく, 各領域の固着等に関する分析結果を踏まえて設定した。



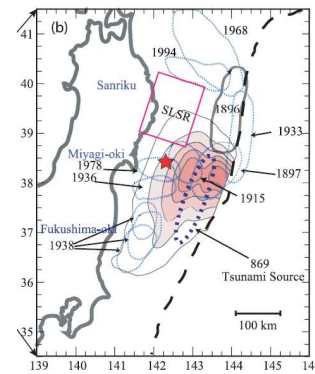
各領域の固着等に関する分析結果  
 (地震調査研究推進本部(2012)に一部加筆)

##### ■ 超大すべり域の設定

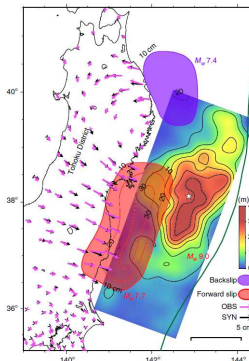
- 岩手県沖: 低地震活動域を考慮して, 典型的なプレート間地震の発生領域を除く範囲に設定。
- 宮城県沖: 3.11地震時のすべり分布形状, 同領域の固着度並びに固着の破壊を助長する長期的な非地震性すべりの発生領域を考慮して, 福島県沖を含む範囲に設定。

##### ■ 大すべり域の設定

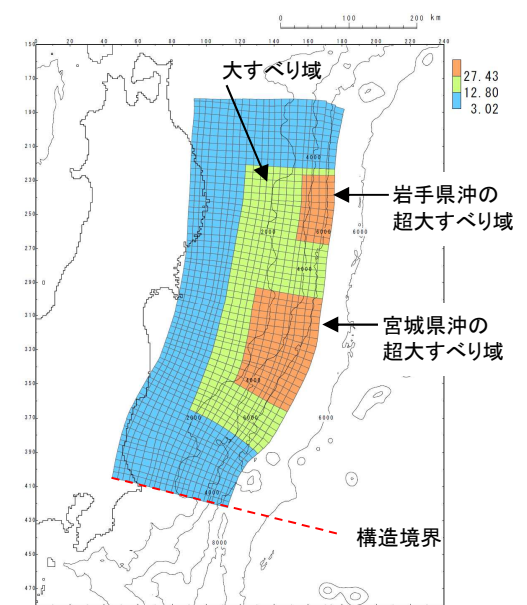
- 岩手県沖・宮城県沖の超大すべり域を取り囲むように設定。



低地震活動域(SLSR)の位置  
 (Ye et al.(2012))



長期的なスロースリップの発生領域  
 (Yokota et al.(2015))



すべり分布

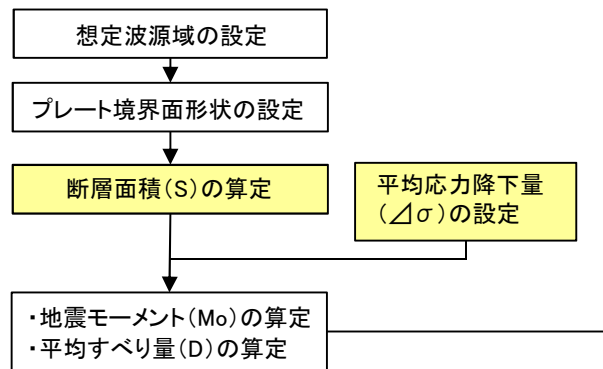
### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3. 4. 3 広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定②

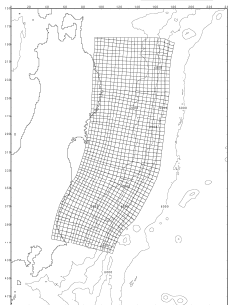
#### ■ 広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定フロー

■ : 与条件

##### 1. 巨視的波源特性の設定



➢ スケーリング則の適用  
(円形破壊面を仮定した関係式)



・ 約10km四方の小断層(総数:1107)でプレート境界面を近似。

プレート境界面

各パラメーター一覧

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S)	三陸沖北部～茨城県沖	129,034(km <sup>2</sup> )
地震発生深さ	地震調査研究推進本部(2012)	海溝軸～深さ60km
平均応力降下量(Δσ)	杉野ほか(2014)	3.1(MPa)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(Mo)	16/(7π <sup>3/2</sup> ) · Δσ · S <sup>3/2</sup>	5.90 × 10 <sup>22</sup> (Nm)
平均すべり量(D)	16/(7π <sup>3/2</sup> ) · Δσ · S <sup>1/2</sup> / μ	9.14(m)

##### 2. 微視的波源特性の設定

大すべり域・超大すべり域・背景領域の設定

➢ 各領域のすべり量の算定

###### ■ 大すべり域

パラメータ	設定方法	設定値
すべり量(D <sub>1</sub> )	平均すべり量(D)の1.4倍 <sup>※1</sup> 杉野ほか(2014)	12.80(m)

###### ■ 超大すべり域

パラメータ	設定方法	設定値
すべり量(D <sub>2</sub> )	平均すべり量(D)の3倍 <sup>※2</sup> 杉野ほか(2014)	27.43(m)

###### ■ 背景領域

パラメータ	設定方法	設定値
すべり量(D <sub>b</sub> )	平均すべり量(D)の0.33倍 <sup>※3</sup> 杉野ほか(2014)	3.02(m)

※1: 全体面積の40%(超大すべり域を含む)に相当するすべり量

※2: 全体面積の15%に相当するすべり量

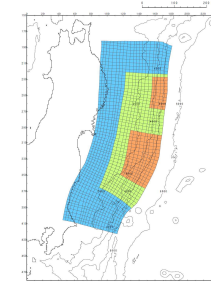
※3: 全体面積の60%に相当するすべり量

##### 3. 基準断層モデルの設定

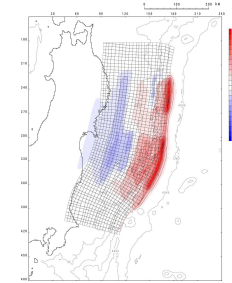
断層モデルへの微視的波源特性の反映

➢ 設定したプレート境界面に微視的波源特性を反映。

モーメントマグニチュード(Mw)の算定



すべり量分布



地殻変動量分布

モーメントマグニチュード(Mw)	9.13	背景領域	すべり量	3.02(m)
地震発生深さ	海溝軸～深さ60km		断層面積(面積比率)	72,841(km <sup>2</sup> ) (56.5%)
断層面積(S)	129,034(km <sup>2</sup> )	大すべり域	すべり量	12.80(m)
地震モーメントMo (=Mob+Mo1+Mo2)	6.21 × 10 <sup>22</sup> (Nm)		断層面積 <sup>※</sup> (面積比率)	35,497(km <sup>2</sup> ) (27.5%)
平均応力降下量(Δσ) (=7/16 · Mo · (S/π) <sup>-3/2</sup> )	3.26(MPa)	超大すべり域	すべり量	27.43(m)
剛性率(μ)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )		断層面積(面積比率)	20,696(km <sup>2</sup> ) (16.0%)
平均すべり量(D) (=16/(7π <sup>3/2</sup> ) · Δσ · S <sup>1/2</sup> / μ)	9.62(m)	地震モーメント	2.84 × 10 <sup>22</sup> (Nm)	
すべり角λ	太平洋プレートの運動方向に基づいて設定			
ライズタイムτ	60(s)			

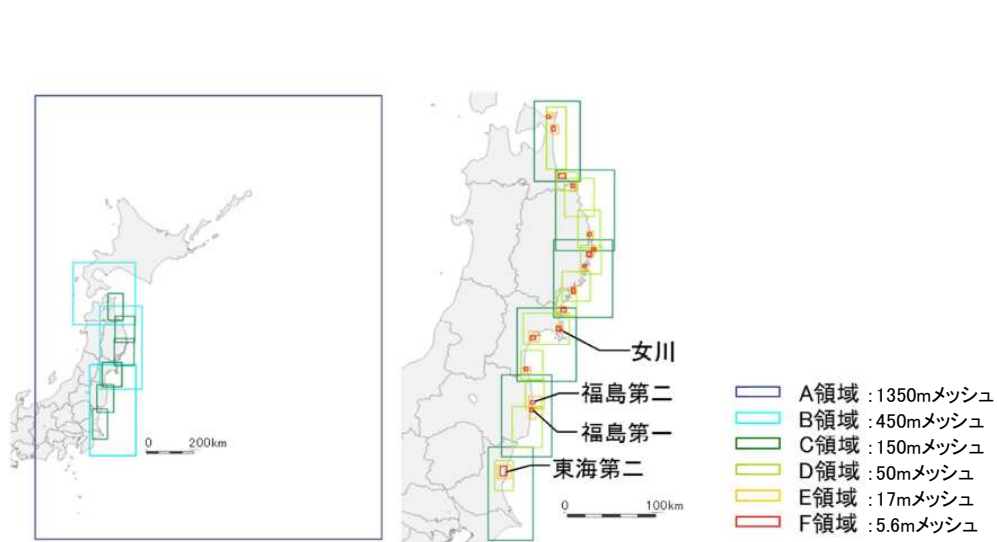
※: 超大すべり域を除いた面積比率

### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

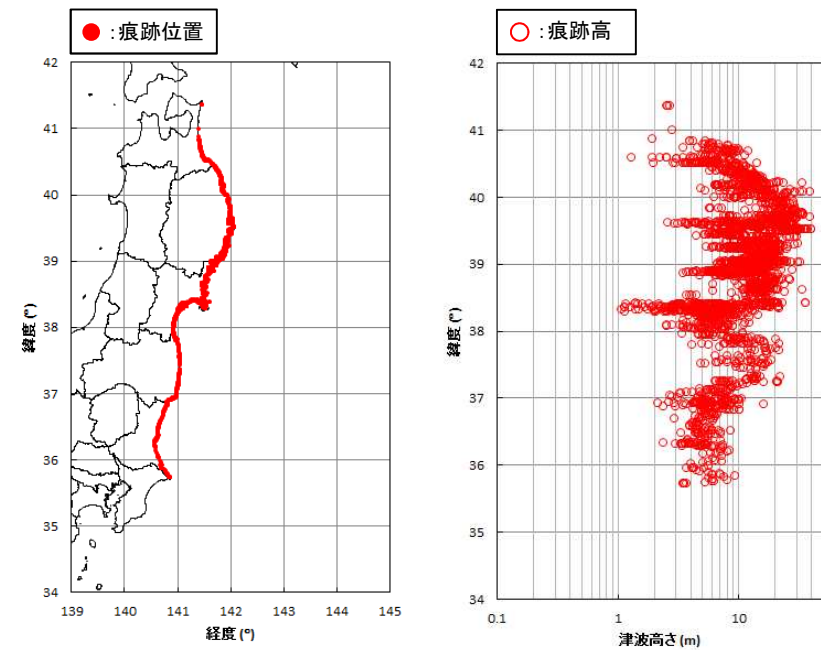
#### 3.4.3 広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定③

##### ■痕跡高の再現性の確認

- 杉野ほか(2014)を参考に、3.11地震の津波波源に直面した沿岸の青森県北部～茨城県南部の痕跡高の再現性を確認した。



杉野ほか(2014)の計算領域(杉野ほか(2014)に一部加筆)



青森県北部～茨城県南部における3.11地震に伴う津波の痕跡高※  
(東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(2012))

※:原子力発電所の立地条件,津波特性を把握するために十分な痕跡数を確保する観点から,海岸線沿いから1000m以内,信頼度Aのデータ(痕跡数:2,686地点)を用いる。

### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

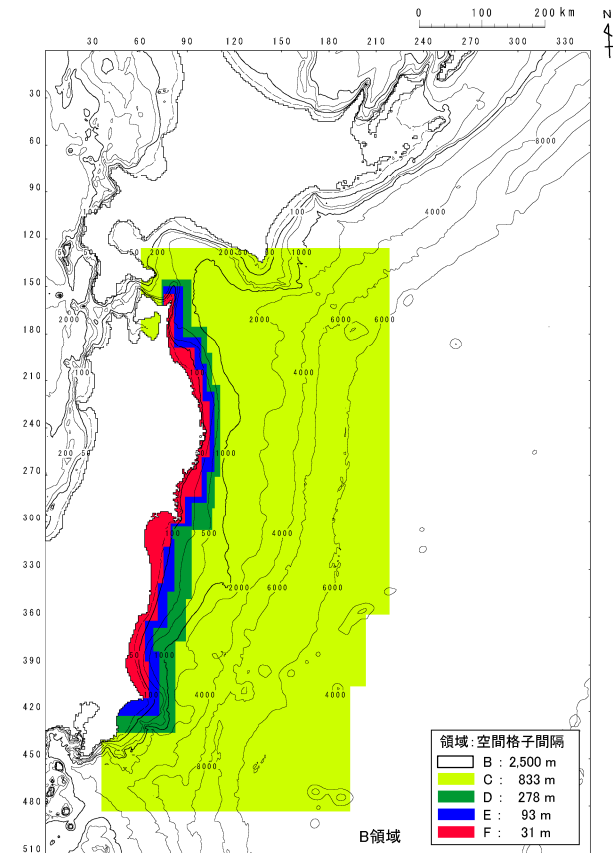
#### 3. 4. 3 広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定③

##### ■津波解析条件

- 再現性を確認する青森県北部～茨城県南部の最小空間格子間隔を31mに設定した。

主な計算条件

	B領域	C領域	D領域	E領域	F領域
空間格子間隔 $\Delta s$	2.5 km	833 m (2500/3)	278 m (2500/9)	93 m (2500/27)	31 m (2500/81)
時間格子間隔 $\Delta t$	0.1秒				
基礎方程式	線形 長波式	非線形長波式(浅水理論)			
沖側境界条件	自由透過	外側の格子領域と水位・流量を接続			
陸側境界条件	完全反射	完全反射 (海底露出を考慮)	小谷ほか(1998)の遡上境界条件		
初期海面変動	波源モデルを用いてMansinha and Smylie(1971)の方法により計算される鉛直変位を海面上に与える				
海底摩擦	考慮しない	マンニングの粗度係数 $n = 0.03\text{m}^{-1/3}/\text{s}$ (土木学会(2002)より)			
水平渦動粘性係数	考慮しない				
潮位条件	T.P.-0.40m(地震発生時の潮位)				
計算再現時間	地震発生後4時間				



計算領域とその水深及び格子分割

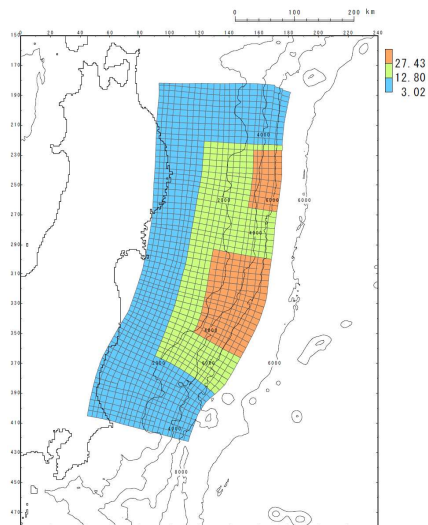
### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.3 広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定③

##### ■ 痕跡高の再現性の確認結果

- 設定した特性化モデルは、土木学会(2002)の再現性の目安を満足するとともに、津波高が大きい岩手県沿岸～福島県沿岸の痕跡高を良好に再現しており、広域の津波特性を適切に考慮していることを確認した。
- さらに、女川地点を含む宮城県周辺(北緯39°～北緯38°)については、痕跡高に対して計算値の方が大きく( $K=0.86$ ,  $\kappa=1.36$ ,  $n=836$ )、安全側のモデルになっていることを確認した。

【広域の津波特性を考慮した特性化モデル】

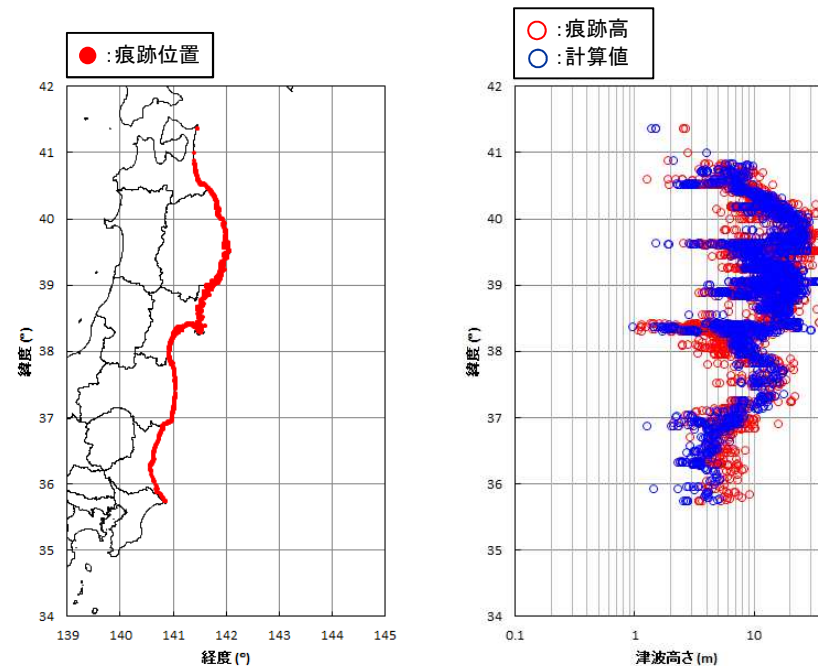


すべり量分布

【痕跡高の再現性の確認結果】

基準断層モデル	K	$\kappa$	n
広域の津波特性を考慮した特性化モデル	0.98	1.39	2,686

※:再現性の目安  $0.95 < K < 1.05$ ,  $\kappa < 1.45$  (土木学会(2002))



痕跡高と計算値の比較

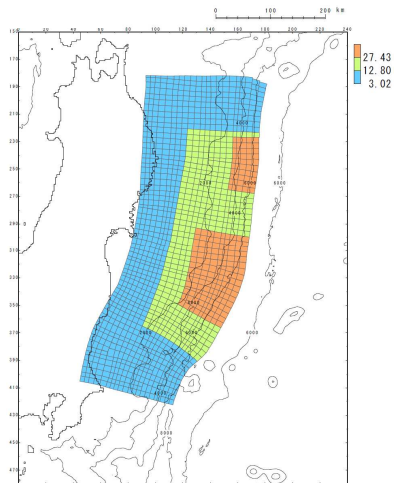
### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.3 広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定④

##### ■ 平均的な剛性率との比較

- 設定した剛性率 ( $5.0 \times 10^{10}$  (N/m<sup>2</sup>)) と、広域の津波特性を考慮した特性化モデルを深部領域・浅部領域に分割し、両領域の面積に基づき算定される平均的な剛性率を比較した結果、設定値よりも平均的な剛性率の方が小さい。
- これは、広域の津波特性(痕跡高)を再現するために、杉野ほか(2014)の知見を参考として、浅部領域の広い範囲に大すべり域、超大すべり域を設定したためと考えられる。

##### 【広域の津波特性を考慮した特性化モデル】

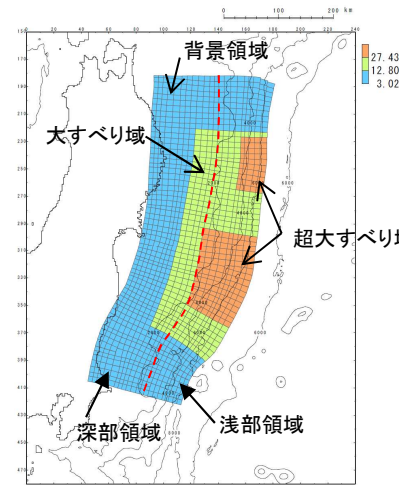


すべり量分布

モーメントマグニチュード*(Mw)	9.13	
断層面積: S (km <sup>2</sup> )	129,034	
地震モーメント: Mo (Nm)	$6.21 \times 10^{22}$	
剛性率: $\mu$ (N/m <sup>2</sup> ) <sup>※1</sup>	$5.0 \times 10^{10}$	
すべり量	背景領域 (m)	3.02
	大すべり域 (m)	12.80
	超大すべり域 (m)	27.43
平均すべり量: D (m)	9.62	

##### 【平均的な剛性率の算定】

--- : 浅部領域と深部領域の境界<sup>※2</sup>  
(深さ約20kmの境界)



すべり量分布

浅部領域 <sup>※1</sup> の断層面積 <sup>※2</sup> : S <sub>shallow</sub> (km <sup>2</sup> )	71,936	
深部領域 <sup>※1</sup> の断層面積 <sup>※2</sup> : S <sub>deep</sub> (km <sup>2</sup> )	57,098	
浅部領域の剛性率 <sup>※1, 3</sup> : $\mu_{shallow}$ (N/m <sup>2</sup> )	$3.5 \times 10^{10}$	
深部領域の剛性率 <sup>※1, 3</sup> : $\mu_{deep}$ (N/m <sup>2</sup> )	$7.0 \times 10^{10}$	
すべり量	背景領域 (m)	3.02
	大すべり域 (m)	12.80
	超大すべり域 (m)	27.43
平均すべり量: D (m)	9.62	

##### ■ 地震モーメント: Mo

・各小断層の地震モーメントの合計

$$Mo = Mo_{shallow} + Mo_{deep} = 5.68 \times 10^{22} \text{ (Nm)}$$

ここで,  $Mo_{shallow} = \sum (\mu_{shallow} \times Si_{shallow} \times Di_{shallow}) = 3.02 \times 10^{22} \text{ (Nm)}$

$$Mo_{deep} = \sum (\mu_{deep} \times Si_{deep} \times Di_{deep}) = 2.66 \times 10^{22} \text{ (Nm)}$$

##### ■ 平均的な剛性率: $\mu$

$$Mo = \mu \times S \times D \text{ より}$$

$$\mu = Mo / ((S_{shallow} + S_{deep}) \times D) = 4.6 \times 10^{10} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

※1: 土木学会(2002)が引用したP波速度構造に関する文献情報と、近年の地震波探査で得られたP波速度構造に関する文献情報の比較結果を補足説明資料「4. P波速度構造に関する文献情報(p33~35)」に記載。

※2: 土木学会(2002)を参考として、浅部領域と深部領域の境界の深さを約20kmとした。

※3: 土木学会(2002)を参考に設定した。

### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3. 4. 3 広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定⑤

##### ■まとめ

No.	コメント時期	コメント内容
S57	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの断層面積及びMwの妥当性について説明すること。
S59	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの波源域全体に占める大すべり域の割合を変化させた場合にどのような影響があるか説明すること。
S62	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの剛性率の妥当性について説明すること。

##### 【S57への回答】

- 広域の津波特性(痕跡高)を特性化モデルに反映する観点から、3.11地震に伴う津波を広域に再現する津波波源モデルを参考に、想定波源域の北端を三陸沖中部から三陸沖北部に拡大した特性化モデルは、3.11地震に伴う津波の痕跡高を良好に再現することを確認した。

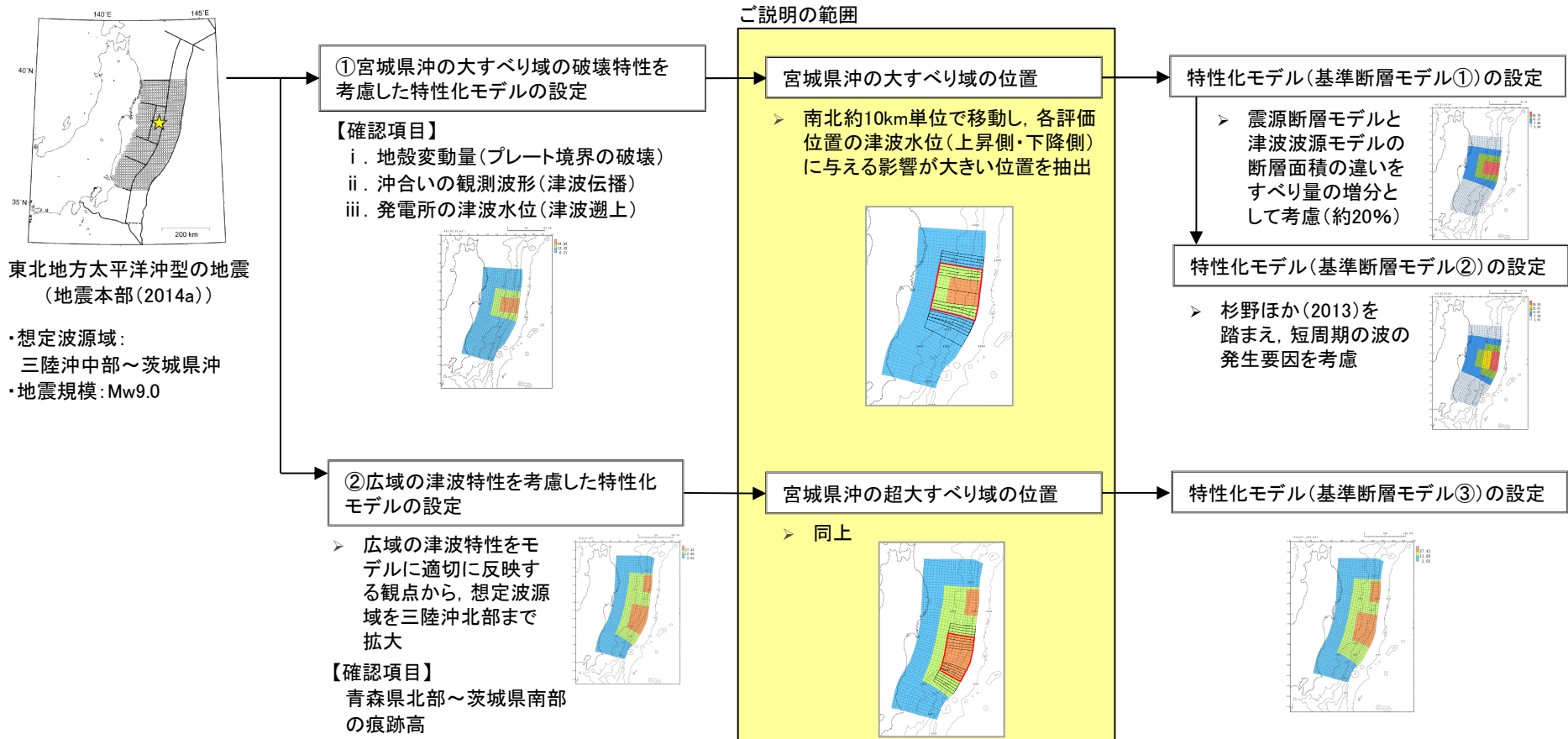
##### 【S59への回答】

- 広域の津波特性(痕跡高)を再現するため、内閣府(2012b)の全体面積に占める大すべり域・超大すべり域の面積よりも大きい面積比率を示す杉野ほか(2014)の知見を参考に特性化モデルを設定することにより、津波高の大きい岩手県沿岸～福島県沿岸の痕跡高を良好に再現できることを確認した。

##### 【S62への回答】

- 剛性率について、上記、広域の痕跡高との比較から、設定値が妥当であることを確認した。
- また、設定した剛性率( $5.0 \times 10^{10} \text{ (N/m}^2\text{)}$ )と、広域の津波特性を考慮した特性化モデルを深部領域・浅部領域に分割し、両領域の面積に基づき算定される平均的な剛性率を比較した結果、設定値よりも平均的な剛性率の方が小さい。これは、広域の津波特性(痕跡高)を再現するために、杉野ほか(2014)の知見を参考として、浅部領域の広い範囲に大すべり域、超大すべり域を設定したためと考えられる。

### 3. 4. 4 宮城県沖の大すべり域・超大すべり域の位置の検討



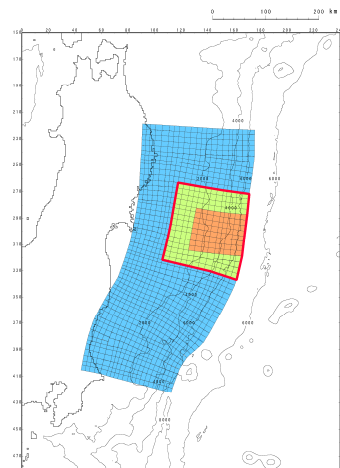


### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.4 宮城県沖の大すべり域・超大すべり域の位置の検討①

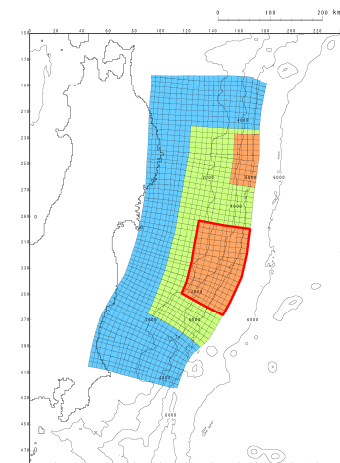
##### ■検討方針

- 次の「東北地方太平洋沖型の地震」が、3.11地震と同様の破壊形態で発生するとは限らないことから、発電所の津波高さに与える影響が大きい宮城県沖の大すべり域(固着域)の破壊位置にゆらぎが存在する可能性を考慮して、発電所に与える影響が大きい大すべり域・超大すべり域の位置を検討する。
- ①宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルについては、宮城県沖の大すべり域(固着域)を特性化した大すべり域・超大すべり域の位置を検討する。②広域の津波特性を考慮した特性化モデルについては、宮城県沖の大すべり域(固着域)を特性化した超大すべり域の位置を検討する。



宮城県沖の大すべり域の破壊特性を  
考慮した特性化モデル

□ : 大すべり域・  
超大すべり域



広域の津波特性を考慮した特性化モデル

□ : 超大すべり域

##### ■審査会合コメントとの対応

No.	コメント時期	コメント内容
S60	1月23日 第185回審査会合	すべりの不均質性を考慮した内閣府モデル、女川再現モデル、特性化モデルの大すべり域が、最も厳しい位置となっているか確認すること。

- 宮城県沖の大すべり域(固着域)の破壊位置にゆらぎが存在する可能性を考慮するため、基準位置から南北約50kmの範囲において、約10km単位で大すべり域・超大すべり域の位置を移動させた検討を実施し、各評価位置の津波水位(上昇側・下降側)に与える影響が大きい位置を抽出する。

### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.4 宮城県沖の大すべり域・超大すべり域の位置の検討②

##### ■宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルによる検討

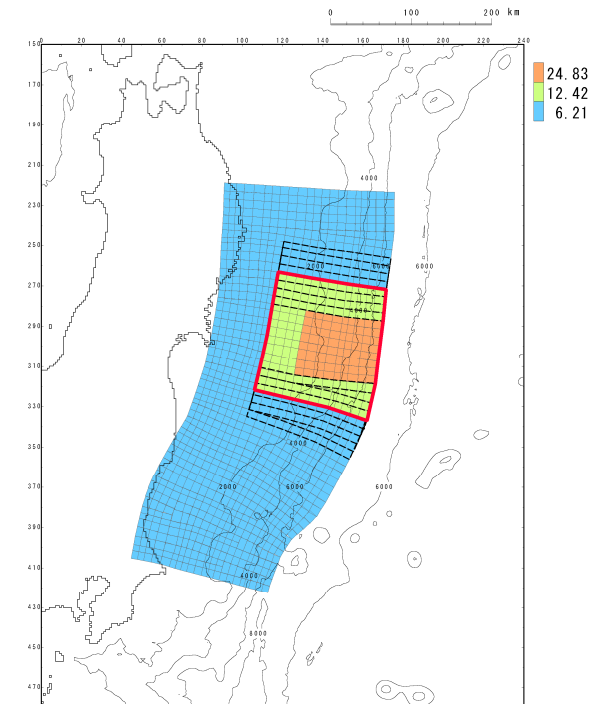
##### (1)水位上昇側

- 基準位置が発電所に与える影響が最も大きい位置であることを確認した。

(単位:m)

パラメータの変動範囲	敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
位置							
北へ約50km移動	10.63(北側)	9.60	9.68	9.64	8.24	8.42	追加検討
北へ約40km移動	10.62(北側)	9.59	9.68	9.63	8.24	8.42	追加検討
北へ約30km移動	11.25(北側)	9.83	9.97	9.98	8.66	8.86	追加検討
北へ約20km移動	12.44(北側)	10.64	10.67	10.65	9.49	9.78	追加検討
北へ約10km移動	13.19(南側)	11.70	11.68	11.64	9.93	10.73	追加検討
基準	13.55(南側)	12.06	12.11	12.03	10.20	11.20	決定ケース
南へ約10km移動	13.20(南側)	11.69	11.77	11.79	10.03	10.76	追加検討
南へ約20km移動	12.15(北側)	10.64	10.71	10.68	9.67	10.02	追加検討
南へ約30km移動	11.48(南側)	10.28	10.31	10.19	9.14	9.74	追加検討
南へ約40km移動	10.67(南側)	9.97	10.12	10.12	8.85	9.56	追加検討
南へ約50km移動	11.07(南側)	10.41	10.53	10.53	9.20	9.95	追加検討

  : パラメータスタディ範囲  
  : 決定ケース(基準位置)



検討した大すべり域・超大すべり域の位置

※:津波解析条件の詳細は、補足説明資料「5. 津波解析条件(p37～38)」に記載。  
 また、津波水位の評価位置の詳細は、補足説明資料「5. 津波解析条件(p41～43)」に記載。

### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.4 宮城県沖の大すべり域・超大すべり域の位置の検討②

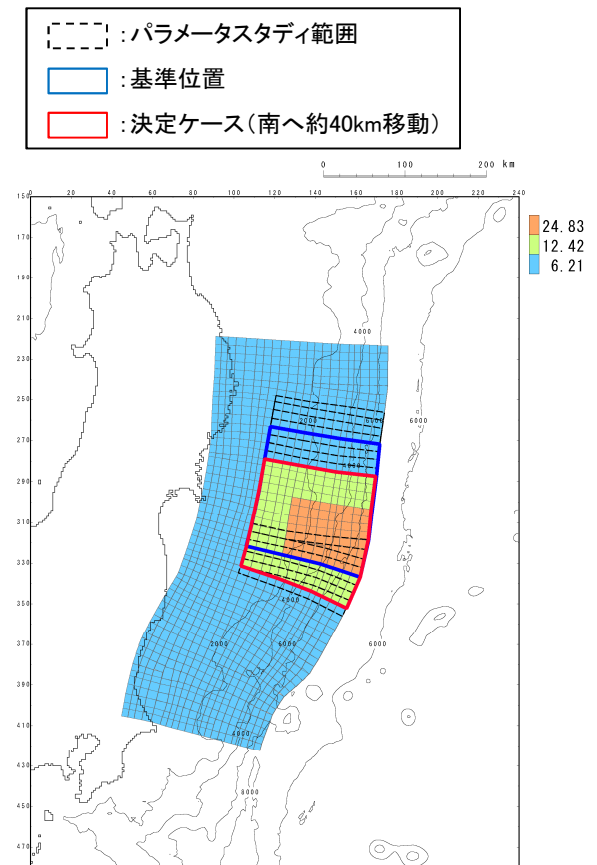
##### (2) 水位下降側

- 基準位置から南へ約40km移動した位置が発電所に与える影響が最も大きい位置であることを確認した。

(単位:m)

パラメータの変動範囲	1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	備考
位置				
北へ約50km移動	-6.36	-6.26	-6.24	追加検討
北へ約40km移動	-6.36	-6.26	-6.24	追加検討
北へ約30km移動	-6.47	-6.23	-6.22	追加検討
北へ約20km移動	-6.70	-6.54	-6.55	追加検討
北へ約10km移動	-7.31	-7.31	-7.32	追加検討
基準	-8.16	-8.18	-8.21	
南へ約10km移動	-8.70	-8.84	-8.85	追加検討
南へ約20km移動	-8.92	-9.01	-9.01	追加検討
南へ約30km移動	-9.25	-9.31	-9.28	追加検討
南へ約40km移動	-9.34	-9.35	-9.34	決定ケース 追加検討
南へ約50km移動	-9.15	-9.19	-9.19	追加検討

※: 津波解析条件の詳細は、補足説明資料「5. 津波解析条件(p37~38)」に記載。  
また、津波水位の評価位置の詳細は、補足説明資料「5. 津波解析条件(p42~43)」に記載。



検討した大すべり域・超大すべり域の位置

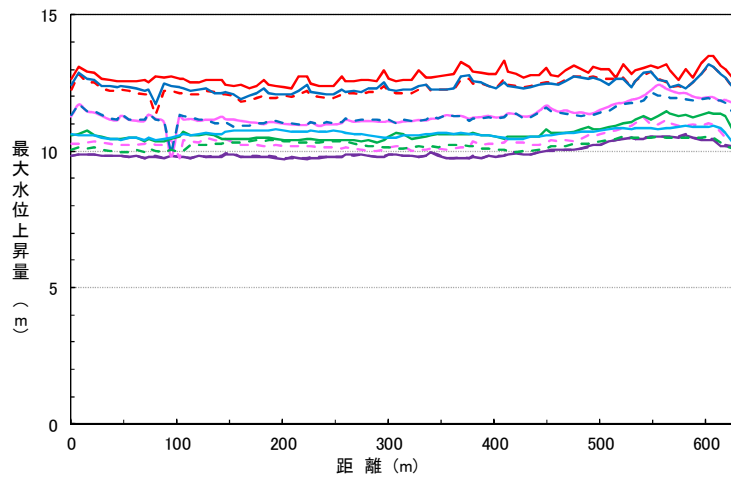
### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.4 宮城県沖の大すべり域・超大すべり域の位置の検討②

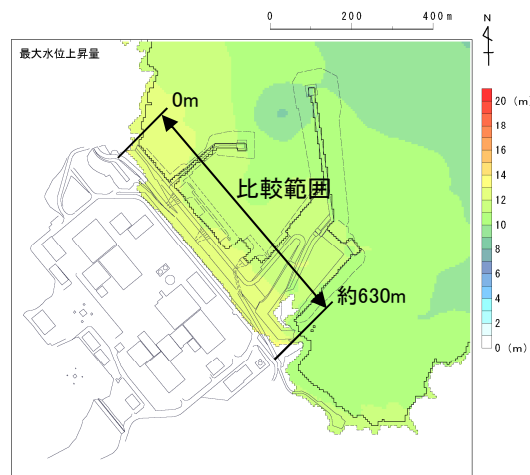
##### (3) 最大水位上昇量及び最大水位下降量の比較

- 各ケースの敷地前面(南北方向)における最大水位上昇量及び取水口前面(南北方向)における最大水位下降量の比較を下図に示す。

##### ■ 水位上昇側

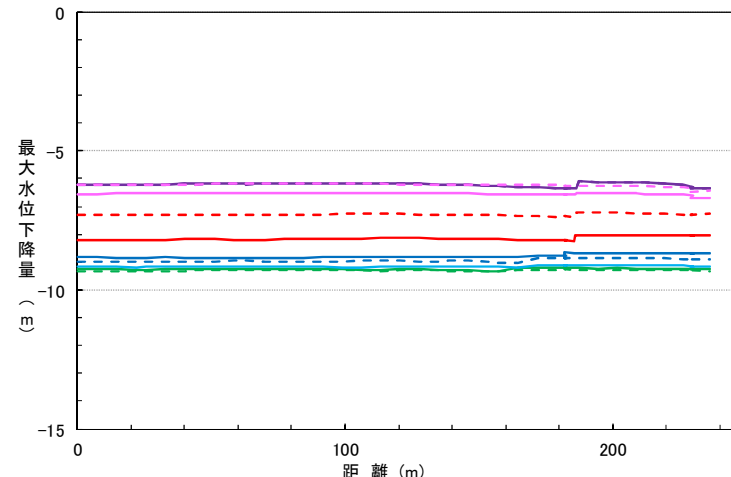


敷地前面における最大水位上昇量の比較

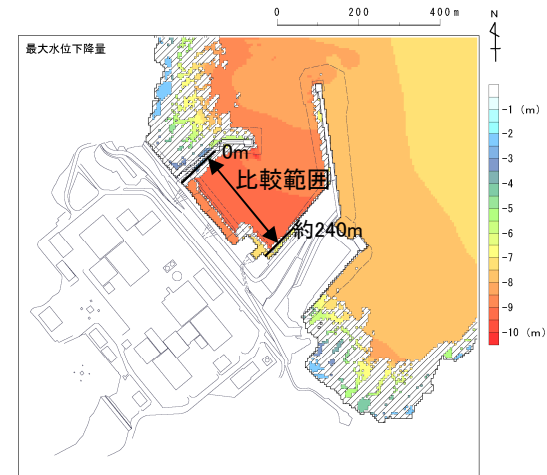


最大水位上昇量分布  
(基準位置)

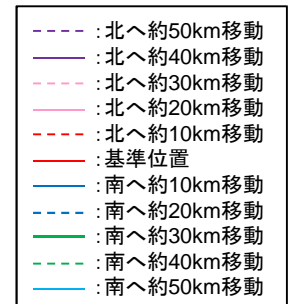
##### ■ 水位下降側



取水口前面における最大水位下降量の比較



最大水位下降量分布  
(南へ約40km移動)



### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.4 宮城県沖の大すべり域・超大すべり域の位置の検討③

##### ■広域の津波特性を考慮した特性化モデルによる検討

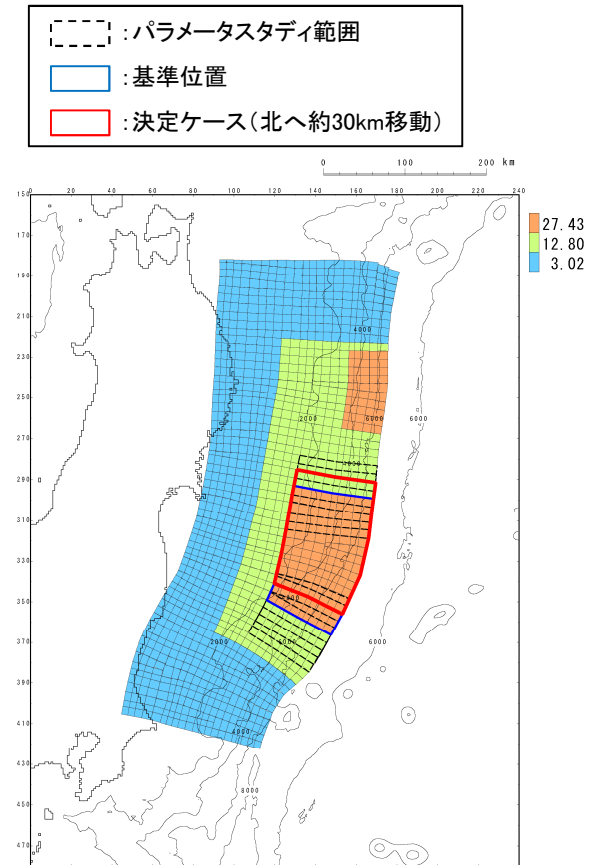
##### (1)水位上昇側

- 基準位置から北へ約30km移動した位置が発電所に与える影響が最も大きい位置であることを確認した。

(単位:m)

パラメータの変動範囲 位置	敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
北へ約50km移動	18.23(北側)	17.13	17.06	16.97	15.85	15.93	追加検討
北へ約40km移動	18.22(北側)	17.21	17.18	17.00	15.95	16.02	追加検討
北へ約30km移動	18.42(北側)	17.33	17.32	17.15	16.04	16.20	決定ケース 追加検討
北へ約20km移動	18.19(北側)	17.15	17.15	17.01	15.84	16.12	追加検討
北へ約10km移動	18.15(北側)	17.05	17.07	16.91	15.77	16.04	追加検討
基準	17.88(北側)	16.62	16.62	16.55	15.38	15.82	追加検討
南へ約10km移動	17.57(北側)	16.17	16.15	16.12	14.96	15.50	追加検討
南へ約20km移動	17.46(北側)	15.70	15.87	15.88	14.62	15.05	追加検討
南へ約30km移動	16.53(北側)	15.67	15.87	15.95	14.36	14.95	追加検討
南へ約40km移動	16.58(北側)	15.48	15.62	15.62	13.93	14.70	追加検討
南へ約50km移動	15.66(北側)	14.78	14.92	14.94	13.67	14.12	追加検討

※:津波解析条件の詳細は、補足説明資料「5. 津波解析条件(p37～38)」に記載。  
また、津波水位の評価位置の詳細は、補足説明資料「5. 津波解析条件(p41～43)」に記載。



検討した超大すべり域の位置

### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

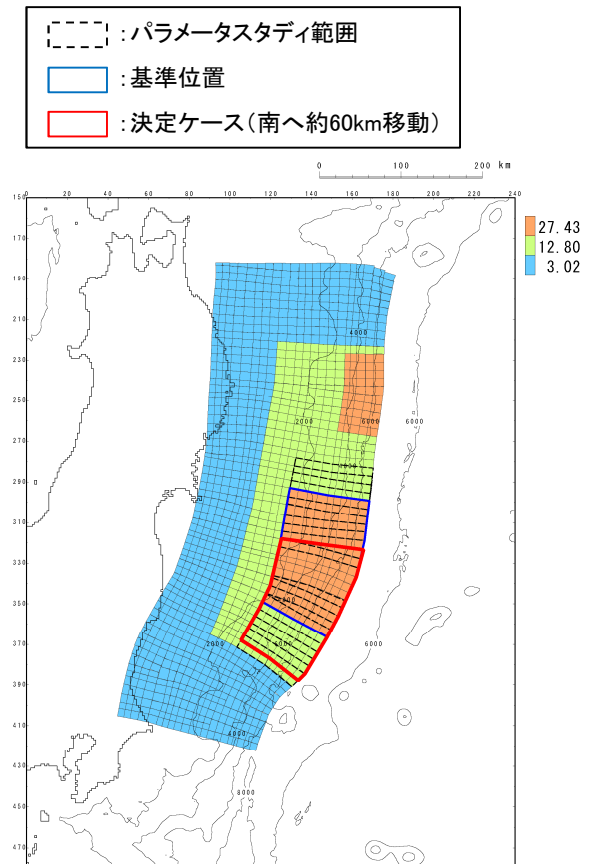
#### 3.4.4 宮城県沖の大すべり域・超大すべり域の位置の検討③

##### (2)水位下降側

- 基準位置から南へ約50km移動した位置が発電所に与える影響が大きい位置であったことから、さらに、南へ約60km、約70km移動させた検討を実施した。
- 検討の結果、基準位置から南へ約60km移動した位置が発電所に与える影響が最も大きい位置であることを確認した。

(単位:m)

パラメータの変動範囲	1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	備考
位置				
北へ約60km移動	-8.87	-8.97	-9.00	参考ケース 追加検討
北へ約50km移動	-8.88	-9.01	-9.04	追加検討
北へ約40km移動	-8.72	-8.81	-8.85	追加検討
北へ約30km移動	-8.53	-8.61	-8.63	追加検討
北へ約20km移動	-8.20	-8.26	-8.26	追加検討
北へ約10km移動	-8.10	-8.16	-8.17	追加検討
基準	-7.77	-7.75	-7.64	追加検討
南へ約10km移動	-7.38	-7.39	-7.38	追加検討
南へ約20km移動	-7.73	-7.84	-7.82	追加検討
南へ約30km移動	-8.25	-8.38	-8.41	追加検討
南へ約40km移動	-8.56	-8.73	-8.73	追加検討
南へ約50km移動	-8.97	-9.05	-9.08	追加検討
南へ約60km移動	-9.16	-9.18	-9.21	決定ケース 追加検討
南へ約70km移動	-9.13	-9.14	-9.17	追加検討



検討した超大すべり域の位置

※:津波解析条件の詳細は、補足説明資料「5. 津波解析条件(p37~38)」に記載。  
また、津波水位の評価位置の詳細は、補足説明資料「5. 津波解析条件(p42~43)」に記載。

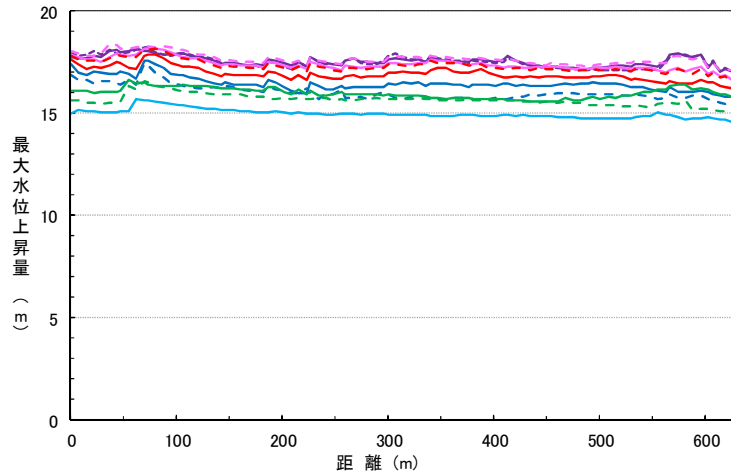
### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.4 宮城県沖の大すべり域・超大すべり域の位置の検討③

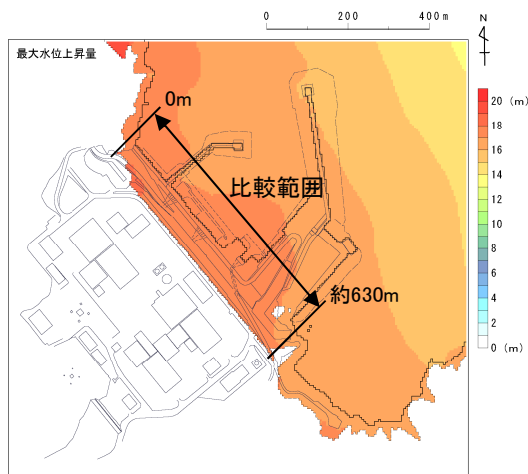
##### (3) 最大水位上昇量及び最大水位下降量の比較

- 各ケースの敷地前面(南北方向)における最大水位上昇量及び取水口前面(南北方向)における最大水位下降量の比較を下図に示す。

##### ■ 水位上昇側

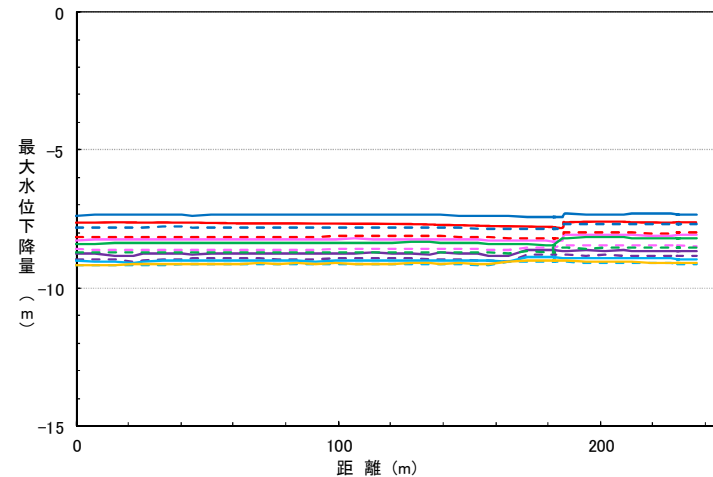


敷地前面における最大水位上昇量の比較

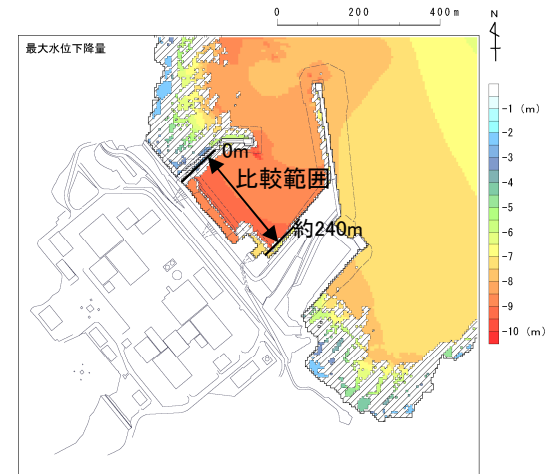


最大水位上昇量分布  
(北へ約30km移動)

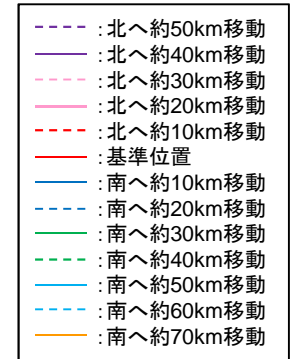
##### ■ 水位下降側



取水口前面における最大水位下降量の比較



最大水位下降量分布  
(南へ約60km移動)



### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.4 宮城県沖の大すべり域・超大すべり域の位置の検討④

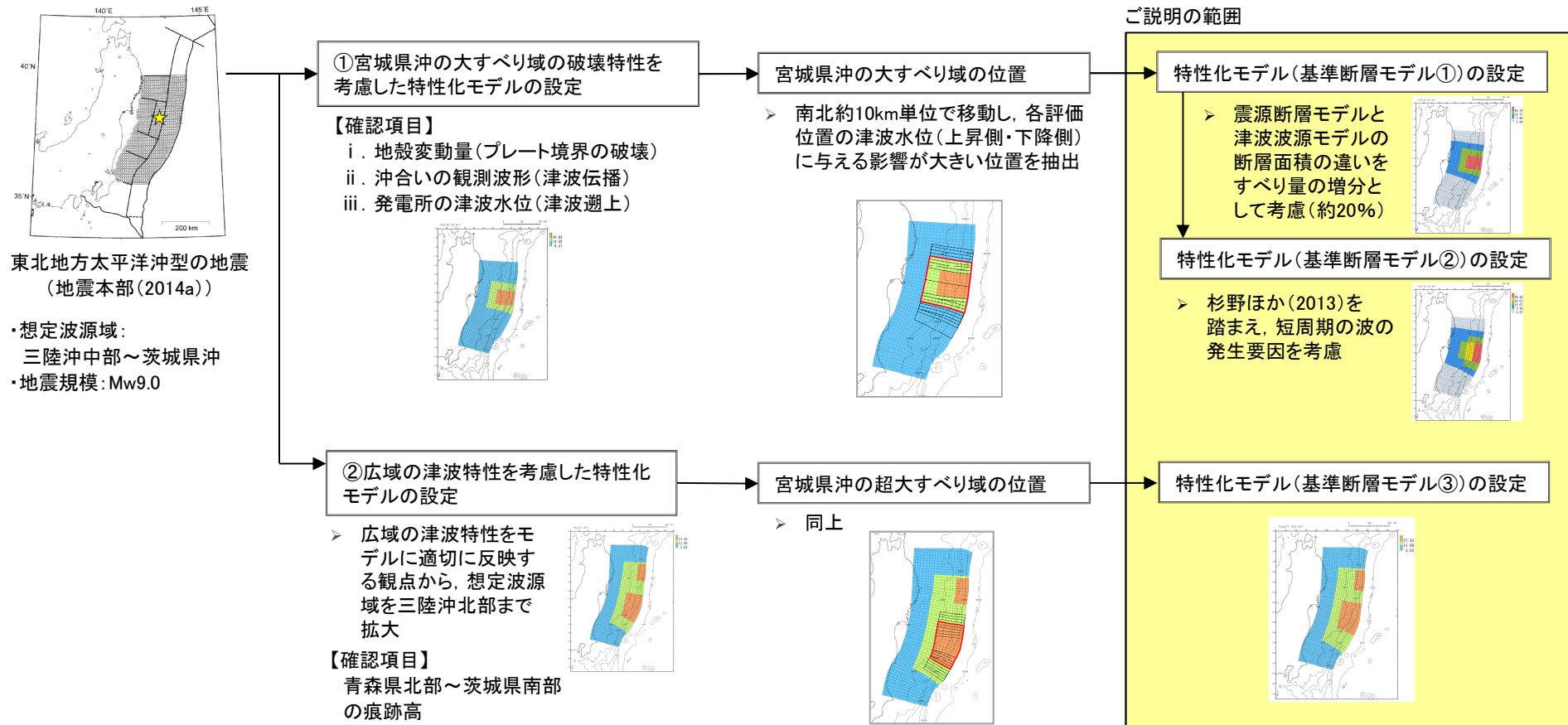
##### ■まとめ

No.	コメント時期	コメント内容
S60	1月23日 第185回審査会合	すべりの不均質性を考慮した内閣府モデル, 女川再現モデル, 特性化モデルの大すべり域が, 最も厳しい位置となっているか確認すること。

- 次の「東北地方太平洋沖型の地震」が, 3.11地震と同様の破壊形態で発生するとは限らないことから, 発電所の津波高さに与える影響が大きい宮城県沖の大すべり域(固着域)の破壊位置にゆらぎが存在する可能性を考慮した検討を実施して, 各評価位置の津波水位(上昇側・下降側)に与える影響が大きい大すべり域・超大すべり域の位置を抽出した。
- 各大すべり域・超大すべり域の位置を基準位置として, ①宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの基準断層モデル, ②広域の津波特性を考慮した特性化モデルの基準断層モデルを設定する。



### 3.4.5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定



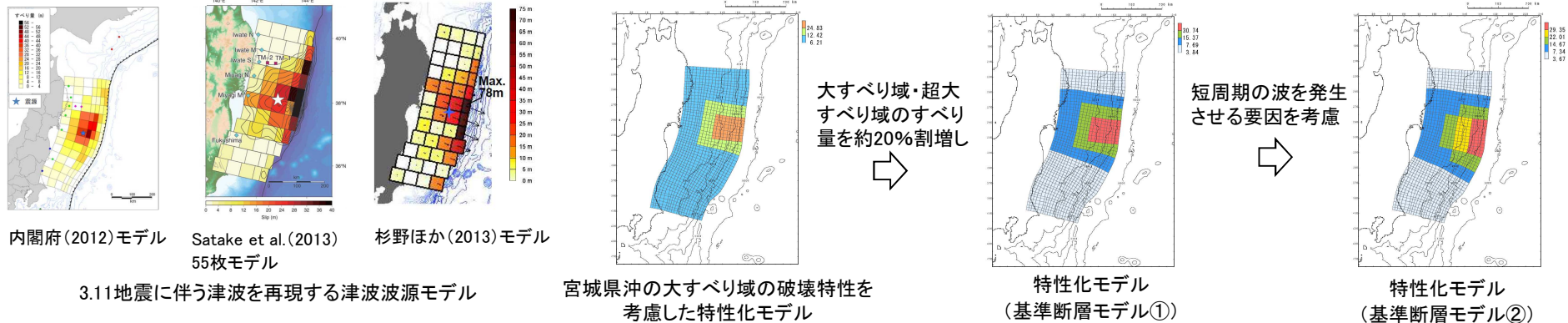
### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3. 4. 5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定:

#### 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル)の設定

##### ■基本方針

- 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの想定波源域は、3.11地震の地震特性を考慮する観点から、地震調査研究推進本部(2012, 2014a)による「東北地方太平洋沖型の地震」と同様の三陸沖中部～房総沖(断層面積:約10.7万(km<sup>2</sup>))に設定した。
- 広域の津波特性を特性化モデル(基準断層モデル)に反映する観点から、3.11地震に伴う津波を広域に再現する津波波源モデルの断層面積(約11万～12万(km<sup>2</sup>))を参考に、断層面積(約10.7万(km<sup>2</sup>))を保持した上で、発電所の津波高さに与える影響が大きい大すべり域、超大すべり域のすべり量を約20%割増した特性化モデル(基準断層モデル①)を設定する。
- さらに、杉野ほか(2013)の知見を参考として、短周期の波を発生させる要因と考えられる未知なる分岐断層や日本海溝付近の海底地すべり等が存在する可能性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル②)も設定する。



##### ■審査会合コメントとの対応

No.	コメント時期	コメント内容
S57	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの断層面積及びMwの妥当性について説明すること。

- 3.11地震に伴う津波を広域に再現する津波波源モデルの断層面積(約11～12万(km<sup>2</sup>))は、宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの断層面積(約10.7万(km<sup>2</sup>))よりも大きいことを考慮して、断層面積(約10.7万(km<sup>2</sup>))を保持した上で、発電所の津波高さに与える影響が大きい、大すべり域・超大すべり域のすべり量を約20%割増した特性化モデル(基準断層モデル①)を設定する。

### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

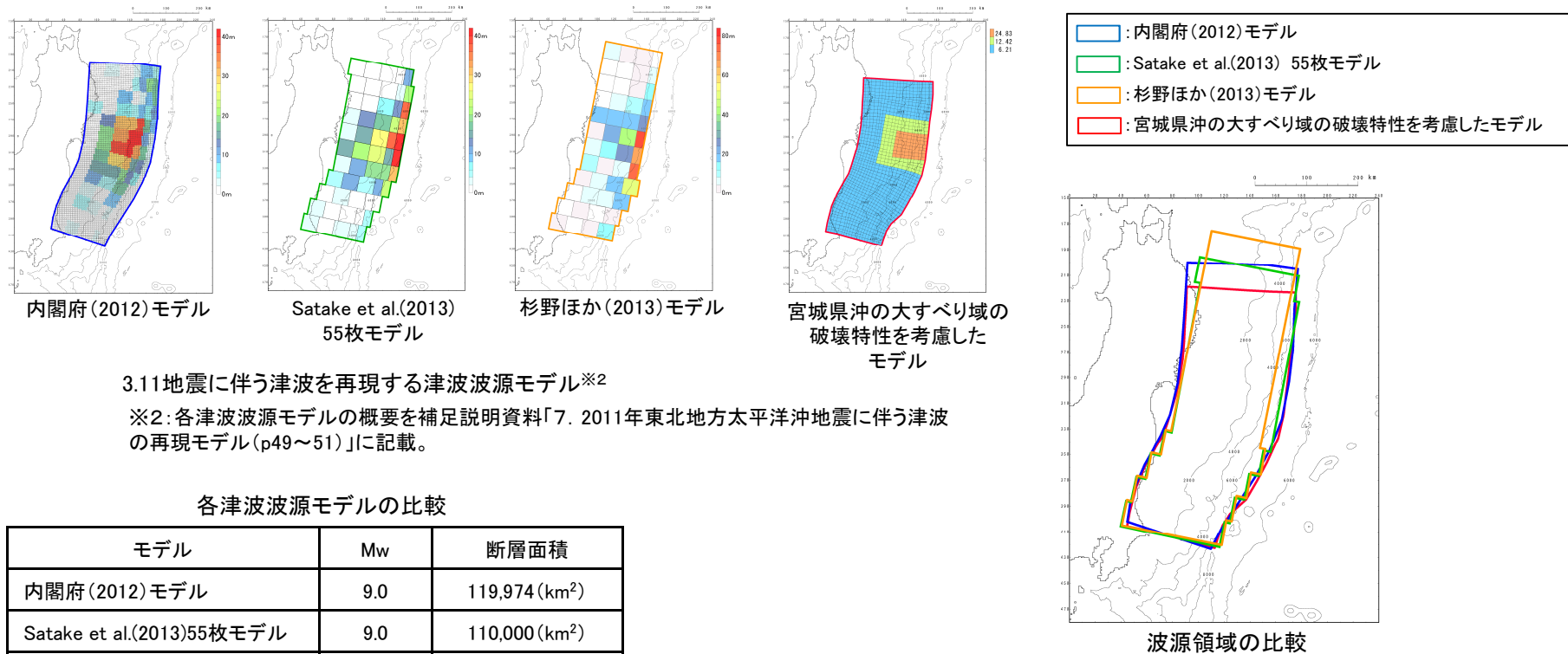
#### 3. 4. 5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定:

#### 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル①)の設定①

##### ■特性化モデル(基準断層モデル①)の設定①

- 3.11地震に伴う津波を広域に再現するモデルの断層面積は、宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮したモデルの断層面積と比較して大きいことを踏まえ、最新の科学的・技術的知見から、3.11地震に伴う大きなすべり量は最大規模と評価されるものの※1、広域の津波特性を再現するモデルの断層面積との整合性の観点から、安全側に発電所の津波高さに与える影響が大きい大すべり域・超大すべり域のすべり量を約20%割増した特性化モデル(基準断層モデル①)を設定する。

※1:宮城県沖の固着域で蓄積する歪みの量に関する分析結果の詳細は、補足説明資料「2.「東北地方太平洋沖型の地震」の地震規模(p12～19)」に記載。



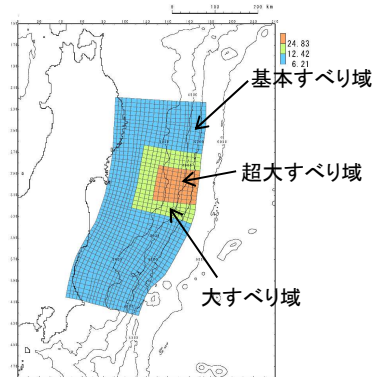
### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定:

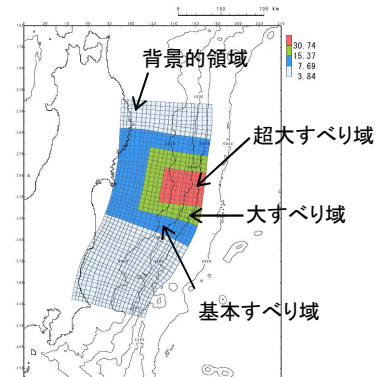
#### 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル①)の設定①

##### ■特性化モデル(基準断層モデル①)の設定②

- 特性化モデル(基準断層モデル①)の大すべり域・超大すべり域のすべり量は、広域の津波特性を再現するモデルのうち最も断層面積が大きい内閣府(2012)モデルの断層面積119,974km<sup>2</sup>相当のすべり量(平均応力降下量:3MPa, 大すべり域:面積比率20%, 超大すべり域:面積比率5%)よりも大きい。



宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル

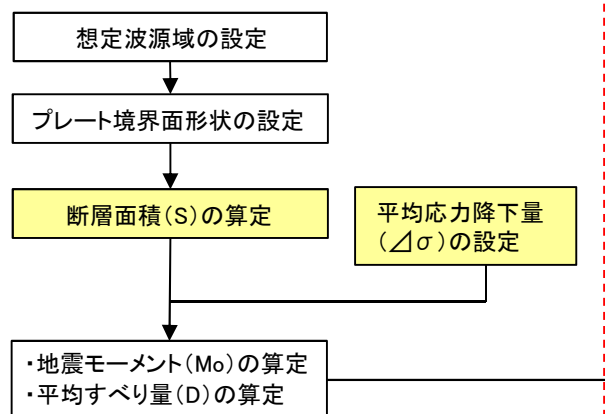


特性化モデル(基準断層モデル①)

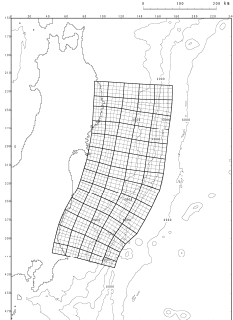
諸元	宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル	特性化モデル(基準断層モデル①)	内閣府(2012)モデルの断層面積(119,974km <sup>2</sup> )相当の断層諸元	
モーメントマグニチュード(Mw)	9.04	9.04	9.07	
断層面積(S)	107,357(km <sup>2</sup> )	107,357(km <sup>2</sup> )	120,000(km <sup>2</sup> )	
平均応力降下量( $\Delta\sigma$ )	3.13(MPa)	3.11MPa	3.00MPa	
地震モーメント(Mo)	$4.52 \times 10^{22}$ (Nm)	$4.49 \times 10^{22}$ (Nm)	$5.12 \times 10^{22}$ (Nm)	
すべり量	基本すべり域 (面積及び面積比率)	6.21(m) (85,165(km <sup>2</sup> ), 79.3%)	7.69(m) (49,872(km <sup>2</sup> ), 46.5%)	6.56(m) (-, 80%)
	背景的領域 (面積及び面積比率)		3.84(m) (57,485(km <sup>2</sup> ), 53.5%)	
	大すべり域 (面積及び面積比率)	12.42(m) (22,192(km <sup>2</sup> ), 20.7%)	15.37(m) (22,192(km <sup>2</sup> ), 20.7%)	13.13(m) (-, 20%)
	超大すべり域 (面積及び面積比率)	24.83(m) (8,078km <sup>2</sup> ), 7.5%)	30.74(m) (8,078km <sup>2</sup> ), 7.5%)	26.25(m) (-, 5%)
	平均すべり量	8.43(m)	8.37(m)	8.53(m)

# 特性化モデル(基準断層モデル①)の設定フロー

## 1. 巨視的波源特性の設定



スケールング則の適用  
(円形破壊面を仮定した関係式)



- 約10km四方の小断層(総数:1107)でプレート境界面を近似。
- すべり分布の設定にあたっては、小断層を約40km四方にブロック化(総数:70)し、各ブロックのすべり量を同一に与える。

プレート境界面  
(すべり分布のブロック割図)

各パラメーター一覧

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S)	三陸沖中部~茨城県沖	107,357(km <sup>2</sup> )
地震発生深さ	地震調査研究推進本部(2012)	海溝軸~深さ60km
平均応力降下量(Δσ)	内閣府(2012b), Murotani et al.(2013)	3(MPa)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(Mo)	16/(7π <sup>3/2</sup> ) · Δσ · S <sup>3/2</sup>	4.33 × 10 <sup>22</sup> (Nm)
平均すべり量(D)	16/(7π <sup>3/2</sup> ) · Δσ · S <sup>1/2</sup> / μ	8.07(m)

## 2. 微視的波源特性の設定

### (1) 大すべり域・超大すべり域・背景的領域の設定

- 断層面積(S<sub>2</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>0.5</sub>)の算定
- すべり量(D<sub>2</sub>, D<sub>4</sub>, D<sub>0.5</sub>)の算定
- 地震モーメント(M<sub>o2</sub>, M<sub>o4</sub>, M<sub>o0.5</sub>)の算定

#### ■ 大すべり域

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S <sub>2</sub> )	断層面積(S)の15%	16,104(km <sup>2</sup> )
すべり量(D <sub>2</sub> )	平均すべり量(D)の2倍 内閣府(2012b)	16.14(m)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(M <sub>o2</sub> )	μ · S <sub>2</sub> · D <sub>2</sub>	1.30 × 10 <sup>22</sup> (Nm)

#### ■ 超大すべり域

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S <sub>4</sub> )	断層面積(S)の5%	5,368(km <sup>2</sup> )
すべり量(D <sub>4</sub> )	平均すべり量(D)の4倍 内閣府(2012b)	32.28(m)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(M <sub>o4</sub> )	μ · S <sub>4</sub> · D <sub>4</sub>	8.66 × 10 <sup>21</sup> (Nm)

#### ■ 背景的領域

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S <sub>0.5</sub> )	断層面積(S)の50%	53,678(km <sup>2</sup> )
すべり量(D <sub>0.5</sub> )	平均すべり量(D)の0.5倍	4.04(m)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(M <sub>o0.5</sub> )	μ · S <sub>0.5</sub> · D <sub>0.5</sub>	1.08 × 10 <sup>22</sup> (Nm)

### (2) 地震モーメントの調整(すべり量の調整)

#### (2)-1 基本すべり域の設定

##### ■ 基本すべり域

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S <sub>1</sub> )	断層面積(S)の30%	32,207(km <sup>2</sup> )
すべり量(D <sub>1</sub> )	平均すべり量(D)	8.07(m)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(M <sub>o1</sub> )	μ · S <sub>1</sub> · D <sub>1</sub>	1.30 × 10 <sup>22</sup> (Nm)

#### (2)-2 各領域の地震モーメント(合計)の算定

Mo' = Mo2 + Mo4 + Mo0.5 + Mo1 = 4.55 × 10<sup>22</sup>(Nm)

### (2)-3 地震モーメントの調整(すべり量の調整)

- Mo/Mo' = 4.33 × 10<sup>22</sup>(Nm) / 4.55 × 10<sup>22</sup>(Nm) = 0.95
- 上記倍率を用いて、基準断層モデルに反映する各領域のすべり量を一律に調整する。

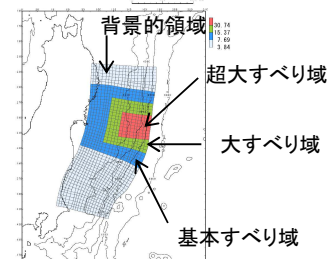
	調整前	調整後
背景的領域	4.04(m)	3.84(m)
基本すべり域	8.07(m)	7.69(m)
大すべり域	16.14(m)	15.37(m)
超大すべり域	32.28(m)	30.74(m)

## 3. 基準断層モデルの設定

### 断層モデルへの微視的波源特性の反映

- 設定したプレート境界面(すべり分布のブロック割図)に微視的波源特性を反映。

### モーメントマグニチュード(Mw)の算定



モーメントマグニチュード(Mw)	9.04	基本すべり域	すべり量	7.69(m)	
地震発生深さ	海溝軸~深さ60km	断層面積	49,872(km <sup>2</sup> )	(面積比率)※1	46.5%
断層面積(S)	107,357(km <sup>2</sup> )	背景的領域	すべり量	3.84(m)	
平均応力降下量(Δσ)	3.11(MPa)	断層面積	57,485(km <sup>2</sup> )	(面積比率)	53.5%
(=7/16 · Mo · (S/π) <sup>-3/2</sup> )		大すべり域	すべり量	15.37(m)	
剛性率(μ)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )	断層面積	22,192(km <sup>2</sup> )	(面積比率)※2	20.7%
地震モーメントMo	4.49 × 10 <sup>22</sup> (Nm)	超大すべり域	すべり量	30.74(m)	
すべり角λ	太平洋プレートの運動方向に基づいて設定	断層面積	8,078(km <sup>2</sup> )	(面積比率)	7.5%
ライズタイムτ	60(s)	平均すべり量D	8.37(m)		

※1: 大すべり域と超大すべり域をあわせた領域の面積比率

※2: 超大すべり域をあわせた領域の面積比率

与条件

### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定:

#### 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル①)の設定②

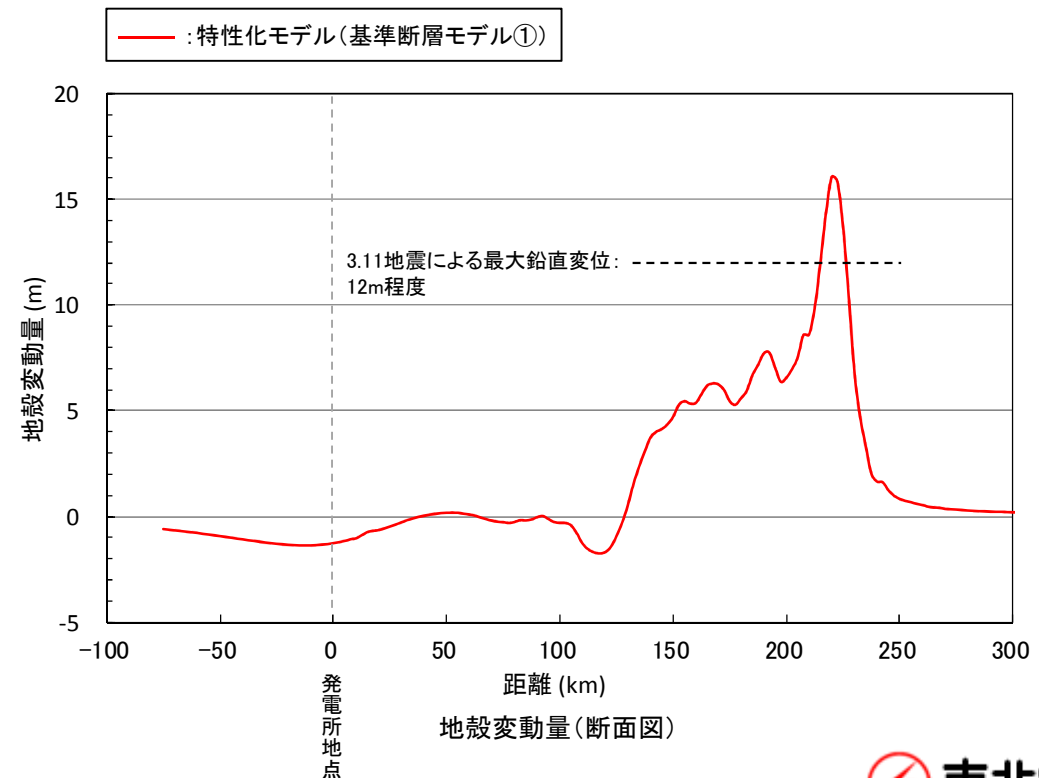
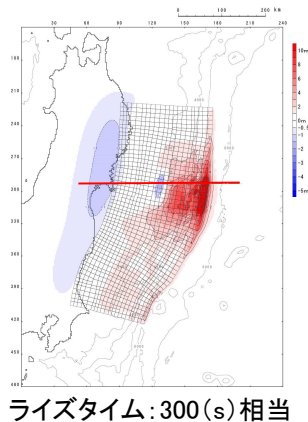
##### ■特性化モデル(基準断層モデル①)と3.11地震の実現象との比較

- 設定した特性化モデル(基準断層モデル①)が、3.11地震を上回る規模となっているかを確認するため、宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルと同様に、杉野ほか(2013)を参考として、3.11地震による宮城県沖の地殻変動量(プレート境界の破壊)、沖合いの観測波形(津波伝播)及び発電所の津波水位(津波遡上)について、3.11地震の実現象と比較した。

##### (1)地殻変動量(プレート境界の破壊)の比較

- 内閣府(2012)モデルと同様の条件下で算定される最大鉛直変位は16m程度であり、3.11地震による最大鉛直変位(12m程度)を上回ることを確認した。

##### 【特性化モデル(基準断層モデル①)の地殻変動量分布】



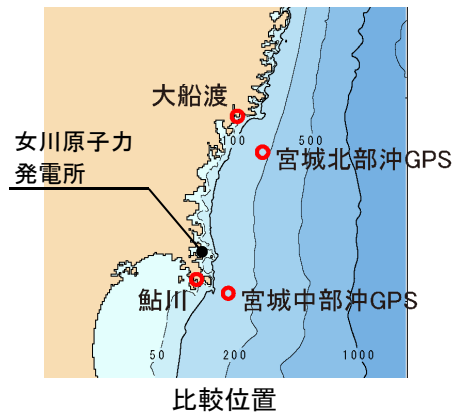
### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3. 4. 5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定:

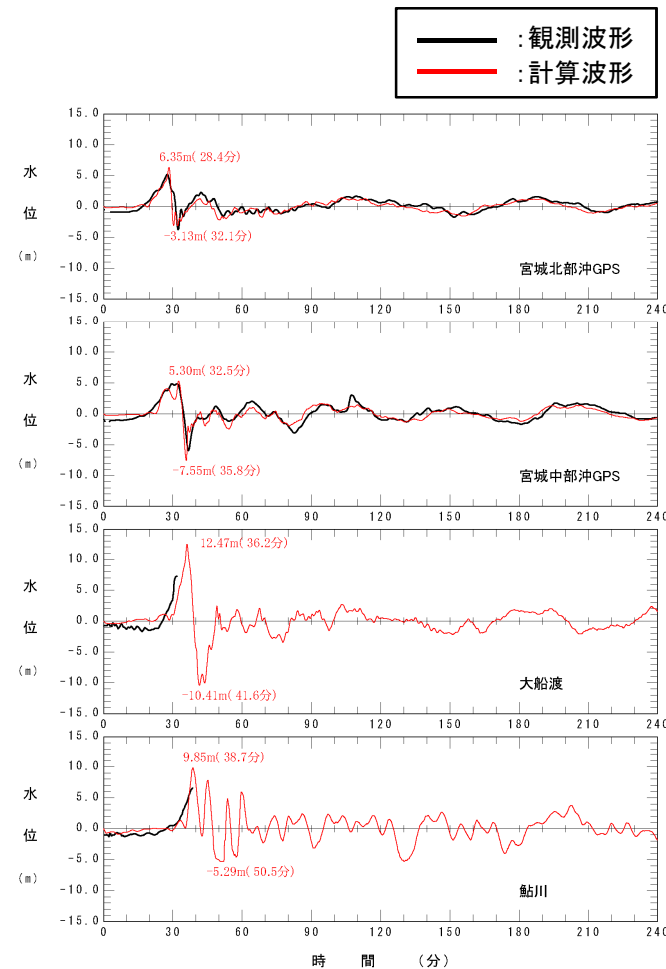
#### 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル①)の設定②

##### (2) 沖合いの観測波形(津波伝播)の比較

- 特性化モデル(基準断層モデル①)の計算波形は, 発電所前面海域における3.11地震に伴う津波の観測波形を上回ることを確認した。



※: 3.11地震に伴う津波の再現解析条件の詳細は, 補足説明資料「5. 津波解析条件 (p39~40)」に記載。



特性化モデル(基準断層モデル①)

### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3. 4. 5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定:

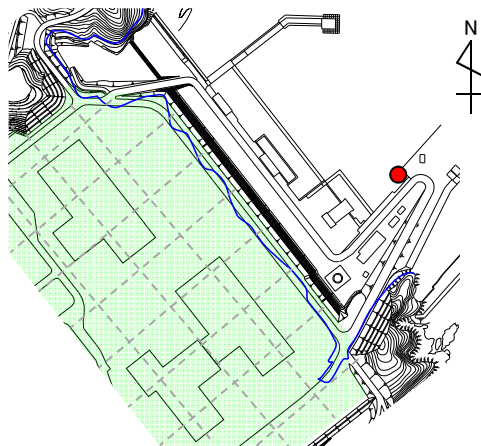
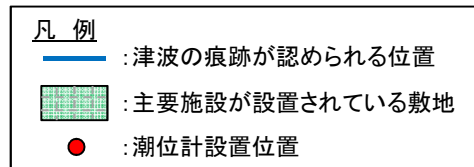
#### 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル①)の設定②

##### (3) 発電所の津波水位(津波遡上)の比較※1

- 特性化モデル(基準断層モデル①)は、発電所敷地における痕跡、並びに発電所港湾内で取得した観測波形との比較から、発電所に襲来した3.11地震に伴う津波を上回ることを確認した。

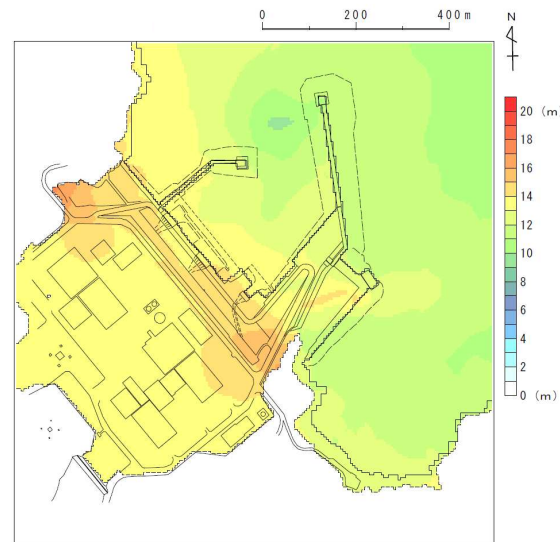
※1: 3.11地震に伴う津波の再現解析条件の詳細は、補足説明資料「5. 津波解析条件(p39～40)」に記載。

##### 【発電所敷地における痕跡調査結果】



東北電力(2011)を一部修正

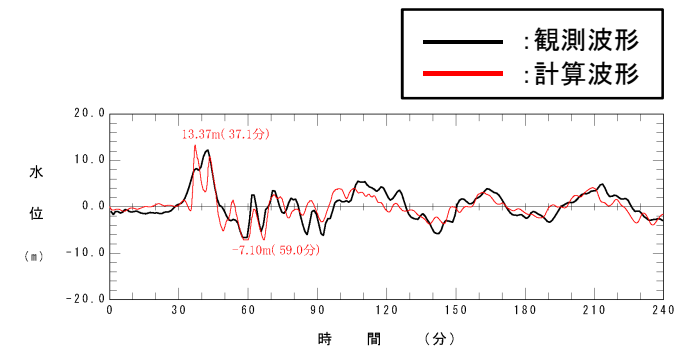
##### 【最大水位上昇量分布】



特性化モデル(基準断層モデル①)※2

※2: 3.11地震時の地形モデルを用いた解析結果であり、防潮堤は地形モデルに反映していないことから、敷地が浸水する結果となっている。

##### 【観測記録との比較】





### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定:

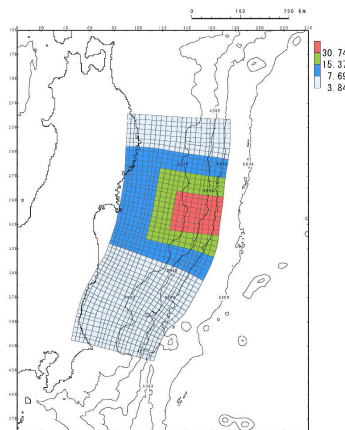
#### 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル①)の設定③

##### ■まとめ

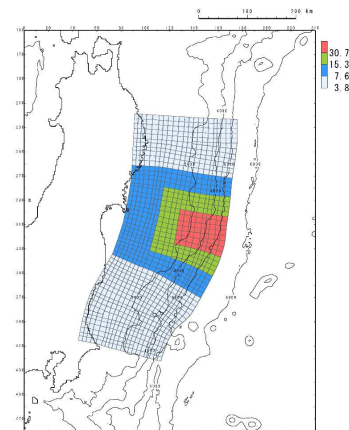
No.	コメント時期	コメント内容
S57	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの断層面積及びMwの妥当性について説明すること。

- 3.11地震に伴う津波を広域に再現する津波波源モデルの断層面積(約11~12万(km<sup>2</sup>))は、宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルの断層面積(約10.7万(km<sup>2</sup>))よりも大きいことを考慮して、断層面積(約10.7万(km<sup>2</sup>))を保持した上で、発電所の津波高さに与える影響が大きい、大すべり域・超大すべり域のすべり量を約20%割増した特性化モデル(基準断層モデル①)を設定した。
- 3.11地震時の宮城県沖の地殻変動量(プレート境界の破壊)、沖合いの観測波形(津波伝播)及び発電所の津波水位(津波遡上)の比較から、同モデルは、3.11地震を上回る規模のモデルであることを確認した。
- 以上の検討結果並びに宮城県沖の大すべり域・超大すべり域の位置の検討結果(p71~79)を踏まえ、特性化モデル(基準断層モデル①)を以下のとおり設定する。

#### 【宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル①)】



特性化モデル(基準断層モデル①-1)  
(大すべり域・超大すべり域の位置:基準)



特性化モデル(基準断層モデル①-2)  
(大すべり域・超大すべり域の位置:南へ約40km移動)

### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定:

#### 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル①)の設定④

##### ■津波予測計算結果

- ・ 特性化モデル(基準断層モデル①)による各評価位置の最大水位上昇量・下降量を以下に示す。
- ・ また、水位分布・水位時刻歴波形を次頁に示す。

##### 【最大水位上昇量・下降量】

	最大水位上昇量(m)						備考 (大すべり域・超大すべり域の位置)
	敷地前面	1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	1号放水口 前面	2・3号放水口 前面	
特性化モデル (基準断層モデル①-1)	16.34(北側)	14.13	14.29	14.21	12.36	13.36	基準
特性化モデル (基準断層モデル①-2)	11.80(北側)	11.20	11.31	11.34	9.75	10.84	南へ約40km移動

	最大水位下降量(m)			備考 (大すべり域・超大すべり域の位置)
	1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	
特性化モデル (基準断層モデル①-1)	-7.82	-7.72	-7.75	基準
特性化モデル (基準断層モデル①-2)	-8.81	-8.96	-9.03	南へ約40km移動

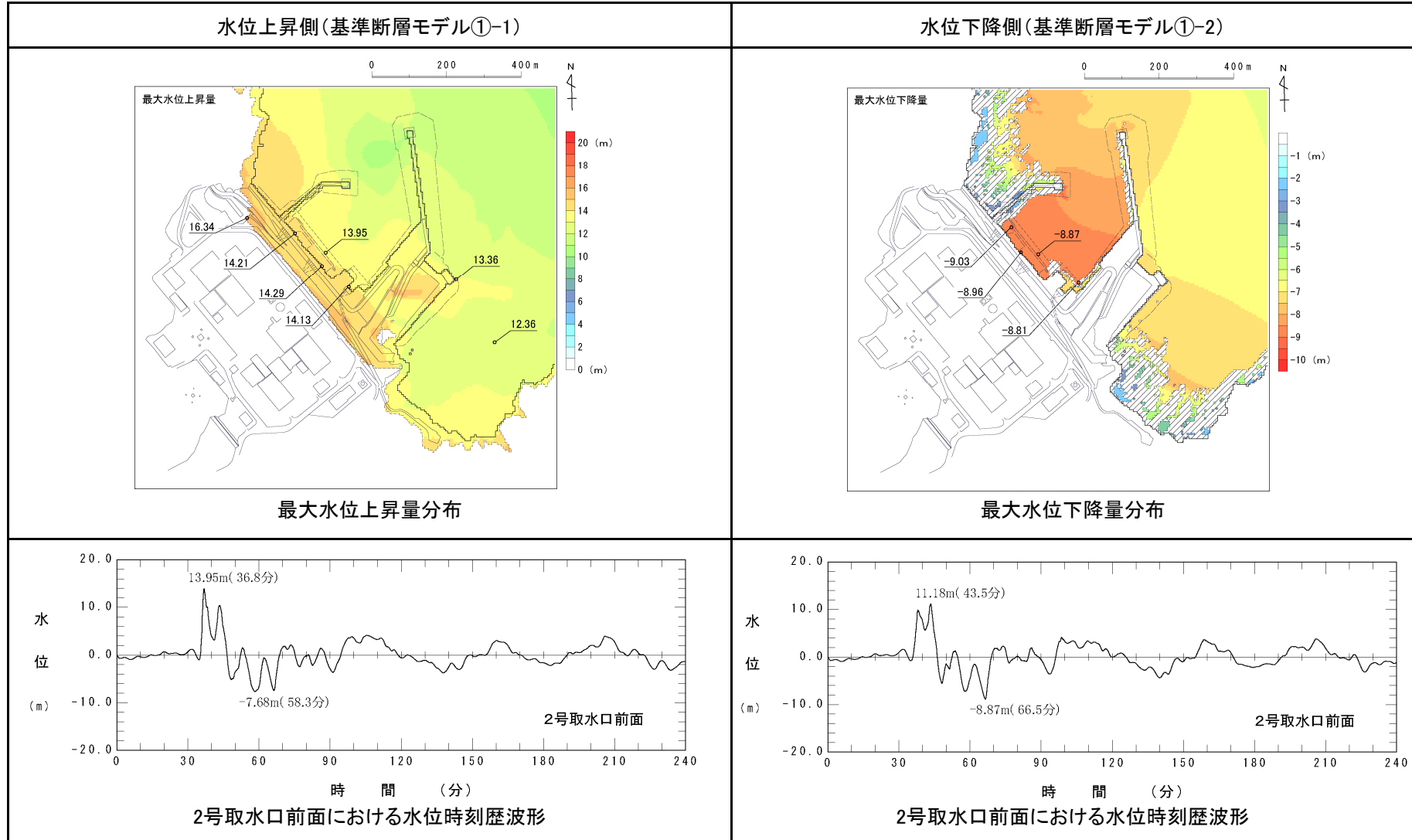
※:津波解析条件の詳細は、補足説明資料「5. 津波解析条件(p37～38)」に記載。  
また、津波水位の評価位置の詳細は、補足説明資料「5. 津波解析条件(p41～43)」に記載。

### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3. 4. 5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定:

#### 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル①)の設定④

【水位分布及び水位時刻歴波形※】



※: 水位時刻歴波形は、2号取水口前面の中央位置に該当するメッシュで抽出(抽出位置は、補足説明資料「8. 津波水位の抽出位置(p58～59)」に記載。)

### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

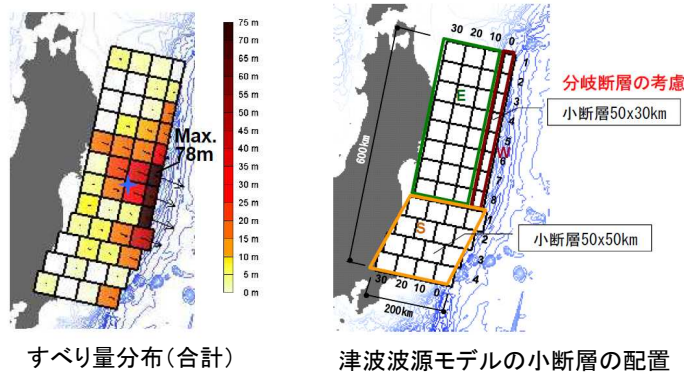
#### 3.4.5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定:

#### 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル②)の設定①

##### ■特性化モデル(基準断層モデル②)の設定①

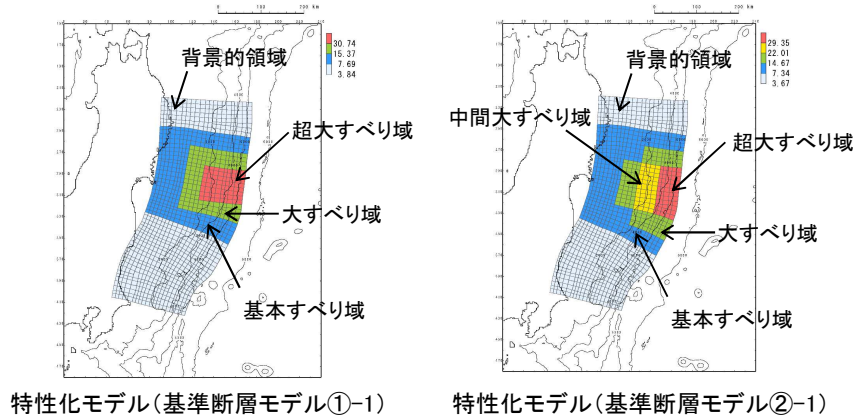
- 杉野ほか(2013)では、3.11地震に伴う津波の沖合い観測波形に見られた短周期と長周期の異なる性質の波の発生要因を分岐断層の活動によるものと仮定して津波波源モデルを設定している。
- 3.11地震後の日本海溝付近における海底調査や、3.11地震の各種のすべり分布モデル等から、上記要因は分岐断層によるものではないと考えられるが、分岐断層や日本海溝付近の海底地すべりは短周期の波を発生させる要因の1つと考えられることから、同要因は特性化モデル(基準断層モデル)に反映する必要があると考えられる。
- 以上を踏まえ、特性化モデル(基準断層モデル①-1)を基本として、未知なる分岐断層や海底地すべり等が存在する可能性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル②-1)を設定する。

##### 【杉野ほか(2013)モデル】



諸元	特性化モデル (基準断層モデル①-1)	特性化モデル (基準断層モデル②-1)	
モーメントマグニチュード(Mw)	9.04	9.04	
断層面積(S)	107,357(km <sup>2</sup> )	107,357(km <sup>2</sup> )	
平均応力降下量( $\Delta\sigma$ )	3.11MPa	3.17MPa	
地震モーメント(Mo)	4.49 × 10 <sup>22</sup> (Nm)	4.58 × 10 <sup>22</sup> (Nm)	
すべり量	基本すべり域 (面積及び面積比率)	7.69(m) (49,872(km <sup>2</sup> ), 46.5%)	7.34(m) (56,675(km <sup>2</sup> ), 47.2%)
	背景的領域 (面積及び面積比率)	3.84(m) (57,485(km <sup>2</sup> ), 53.5%)	3.67(m) (50,675(km <sup>2</sup> ), 52.8%)
	大すべり域 (面積及び面積比率)	15.37(m) (22,192(km <sup>2</sup> ), 20.7%)	14.67(m) (24,875(km <sup>2</sup> ), 23.2%)
	中間大すべり域 (面積及び面積比率)		22.01(m) (11,732(km <sup>2</sup> ), 10.9%)
	超大すべり域 (面積及び面積比率)	30.74(m) (8,078(km <sup>2</sup> ), 7.5%)	29.35(m) (6,201(km <sup>2</sup> ), 5.8%)
	平均すべり量	8.37(m)	8.53(m)

##### 【基準断層モデル(特性化モデル)】



# 特性化モデル(基準断層モデル②)の設定フロー

## 1. 巨視的波源特性の設定

与条件

特性化モデル(基準断層モデル①-1)と共通のため、詳細は記載省略(p84参照)

各パラメーター一覧

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S)	三陸沖中部～茨城県沖	107,357 (km <sup>2</sup> )
地震発生深さ	地震調査研究推進本部(2012)	海溝軸～深さ60km
平均応力降下量(Δσ)	内閣府(2012b), Murotani et al.(2013)	3 (MPa)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(M <sub>0</sub> )	16/(7π <sup>3/2</sup> ) · Δσ · S <sup>3/2</sup>	4.33 × 10 <sup>22</sup> (Nm)
平均すべり量(D)	16/(7π <sup>3/2</sup> ) · Δσ · S <sup>1/2</sup> / μ	8.07 (m)

## 2. 微視的波源特性の設定

(1) 大すべり域・超大すべり域・背景的領域・中間大すべり域の設定

- 断層面積(S<sub>2</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>0.5</sub>, S<sub>3</sub>)の算定
- すべり量(D<sub>2</sub>, D<sub>4</sub>, D<sub>0.5</sub>, D<sub>3</sub>)の算定
- 地震モーメント(M<sub>02</sub>, M<sub>04</sub>, M<sub>00.5</sub>, M<sub>03</sub>)の算定

### ■大すべり域

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S <sub>2</sub> )	断層面積(S)の10%	10,736 (km <sup>2</sup> )
すべり量(D <sub>2</sub> )	平均すべり量(D)の2倍 内閣府(2012b)	16.14 (m)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(M <sub>02</sub> )	μ · S <sub>2</sub> · D <sub>2</sub>	8.66 × 10 <sup>21</sup> (Nm)

### ■超大すべり域

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S <sub>4</sub> )	断層面積(S)の5%	5,368 (km <sup>2</sup> )
すべり量(D <sub>4</sub> )	平均すべり量(D)の4倍 内閣府(2012b)	32.28 (m)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(M <sub>04</sub> )	μ · S <sub>4</sub> · D <sub>4</sub>	8.66 × 10 <sup>21</sup> (Nm)

### ■背景的領域

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S <sub>0.5</sub> )	断層面積(S)の50%	53,678 (km <sup>2</sup> )
すべり量(D <sub>0.5</sub> )	平均すべり量(D)の0.5倍	4.04 (m)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(M <sub>00.5</sub> )	μ · S <sub>0.5</sub> · D <sub>0.5</sub>	1.08 × 10 <sup>22</sup> (Nm)

### ■中間大すべり域

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S <sub>3</sub> )	断層面積(S)の5%	5,368 (km <sup>2</sup> )
すべり量(D <sub>3</sub> )	平均すべり量(D)の3倍	24.21 (m)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(M <sub>03</sub> )	μ · S <sub>3</sub> · D <sub>3</sub>	6.50 × 10 <sup>21</sup> (Nm)

(2) 地震モーメントの調整(すべり量の調整)

(2)-1 基本すべり域の設定

### ■基本すべり域

パラメータ	設定方法	設定値
断層面積(S <sub>1</sub> )	断層面積の30%	32,207 (km <sup>2</sup> )
すべり量(D <sub>1</sub> )	平均すべり量(D)	8.07 (m)
剛性率(μ)	土木学会(2002)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )
地震モーメント(M <sub>01</sub> )	μ · S <sub>1</sub> · D <sub>1</sub>	1.30 × 10 <sup>22</sup> (Nm)

(2)-2 各領域の地震モーメント(合計)の算定

$$M_o' = M_{02} + M_{04} + M_{00.5} + M_{03} + M_{01} = 4.77 \times 10^{22} \text{ (Nm)}$$

(2)-3 地震モーメントの調整(すべり量の調整)

$$M_o / M_o' = 4.33 \times 10^{22} \text{ (Nm)} / 4.77 \times 10^{22} \text{ (Nm)} = 0.91$$

- 上記倍率を用いて、基準断層モデルに反映する各領域のすべり量を一律に調整する。

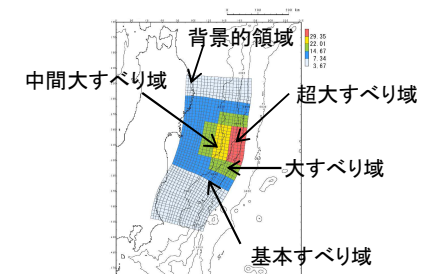
	調整前	調整後
背景的領域	4.04 (m)	3.67 (m)
基本すべり域	8.07 (m)	7.34 (m)
中間大すべり域	16.14 (m)	14.67 (m)
大すべり域	16.14 (m)	22.01 (m)
超大すべり域	32.28 (m)	29.35 (m)

## 3. 基準断層モデルの設定

断層モデルへの微視的波源特性の反映

- 設定したプレート境界面(すべり分布のブロック割図)に微視的波源特性を反映。

モーメントマグニチュード(Mw)の算定



モーメントマグニチュード(Mw)	9.04	基本すべり域	すべり量	7.34 (m)
地震発生深さ	海溝軸～深さ60km	断層面積	56,675 (km <sup>2</sup> )	
断層面積(S)	107,357 (km <sup>2</sup> )	(面積比率)※1	(47.2%)	
平均応力降下量(Δσ)	3.11 (MPa)	すべり量	3.67 (m)	
(=7/16 · Mo · (S/π) <sup>-3/2</sup> )		背景的領域	断層面積	
剛性率(μ)	5.0 × 10 <sup>10</sup> (N/m <sup>2</sup> )	(面積比率)	50,675 (km <sup>2</sup> )	
地震モーメントMo	4.49 × 10 <sup>22</sup> (Nm)	すべり量	(52.8%)	
すべり角λ	太平洋プレートの運動方向に基づいて設定	大すべり域	断層面積	
ライズタイムτ	60 (s)	(面積比率)※2	24,875 (km <sup>2</sup> )	
		すべり量	(23.2%)	
		中間大すべり域	断層面積	
		(面積比率)※3	11,732 (km <sup>2</sup> )	
		すべり量	(10.9%)	
		超大すべり域	断層面積	
		すべり量	29.35 (m)	
		断層面積	6,201 (km <sup>2</sup> )	
		(面積比率)	(5.8%)	
		平均すべり量D	8.53 (m)	

※1: 大すべり域、中間大すべり域及び超大すべり域をあわせた領域の面積比率

※2: 中間大すべり域・超大すべり域をあわせた領域の面積比率

※3: 超大すべり域をあわせた領域の面積比率

### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3. 4. 5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定:

#### 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル②)の設定②

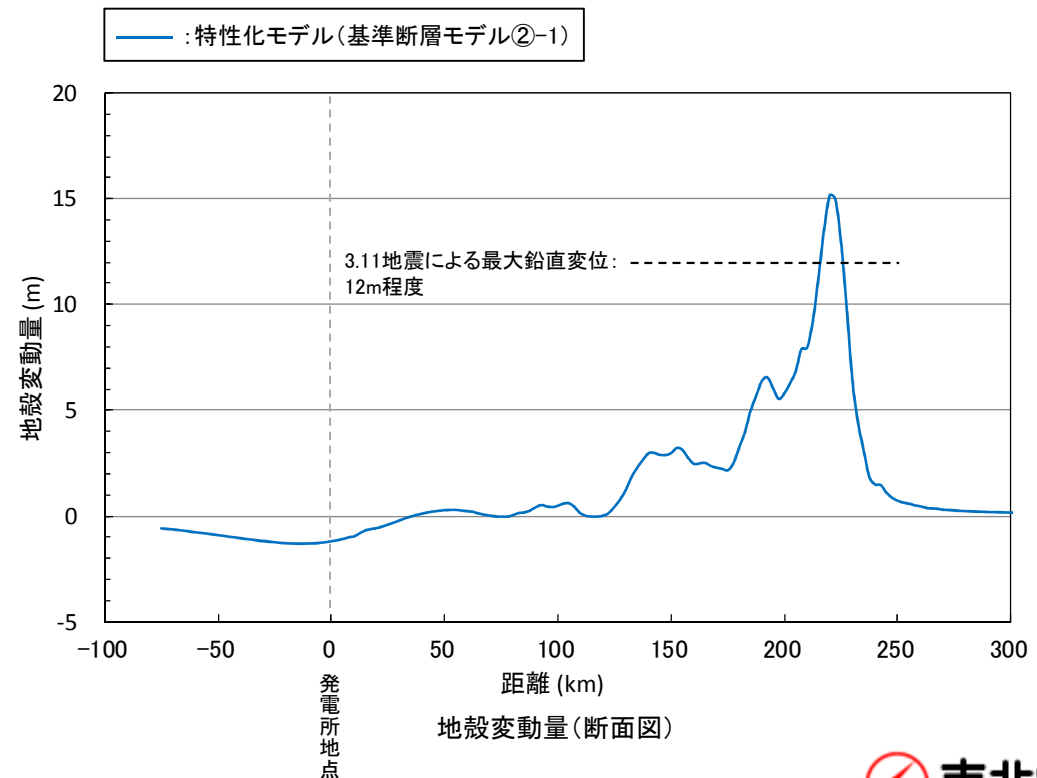
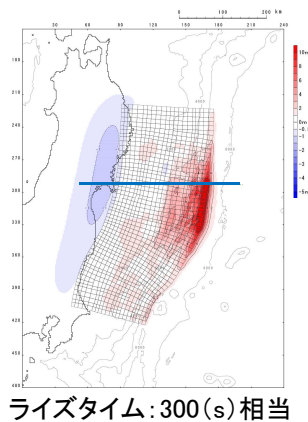
##### ■特性化モデル(基準断層モデル②-1)と3.11地震の実現象との比較

- 設定した特性化モデル(基準断層モデル②-1)が, 3.11地震を上回る規模となっているかを確認するため, 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルと同様に, 杉野ほか(2013)を参考として, 3.11地震による宮城県沖の地殻変動量(プレート境界の破壊), 沖合いの観測波形(津波伝播)及び発電所の津波水位(津波遡上)について, 3.11地震の実現象と比較する。

##### (1)地殻変動量(プレート境界の破壊)の比較

- 内閣府(2012)モデルと同様の条件下で算定される最大鉛直変位は15m程度であり, 3.11地震による最大鉛直変位(12m程度)を上回ることを確認した。

##### 【特性化モデル(基準断層モデル②-1)の地殻変動量分布】



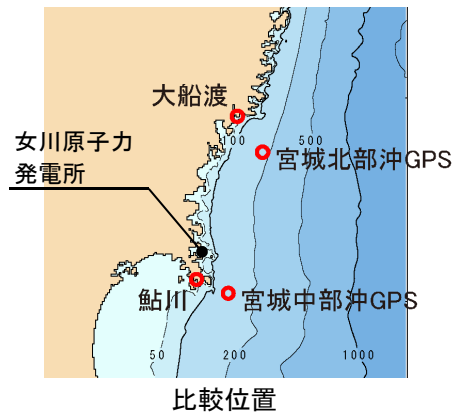
### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3. 4. 5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定:

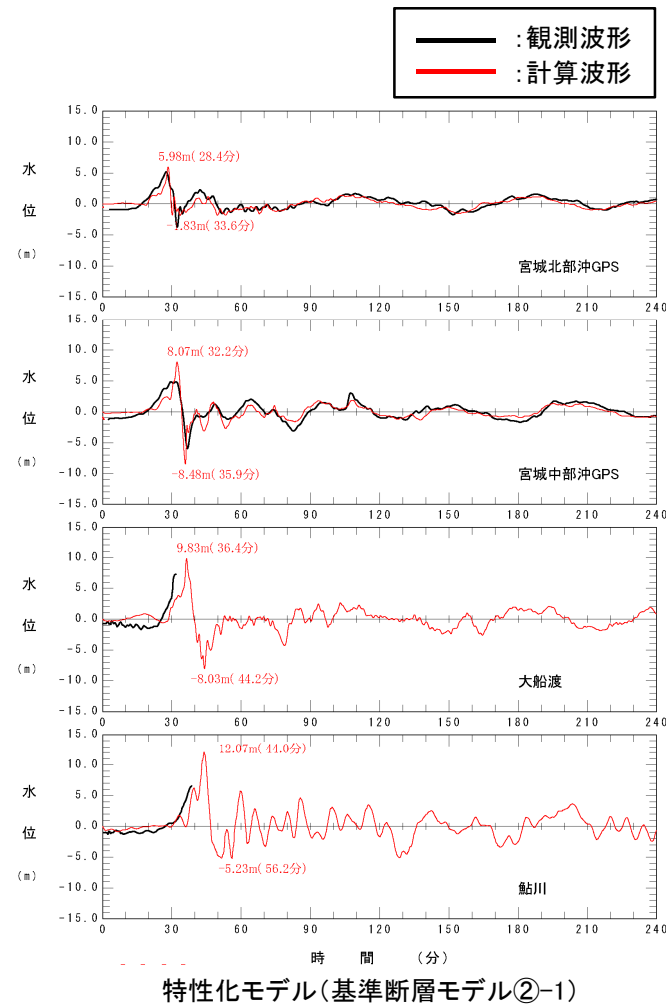
#### 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル②)の設定②

##### (2) 沖合いの観測波形(津波伝播)の比較

- 特性化モデル(基準断層モデル②-1)の計算波形は, 発電所前面海域における3.11地震に伴う津波の観測波形を上回ることを確認した。



※:3.11地震に伴う津波の再現解析条件の詳細は, 補足説明資料「5. 津波解析条件 (p39~40)」に記載。



### 3.4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.4.5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定:

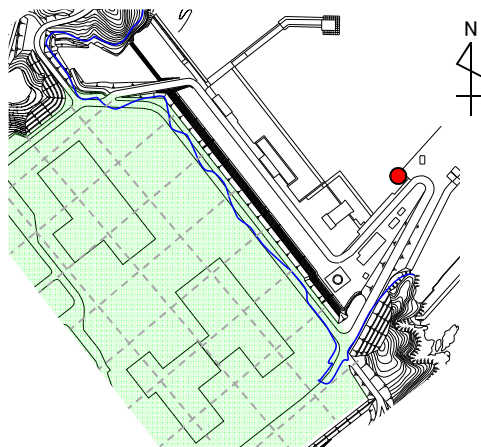
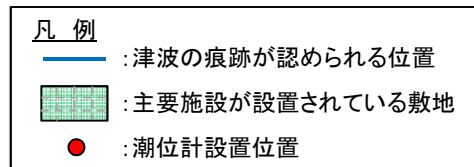
#### 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル②)の設定②

##### (3) 発電所の津波水位(津波遡上)の比較※1

- 特性化モデル(基準断層モデル②-1)は、発電所敷地における痕跡、並びに発電所港湾内で取得した観測波形との比較から、発電所に襲来した3.11地震に伴う津波を上回ることを確認した。

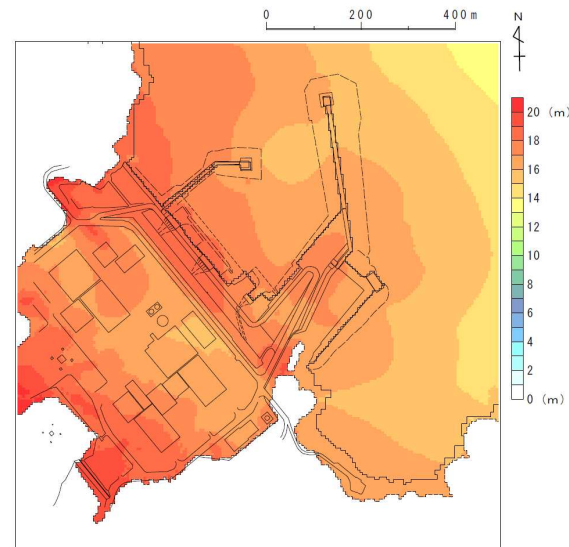
※1: 3.11地震に伴う津波の再現解析条件の詳細は、補足説明資料「5. 津波解析条件(p39～40)」に記載。

##### 【発電所敷地における痕跡調査結果】



東北電力(2011)を一部修正

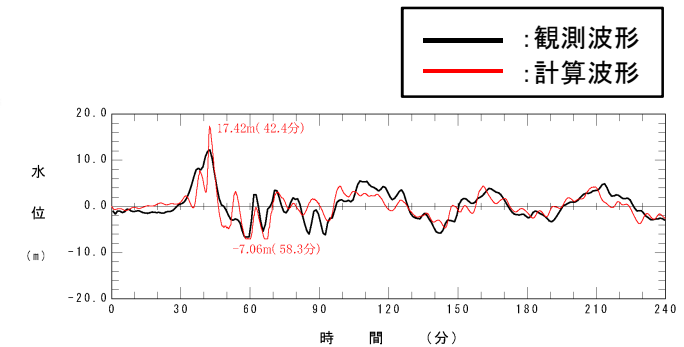
##### 【最大水位上昇量分布】



特性化モデル(基準断層モデル②-1)※2

※2: 3.11地震時の地形モデルを用いた解析結果であり、防潮堤は地形モデルに反映していないことから、敷地が浸水する結果となっている。

##### 【観測記録との比較】





### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3. 4. 5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定:

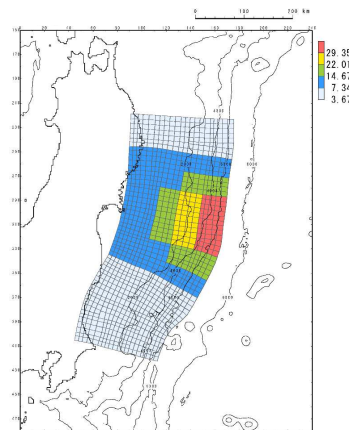
#### 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル②)の設定③

##### ■まとめ

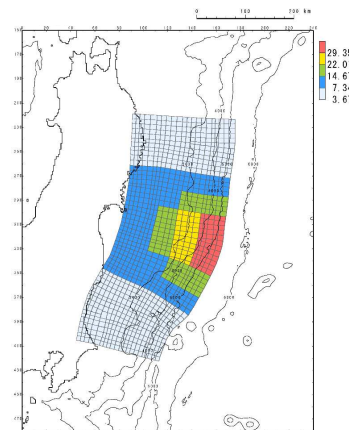
No.	コメント時期	コメント内容
S57	1月23日 第185回審査会合	特性化モデルの断層面積及びMwの妥当性について説明すること。

- 特性化モデル(基準断層モデル①-1)を基本として、杉野ほか(2013)の知見を参考に、短周期の波を発生させる要因と考えられる未知なる分岐断層や海底地すべり等が存在する可能性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル②-1)を設定した。
- 3.11地震時の宮城県沖の地殻変動量(プレート境界の破壊)、沖合いの観測波形(津波伝播)及び発電所の津波水位(津波遡上)の比較から、同モデルは、3.11地震を上回る規模のモデルであることを確認した。
- 以上の検討結果並びに宮城県沖の大すべり域・超大すべり域の位置の検討結果(p71~79)を踏まえ、特性化モデル(基準断層モデル②)を以下のとおり設定する。

##### 【宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル②)】



特性化モデル(基準断層モデル②-1)  
(大すべり域・超大すべり域の位置: 基準)



特性化モデル(基準断層モデル②-2)  
(大すべり域・超大すべり域の位置: 南へ約40km移動)

### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3. 4. 5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定:

#### 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル②)の設定④

##### ■津波予測計算結果

- ・ 特性化モデル(基準断層モデル②)による各評価位置の最大水位上昇量・下降量を以下に示す。
- ・ また、水位分布・水位時刻歴波形を次頁に示す。

##### 【最大水位上昇量・下降量】

	最大水位上昇量(m)						備考 (大すべり域・超大すべり域の位置)
	敷地前面	1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	1号放水口 前面	2・3号放水口 前面	
特性化モデル (基準断層モデル②-1)	21.58(北側)	18.85	19.50	19.60	16.46	17.16	基準
特性化モデル (基準断層モデル②-2)	18.19(北側)	16.44	16.71	16.57	14.08	15.75	南へ約40km移動

	最大水位下降量(m)			備考 (大すべり域・超大すべり域の位置)
	1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	
特性化モデル (基準断層モデル②-1)	-8.80	-8.98	-9.01	基準
特性化モデル (基準断層モデル②-2)	-8.59	-8.78	-8.80	南へ約40km移動

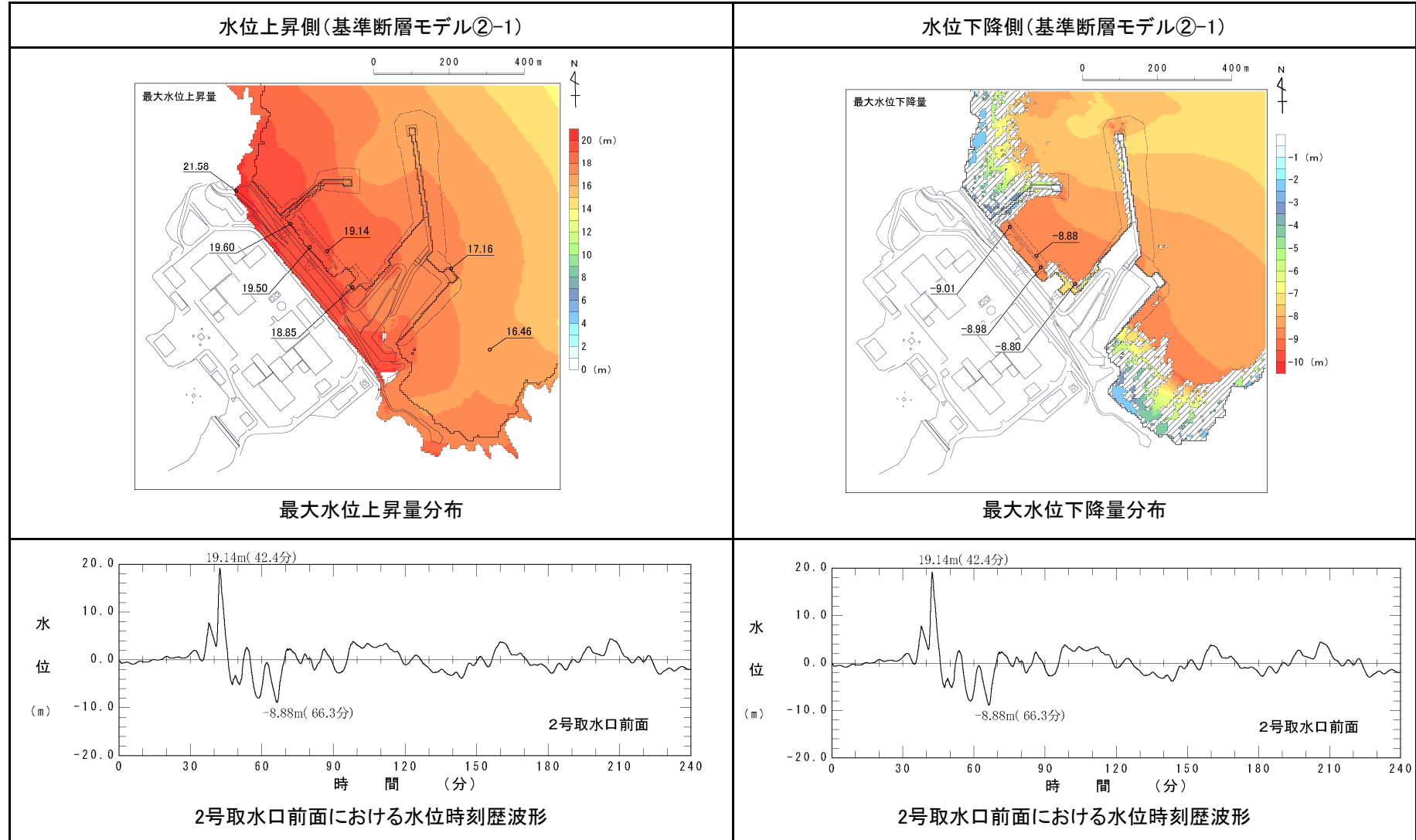
※:津波解析条件の詳細は、補足説明資料「5. 津波解析条件(p37～38)」に記載。  
また、津波水位の評価位置の詳細は、補足説明資料「5. 津波解析条件(p41～43)」に記載。

### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3. 4. 5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定:

#### 宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル②)の設定④

【水位分布及び水位時刻歴波形※】



※: 水位時刻歴波形は、2号取水口前面の中央位置に該当するメッシュで抽出(抽出位置は、補足説明資料「8. 津波水位の抽出位置(p58～59)」に記載。)

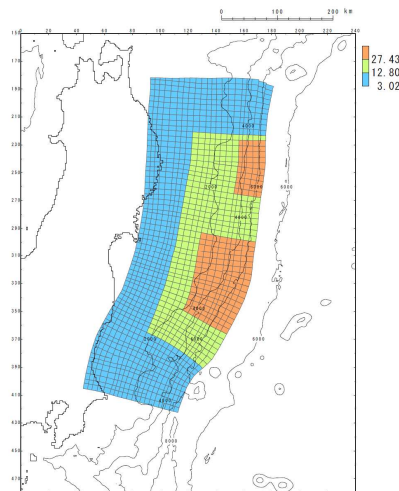
### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3. 4. 5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定: 広域の津波特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル③)の設定①

##### ■特性化モデル(基準断層モデル③)の設定

- 広域の津波特性を考慮した特性化モデルについては、宮城県沖の超大すべり域を移動させた検討において、発電所の津波高さに最も影響を与えるケースを特性化モデル(基準断層モデル③)と設定する。
- 設定した特性化モデル(基準断層モデル③-1)が、3.11地震を上回る規模となっているかを確認するため、宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデルと同様に、杉野ほか(2013)を参考として、3.11地震による宮城県沖の地殻変動量(プレート境界の破壊)、沖合いの観測波形(津波伝播)及び発電所の津波水位(津波遡上)について、3.11地震の実現象と比較する。

【広域の津波特性を考慮した特性化モデル】

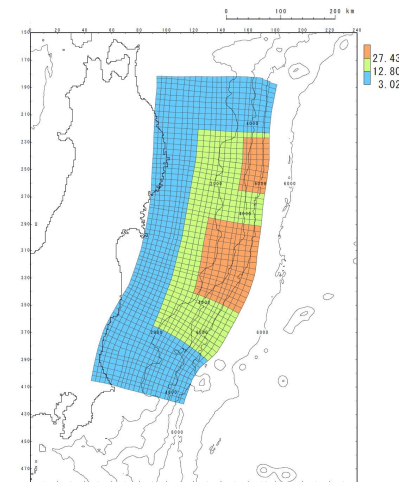


すべり量分布

宮城県沖の  
超大すべり域の  
位置を移動



【特性化モデル(基準断層モデル③-1)】



特性化モデル(基準断層モデル③-1)  
(超大すべり域の位置:北へ約30km移動)

### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

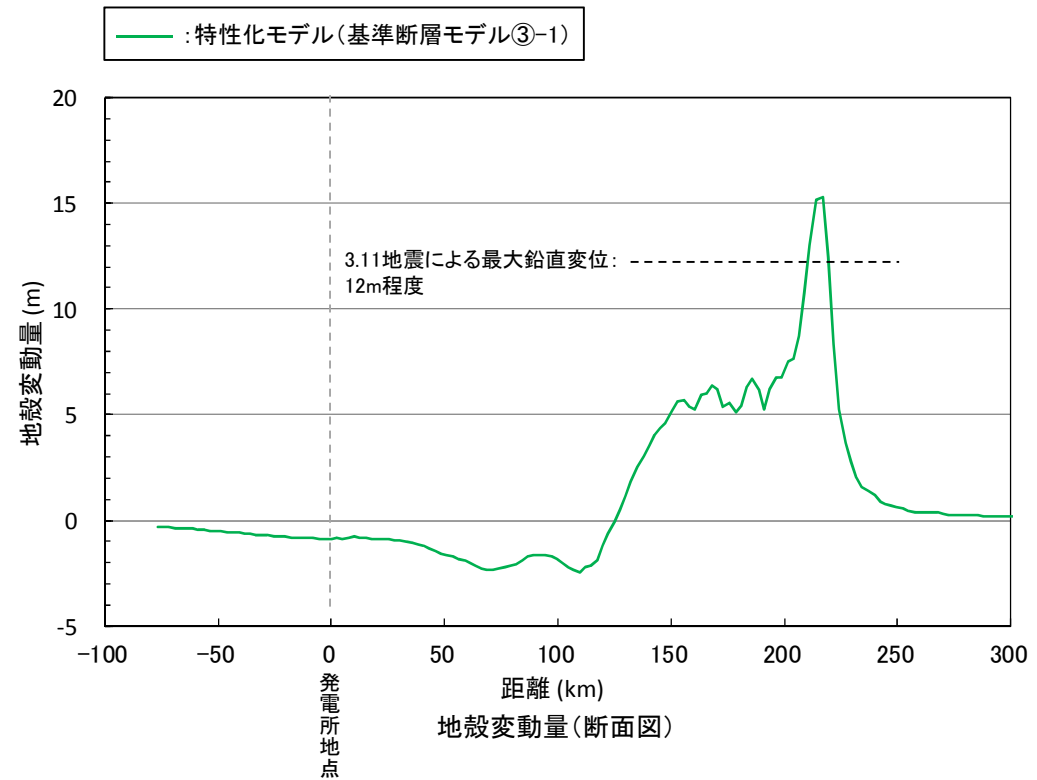
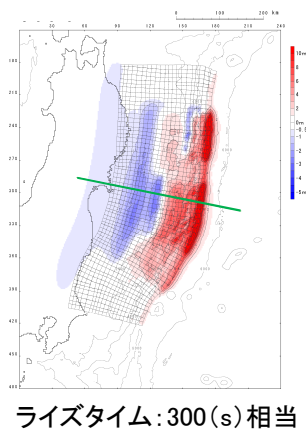
#### 3. 4. 5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定: 広域の津波特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル③)の設定②

##### ■特性化モデル(基準断層モデル③-1)と3.11地震の実現象との比較

##### (1)地殻変動量(プレート境界の破壊)の比較

- ・ 内閣府(2012)モデルと同様の条件下で算定される最大鉛直変位は15m程度であり, 3.11地震による最大鉛直変位(12m程度)を上回ることを確認した。

##### 【特性化モデル(基準断層モデル③-1)の地殻変動量分布】

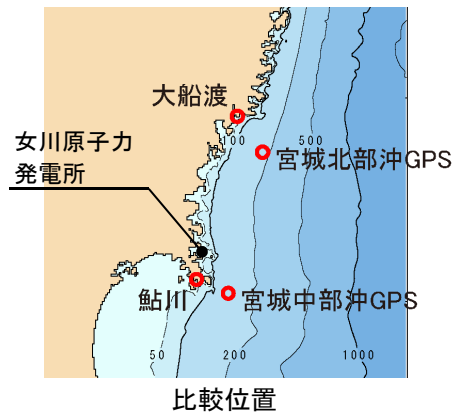


### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

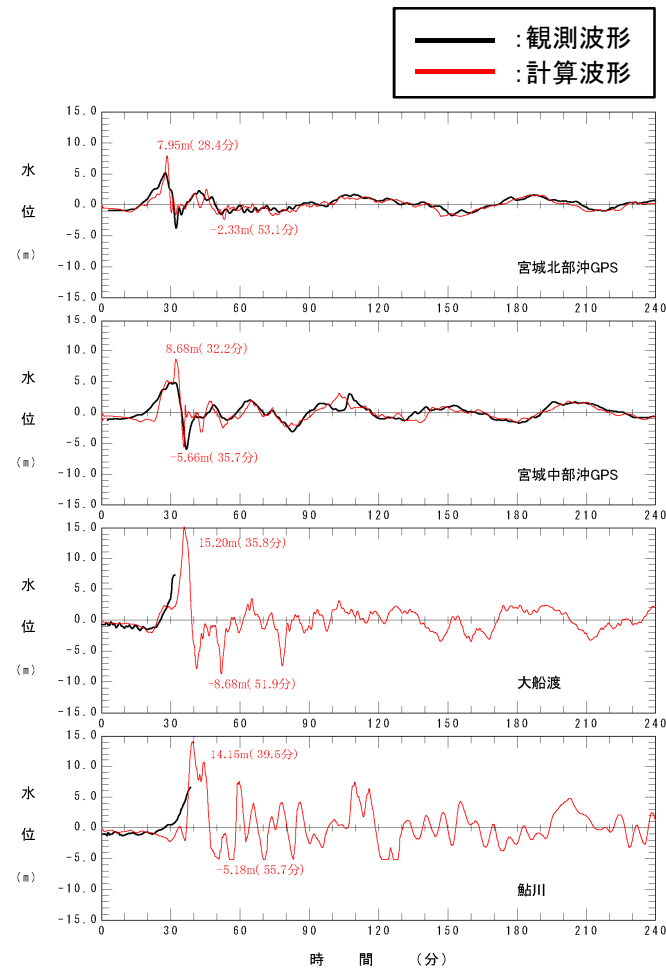
#### 3. 4. 5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定: 広域の津波特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル③)の設定②

##### (2) 沖合いの観測波形(津波伝播)の比較

- 特性化モデル(基準断層モデル③-1)の計算波形は, 発電所前面海域における3.11地震に伴う津波の観測波形を上回ることを確認した。



※:3.11地震に伴う津波の再現解析条件の詳細は, 補足説明資料「5. 津波解析条件 (p39~40)」に記載。



特性化モデル(基準断層モデル③-1)

### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

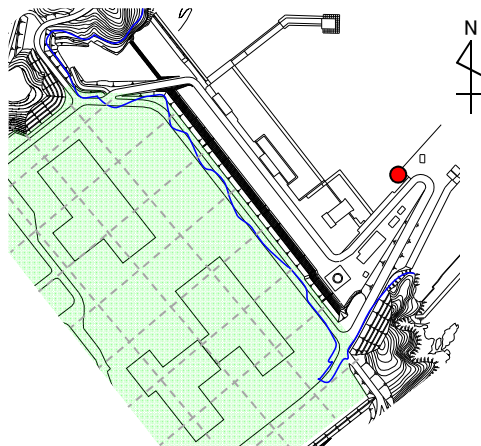
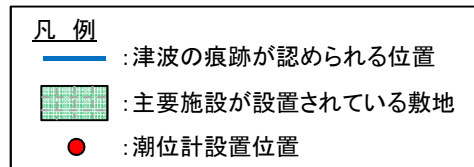
#### 3. 4. 5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定: 広域の津波特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル③)の設定②

##### (3) 発電所の津波水位(津波遡上)の比較※1

- 特性化モデル(基準断層モデル③-1)は、発電所敷地における痕跡、並びに発電所港湾内で取得した観測波形との比較から、発電所に襲来した3.11地震に伴う津波を上回ることを確認した。

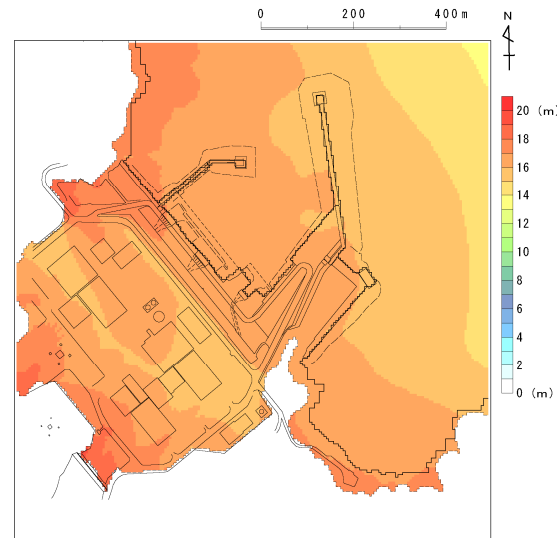
※1: 3.11地震に伴う津波の再現解析条件の詳細は、補足説明資料「5. 津波解析条件(p39～40)」に記載。

##### 【発電所敷地における痕跡調査結果】



東北電力(2011)を一部修正

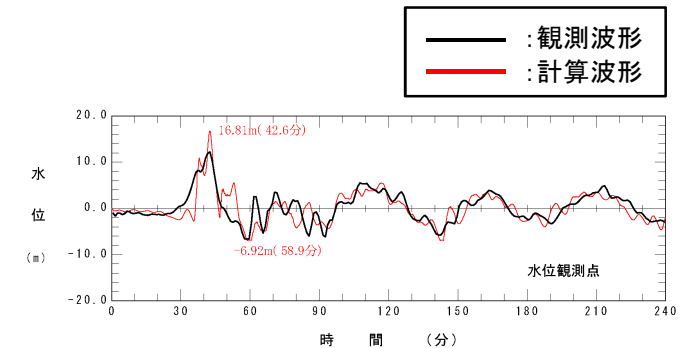
##### 【最大水位上昇量分布】



特性化モデル(基準断層モデル③-1)※2

※2: 3.11地震時の地形モデルを用いた解析結果であり、防潮堤は地形モデルに反映していないことから、敷地が浸水する結果となっている。

##### 【観測記録との比較】



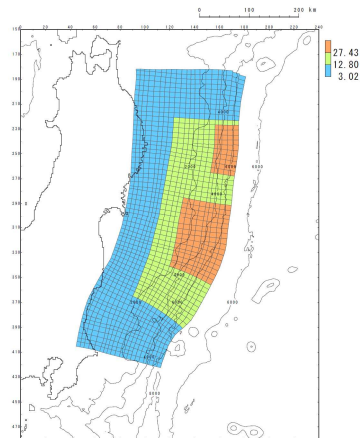
### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3. 4. 5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定: 広域の津波特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル③)の設定③

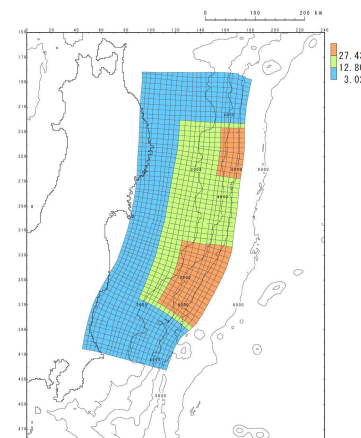
##### ■まとめ

- 広域の津波特性を考慮した特性化モデルについて、宮城県沖の超大すべり域を移動させた検討において、発電所の津波高さに最も影響を与える特性化モデル(基準断層モデル③-1)を設定した。
- 3.11地震時の宮城県沖の地殻変動量(プレート境界の破壊)、沖合いの観測波形(津波伝播)及び発電所の津波水位(津波遡上)の比較から、同モデルは、3.11地震を上回る規模のモデルであることを確認した。
- 以上の検討結果並びに宮城県沖の超大すべり域の位置の検討結果(p71~79)を踏まえ、特性化モデル(基準断層モデル③)を以下のとおり設定する。

##### 【広域の津波特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル③)】



特性化モデル(基準断層モデル③-1)  
(超大すべり域の位置:北へ約30km移動)



特性化モデル(基準断層モデル③-2)  
(超大すべり域の位置:南へ約60km移動)



### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3. 4. 5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定: 広域の津波特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル③)の設定④

##### ■津波予測計算結果

- ・ 特性化モデル(基準断層モデル③)による各評価位置の最大水位上昇量・下降量を以下に示す。
- ・ また, 水位分布・水位時刻歴波形を次頁に示す。

##### 【最大水位上昇量・下降量】

	最大水位上昇量(m)						備考 (超大すべり域の 位置)
	敷地前面	1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	1号放水口 前面	2・3号放水口 前面	
特性化モデル (基準断層モデル③-1)	18.42(北側)	17.33	17.32	17.15	16.04	16.20	北へ約30km移動
特性化モデル (基準断層モデル③-2)	15.11(北側)	14.64	14.65	14.60	13.69	14.04	南へ約60km移動

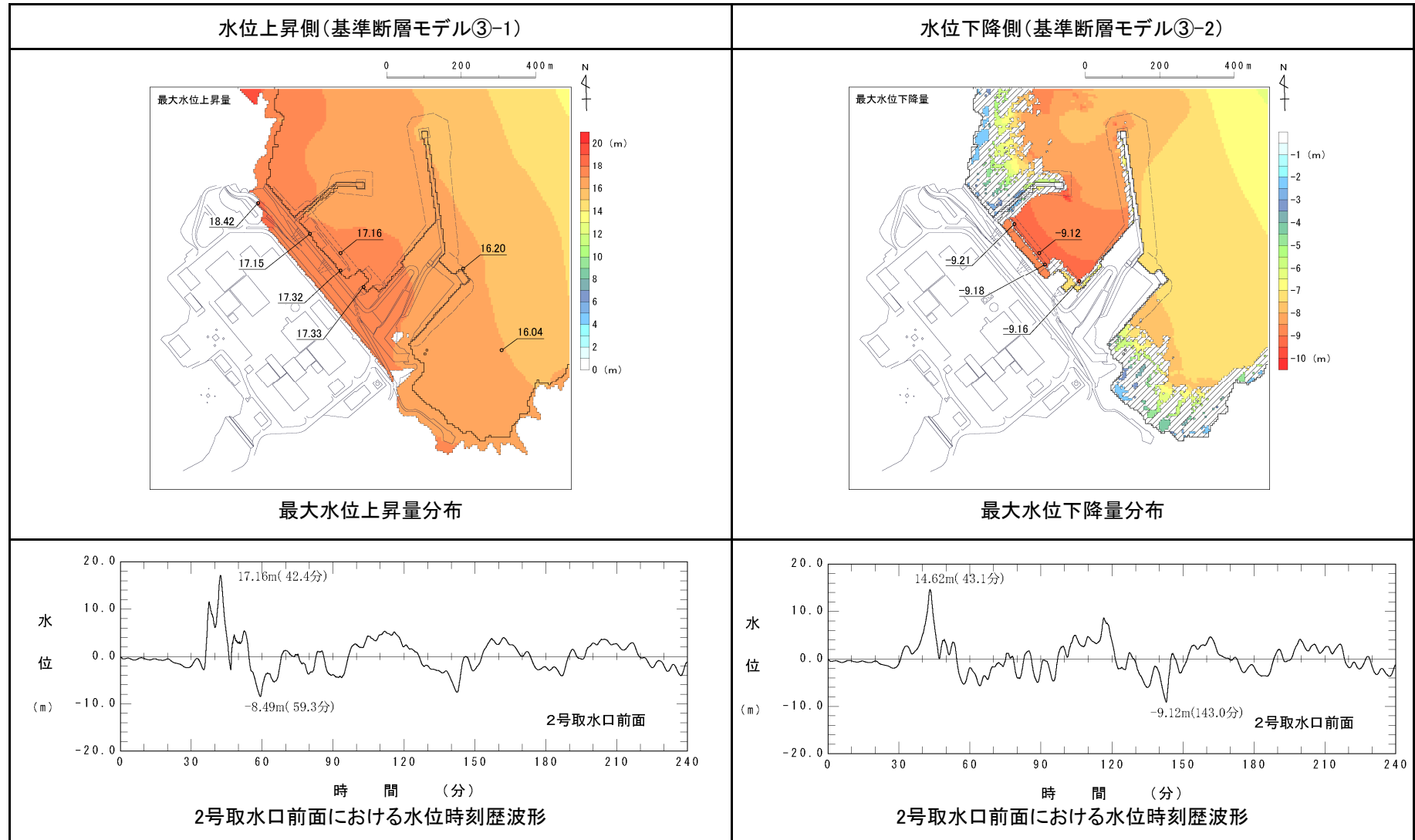
	最大水位下降量(m)			備考 (超大すべり域の 位置)
	1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	
特性化モデル (基準断層モデル③-1)	-8.53	-8.61	-8.63	北へ約30km移動
特性化モデル (基準断層モデル③-2)	-9.16	-9.18	-9.21	南へ約60km移動

※:津波解析条件の詳細は, 補足説明資料「5. 津波解析条件(p37~38)」に記載。  
また, 津波水位の評価位置の詳細は, 補足説明資料「5. 津波解析条件(p41~43)」に記載。

### 3. 4 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

## 3. 4. 5 特性化モデル(基準断層モデル)の設定: 広域の津波特性を考慮した特性化モデル(基準断層モデル③)の設定④

【水位分布及び水位時刻歴波形※】



※: 水位時刻歴波形は、2号取水口前面の中央位置に該当するメッシュで抽出(抽出位置は、補足説明資料「8. 津波水位の抽出位置(p58~59)」に記載。)

### 3. 特性化モデル(基準断層モデル)の設定

#### 3.5 まとめ

- 3.11地震から得られた知見を踏まえ、広域の津波特性をモデルに反映する観点から、3.11地震を上回る規模の特性化モデル(基準断層モデル)を設定した。

■各特性化モデル(基準断層モデル)による津波予測計算結果一覧

		最大水位上昇量(m)						備考 (大すべり域・超大すべり域の位置)
		敷地前面	1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	1号放水口 前面	2・3号 放水口前面	
宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル	基準断層モデル①-1	16.34(北側)	14.13	14.29	14.21	12.36	13.36	基準
	基準断層モデル①-2	11.80(北側)	11.20	11.31	11.34	9.75	10.84	南へ約40km移動
	基準断層モデル②-1	21.58(北側)	18.85	19.50	19.60	16.46	17.16	基準
	基準断層モデル②-2	18.19(北側)	16.44	16.71	16.57	14.08	15.75	南へ約40km移動
広域の津波特性を考慮した特性化モデル	基準断層モデル③-1	18.42(北側)	17.33	17.32	17.15	16.04	16.20	北へ約30km移動
	基準断層モデル③-2	15.11(北側)	14.64	14.65	14.60	13.69	14.04	南へ約60km移動

		最大水位下降量(m)			備考 (大すべり域・超大すべり域の位置)
		1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	
宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮した特性化モデル	基準断層モデル①-1	-7.82	-7.72	-7.75	基準
	基準断層モデル①-2	-8.81	-8.96	-9.03	南へ約40km移動
	基準断層モデル②-1	-8.80	-8.98	-9.01	基準
	基準断層モデル②-2	-8.59	-8.78	-8.80	南へ約40km移動
広域の津波特性を考慮した特性化モデル	基準断層モデル③-1	-8.53	-8.61	-8.63	北へ約30km移動
	基準断層モデル③-2	-9.16	-9.18	-9.21	南へ約60km移動

## 4. 基準断層モデルの再整理

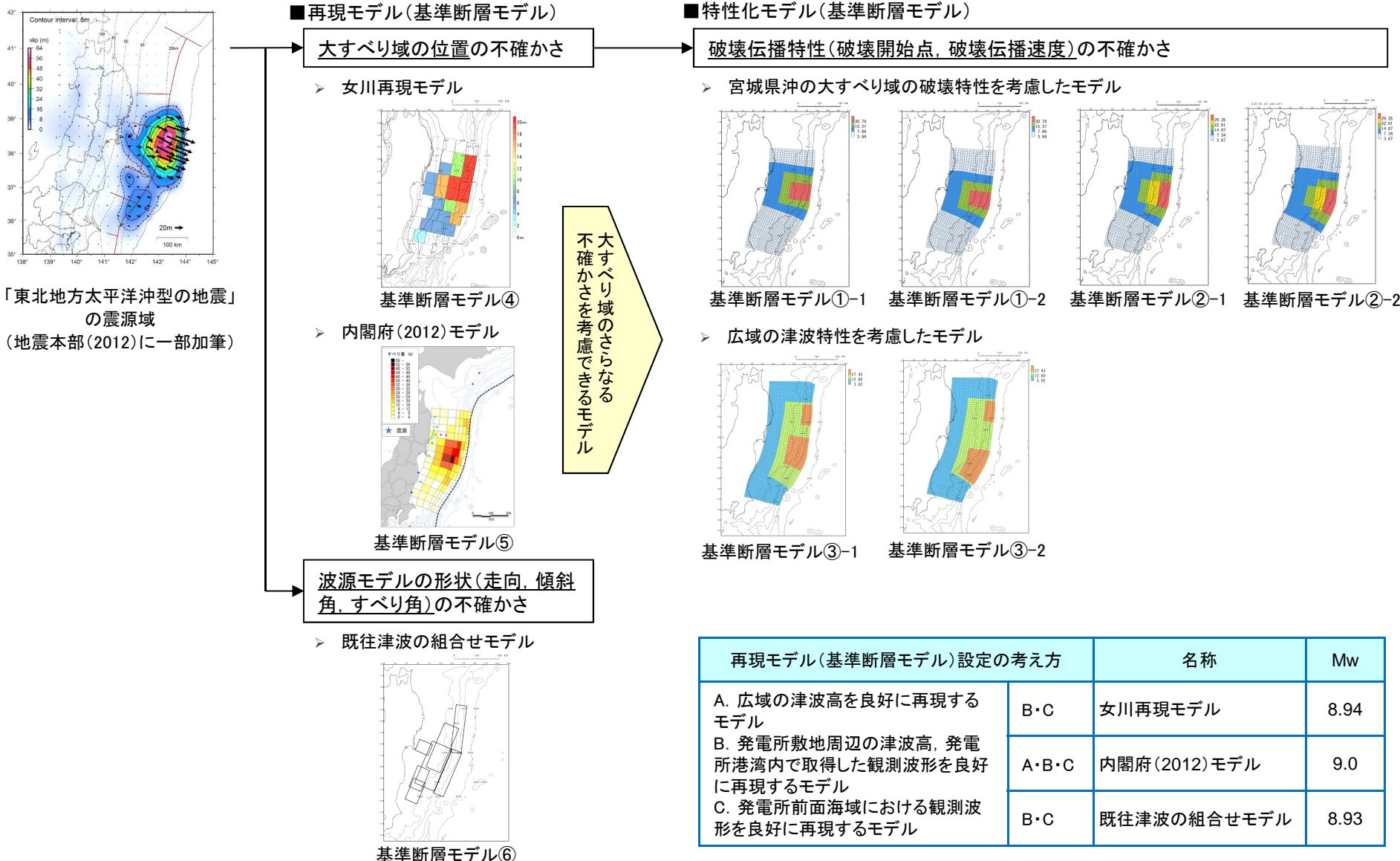
---

4. 1 再現モデル(基準断層モデル)と特性化モデル(基準断層モデル)の位置付け	.....	p108
4. 2 基準断層モデル(水位上昇側)	.....	p109
4. 3 基準断層モデル(水位下降側)	.....	p110

## 4. 基準断層モデルの再整理

### 4.1 再現モデル(基準断層モデル)と特性化モデル(基準断層モデル)の位置付け

- M9クラスの巨大地震の発生要因に応じた各波源特性の不確かさを適切に考慮するため、3.11地震の破壊現象を表すモデルとして、広域～発電所周辺の痕跡高及び観測波形を良好に再現する再現モデル(基準断層モデル)を設定するとともに、発電所の津波高さに与える影響が大きい宮城県沖の大すべり域のさらなる不確かさを考慮できるモデルとして、特性化モデル(基準断層モデル)を設定した。



「東北地方太平洋沖型の地震」の震源域 (地震本部(2012)に一部加筆)

基準断層モデル⑥

#### 4. 基準断層モデルの再整理

#### 4.2 基準断層モデル(水位上昇側)

- 波源特性の不確かさを考慮する基本となる各基準断層モデルを以下のとおり設定し、今後、各モデルの特性に応じた不確かさを考慮して、基準津波を評価する。

			最大水位上昇量(m)					
			敷地前面	1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	1号放水口 前面	2・3号 放水口前面
特性化モデル	宮城県沖の大すべり 域の破壊特性を考慮 したモデル	特性化モデル (基準断層モデル①-1)	16.34 (北側)	14.13	14.29	14.21	12.36	13.36
		特性化モデル (基準断層モデル①-2)	11.80 (北側)	11.20	11.31	11.34	9.75	10.84
		特性化モデル (基準断層モデル②-1)	21.58 (北側)	18.85	19.50	19.60	16.46	17.16
		特性化モデル (基準断層モデル②-2)	18.19 (北側)	16.44	16.71	16.57	14.08	15.75
	広域の津波特性 を考慮したモデル	特性化モデル (基準断層モデル③-1)	18.42 (北側)	17.33	17.32	17.15	16.04	16.20
		特性化モデル (基準断層モデル③-2)	15.11 (北側)	14.64	14.65	14.60	13.69	14.04
再現モデル	女川再現モデル	再現モデル (基準断層モデル④)	12.46 (北側)	12.22	12.21	12.16	11.57	11.52
	内閣府(2012)モデル	再現モデル (基準断層モデル⑤)	12.61 (北側)	12.18	12.18	12.14	12.00	12.01
	既往津波の組合せ モデル	再現モデル (基準断層モデル⑥)	13.05 (北側)	12.64	12.67	12.66	12.41	12.26
《参考》 申請時の基準津波※ ※:従来の特性化モデル(海溝側強調モデル)(=今回の基準断層 モデル②-1)に不確かさを考慮した水位			21.58 (北側)	18.85	19.50	19.60	16.46	17.16

#### 4. 基準断層モデルの再整理

##### 4.2 基準断層モデル(水位下降側)

- 波源特性の不確かさを考慮する基本となる各基準断層モデルを以下のとおり設定し、今後、各モデルの特性に応じた不確かさを考慮して、基準津波を評価する。

			最大水位下降量(m)		
			1号取水口前面	2号取水口前面	3号取水口前面
特性化モデル	宮城県沖の大すべり域の破壊特性を考慮したモデル	特性化モデル (基準断層モデル①-1)	-7.82	-7.72	-7.75
		特性化モデル (基準断層モデル①-2)	-8.81	-8.96	-9.03
		特性化モデル (基準断層モデル②-1)	-8.80	-8.98	-9.01
		特性化モデル (基準断層モデル②-2)	-8.59	-8.78	-8.80
	広域の津波特性を考慮したモデル	特性化モデル (基準断層モデル③-1)	-8.53	-8.61	-8.63
		特性化モデル (基準断層モデル③-2)	-9.16	-9.18	-9.21
再現モデル	女川再現モデル	再現モデル (基準断層モデル④)	-8.02	-8.02	-8.02
	内閣府(2012)モデル	再現モデル (基準断層モデル⑤)	-9.03	-9.15	-9.16
	既往津波の組合せモデル	再現モデル (基準断層モデル⑥)	-9.45	-9.52	-9.52
《参考》 申請時の基準津波※ ※:再現モデル(既往津波の組合せモデル)(=今回の基準断層モデル⑥) に不確かさを考慮した水位			-10.88	-10.82	-10.81

## 5. 波源特性の不確かさに関する検討 (内閣府(2012)モデル・女川再現モデル)

---

5. 1 審査会合での説明とコメント内容	.....	p112
5. 2 本説明(コメント回答)の基本方針	.....	p113
5. 3 津波予測計算結果	.....	p114
5. 4 まとめ	.....	p121

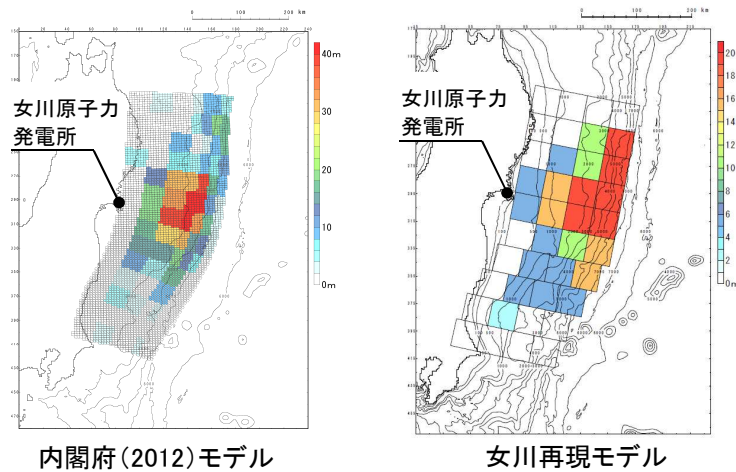


5. 波源特性の不確かさに関する検討(内閣府(2012)モデル・女川再現モデル)

5.1 審査会合での説明とコメント内容

■審査会合での説明

- 設定した基準断層モデルのうち内閣府(2012)モデル, 女川再現モデルについて, 国内外の地震学的・地質学的・測地学的知見から大すべり域の位置は宮城県沖と考えられるが, 位置の不確かさとして, 土木学会(2002)を参考として, 断層長(約500km)の1/10である約50km単位で南北に移動させた。



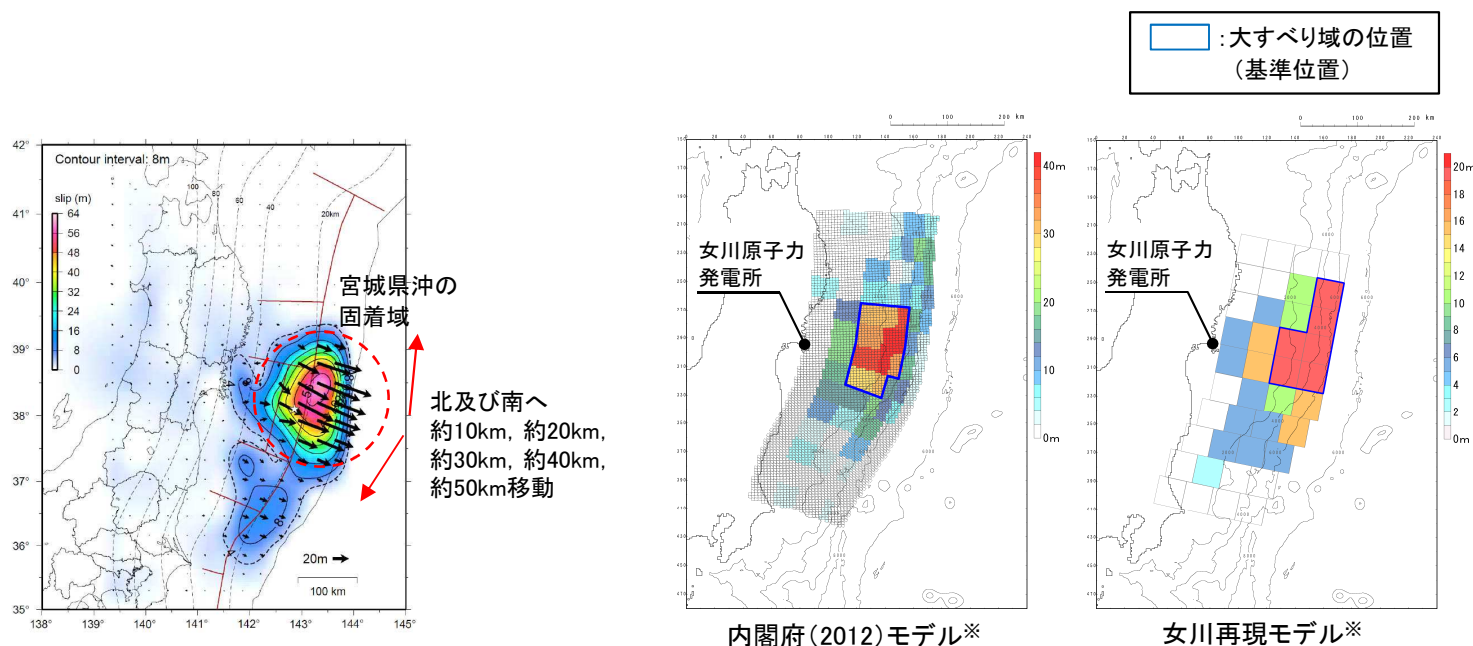
位置の変動範囲	
項目	変動範囲
位置	基準, 北へ約50km移動, 南へ約50km移動

No.	コメント時期	コメント内容
S60	1月23日 第185回審査会合	すべりの不均質性を考慮した内閣府モデル, 女川再現モデル, 特性化モデルの大すべり域が, 最も厳しい位置となっているか確認すること。

### 5. 波源特性の不確かさに関する検討(内閣府(2012)モデル・女川再現モデル)

## 5.2 本説明(コメント回答)の基本方針

- 内閣府(2012)モデル, 女川再現モデルの大すべり域の位置が, 発電所に最も影響の大きい位置であるかどうかを確認するため, 以下の追加検討を行う。
  - 宮城県沖の大すべり域(固着域)の破壊位置にゆらぎが存在する可能性(不確かさ)を考慮した検討(=10km単位で位置を移動)を実施する。
  - なお, 両モデルとも2011年東北地方太平洋沖地震における宮城県沖の破壊現象を再現するモデルであるため, 宮城県沖の領域内で検討するものとする。



大すべり域の位置の不確かさの検討範囲  
(地震調査研究推進本部(2012)に一部加筆)

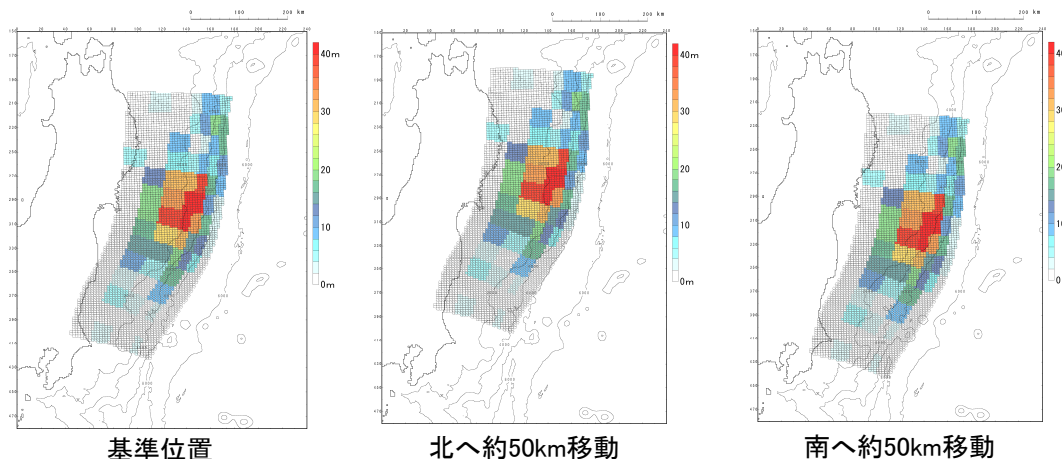
※: 各津波波源モデルの概要を補足説明資料「7. 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波の再現モデル(p49, p52)」に記載。

## 5. 波源特性の不確かさに関する検討(内閣府(2012)モデル・女川再現モデル)

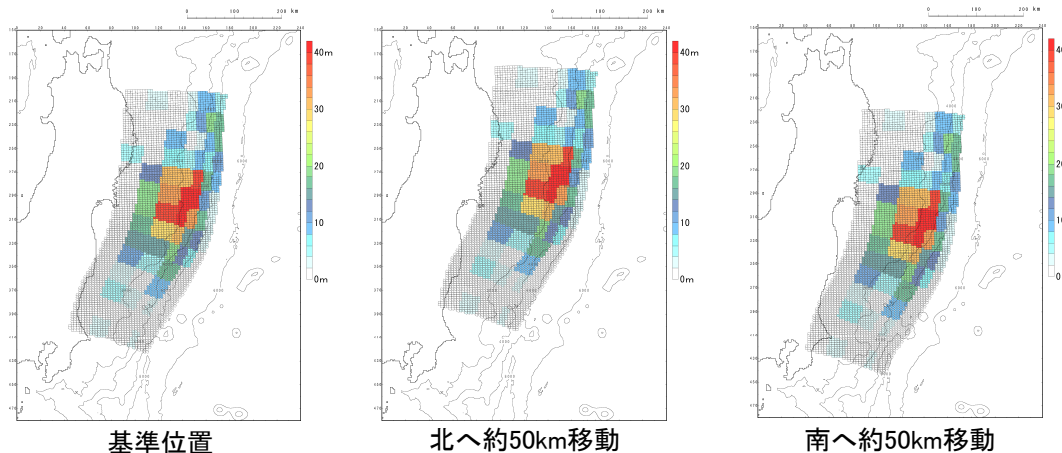
### 5.3 津波予測計算結果:内閣府(2012)モデル①

- 現状の評価は、日本海溝軸の形状を考慮せずに(走向を考慮せずに)、波源全体を北側・南側へ一律に移動させていたが、本検討では、より詳細に波源位置(大すべり域の位置)を移動させるため、日本海溝軸の形状(走向)を考慮して波源位置(大すべり域の位置)を移動させ、発電所の津波高さに最も影響を与える波源位置(大すべり域の位置)を確認した。

【審査会合での説明】



【今回の評価(一部抜粋)】



## 5. 波源特性の不確かさに関する検討(内閣府(2012)モデル・女川再現モデル)

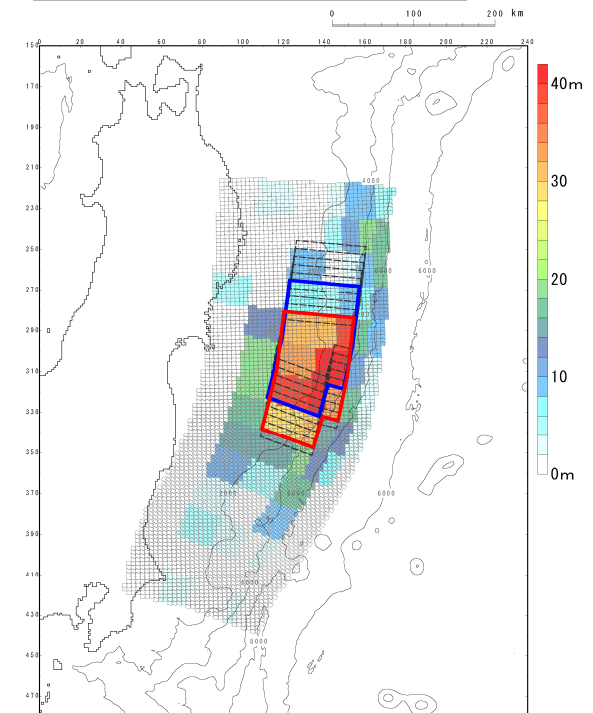
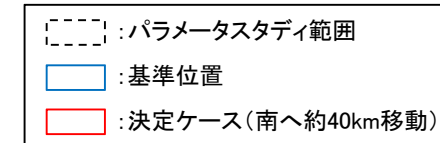
## 5.3 津波予測計算結果:内閣府(2012)モデル②

## (1) 水位上昇側

- 検討の結果, 南へ約40km移動したケースが発電所に与える影響が最も大きい位置であることを確認した。
- ただし, 申請時の基準津波(=特性化モデルによる評価結果)\*を上回るものではないことを確認した。

(単位:m)

パラメータの変動範囲	敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
位置							
北へ約50km移動	11.98(北側)	11.79	11.76	11.75	11.59	11.54	追加検討
北へ約40km移動	11.24(北側)	10.91	10.92	10.97	10.75	10.72	追加検討
北へ約30km移動	11.86(北側)	11.62	11.66	11.68	11.11	11.17	追加検討
北へ約20km移動	11.59(北側)	11.40	11.41	11.44	10.84	10.95	追加検討
北へ約10km移動	11.68(北側)	11.42	11.39	11.33	11.16	11.18	追加検討
基準	12.61(北側)	12.18	12.18	12.14	12.00	12.01	
南へ約10km移動	13.52(北側)	12.98	13.05	13.09	12.93	12.81	追加検討
南へ約20km移動	14.92(北側)	14.55	14.50	14.50	14.18	14.17	追加検討
南へ約30km移動	16.45(北側)	16.15	16.11	16.08	15.45	15.43	追加検討
南へ約40km移動	17.54(北側)	17.15	17.03	16.92	15.93	15.86	追加検討
南へ約50km移動	17.49(北側)	17.00	16.87	16.71	15.31	15.31	追加検討
(参考) 申請時の基準津波*	21.58(北側)	18.85	19.50	19.60	16.46	17.16	



検討した大すべり域の位置

\*: 特性化モデル=海溝側強調モデル, 大すべり域の位置: 基準, 破壊開始点: 基準(同時破壊)

5. 波源特性の不確かさに関する検討(内閣府(2012)モデル・女川再現モデル)

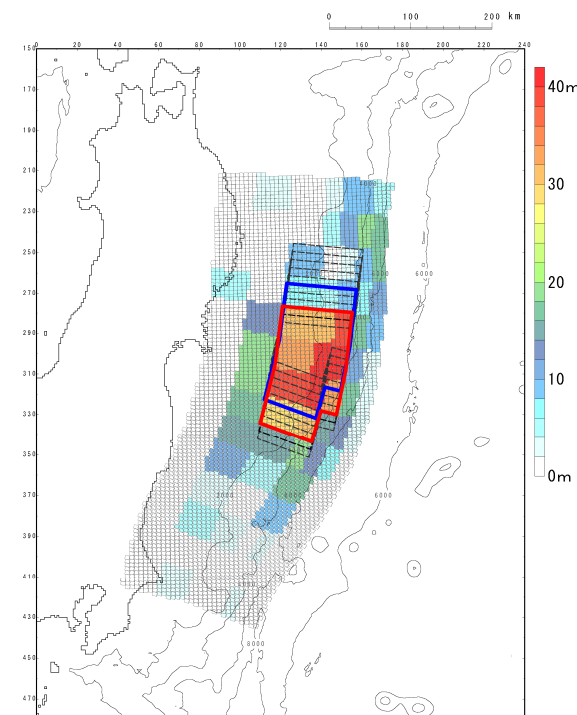
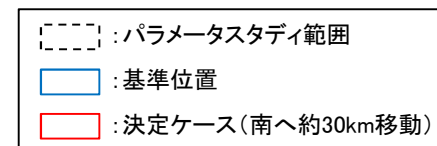
5.3 津波予測計算結果:内閣府(2012)モデル③

(2)水位下降側

- 検討の結果, 南へ約30km移動したケースが発電所に与える影響が最も大きい位置であることを確認した。
- ただし, 申請時の基準津波(=既往津波の組合せモデルによる評価結果)<sup>※1, 2</sup>を上回るものではないことを確認した。

(単位:m)

パラメータの変動範囲	1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	備考
位置				
北へ約50km移動	-8.27	-8.22	-8.23	追加検討
北へ約40km移動	-8.46	-8.50	-8.52	追加検討
北へ約30km移動	-8.83	-8.91	-8.92	追加検討
北へ約20km移動	-8.89	-8.95	-8.96	追加検討
北へ約10km移動	-8.63	-8.67	-8.64	追加検討
基準	-9.03	-9.15	-9.16	
南へ約10km移動	-9.04	-9.14	-9.19	追加検討
南へ約20km移動	-9.48	-9.61	-9.59	追加検討
南へ約30km移動	-9.80	-9.84	-9.82	追加検討
南へ約40km移動	-9.64	-9.69	-9.66	追加検討
南へ約50km移動	-9.03	-9.08	-9.10	追加検討
(参考) 申請時の基準津波 <sup>※1, 2</sup>	-10.88	-10.82	-10.81	



検討した大すべり域の位置

※1: 既往津波の組合せモデルの諸元の詳細は, 補足説明資料「7. 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波の再現モデル(p53~57)」に記載。

※2: 2号取水口前面, 3号取水口前面: 走向: 津波地震 基準+5°, プレート間地震 基準+10°, 傾斜角: 基準+5°, すべり角: 基準+10°

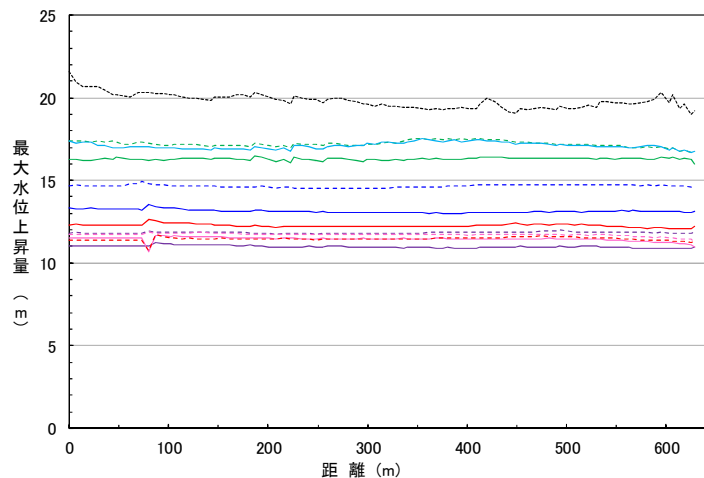
1号取水口前面: 走向: 津波地震 基準+5°, プレート間地震 基準+10°, 傾斜角: 基準+5°, すべり角: 基準

5. 波源特性の不確かさに関する検討(内閣府(2012)モデル・女川再現モデル)

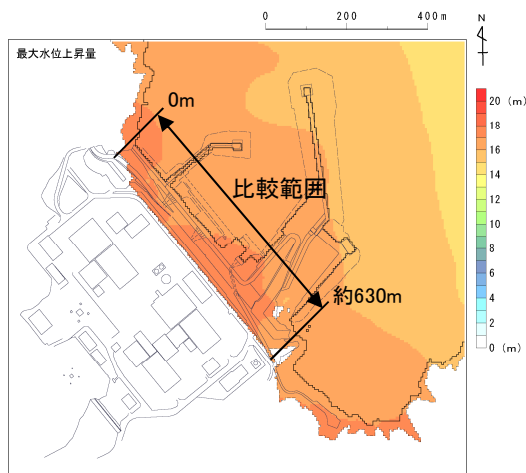
5.3 津波予測計算結果:内閣府(2012)モデル④

- 各ケースの敷地前面(南北方向)における最大水位上昇量及び取水口前面(南北方向)における最大水位下降量の比較を下図に示す。
- 水位上昇側, 水位下降側ともに, 申請時の基準津波水位に対して小さいことを確認した。

■水位上昇側

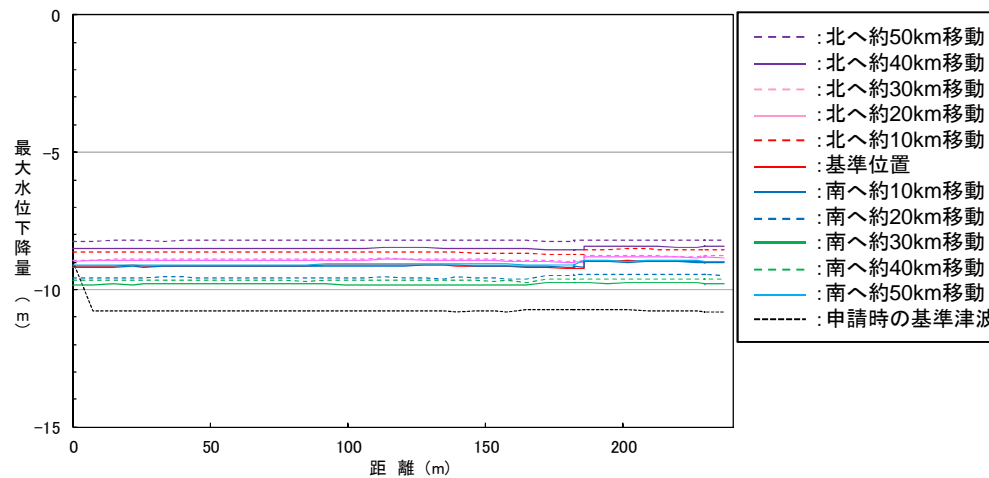


敷地前面における最大水位上昇量の比較

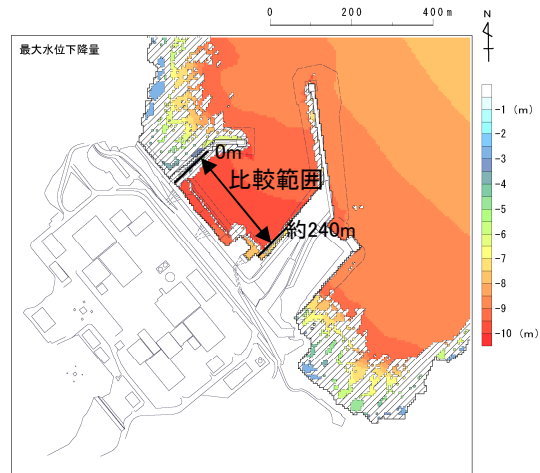


最大水位上昇量分布  
(南へ約40km移動)

■水位下降側



取水口前面における最大水位下降量の比較



最大水位下降量分布  
(南へ約30km移動)

5. 波源特性の不確かさに関する検討(内閣府(2012)モデル・女川再現モデル)

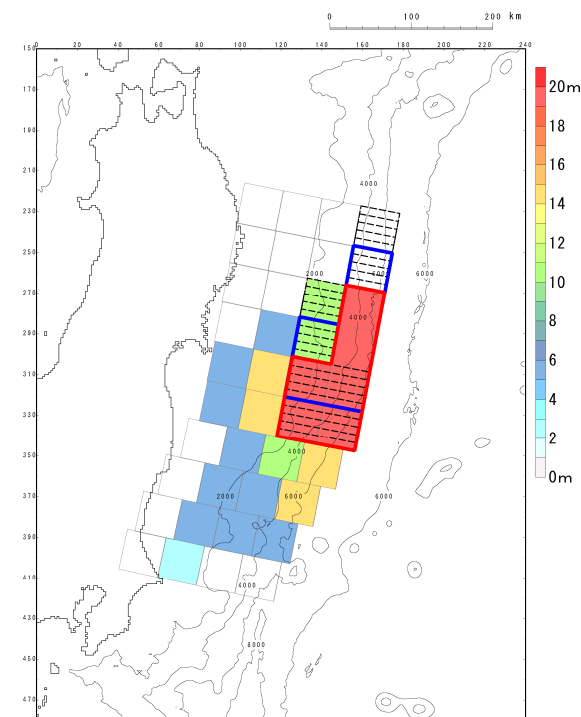
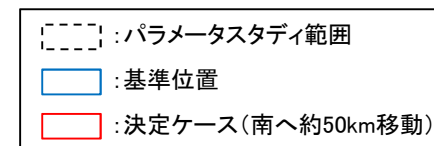
5.3 津波予測計算結果:女川再現モデル①

(1)水位上昇側

- 検討の結果, 不確かさケースとして検討していた南へ約50km移動したケースが発電所に与える影響が最も大きい位置であることを確認した。
- ただし, 申請時の基準津波(=特性化モデルによる評価結果)\*を上回るものではないことを確認した。

(単位:m)

パラメータの変動範囲 位置	敷地前面	1号 取水口 前面	2号 取水口 前面	3号 取水口 前面	1号 放水口 前面	2・3号 放水口 前面	備考
	北へ約50km移動	10.29(北側)	10.13	10.15	10.15	9.46	
北へ約40km移動	12.41(北側)	12.11	12.15	12.14	11.09	11.20	追加検討
北へ約30km移動	11.85(北側)	11.71	11.73	11.66	10.69	10.81	追加検討
北へ約20km移動	11.84(北側)	11.56	11.58	11.58	10.79	10.80	追加検討
北へ約10km移動	12.16(北側)	11.82	11.88	11.88	11.19	11.16	追加検討
基準	12.46(北側)	12.22	12.21	12.16	11.57	11.52	
南へ約10km移動	12.69(北側)	12.35	12.31	12.29	11.80	11.68	追加検討
南へ約20km移動	12.90(北側)	12.59	12.60	12.62	12.27	12.10	追加検討
南へ約30km移動	13.83(北側)	13.44	13.41	13.39	13.26	13.09	追加検討
南へ約40km移動	15.07(北側)	14.23	14.35	14.37	14.39	14.06	追加検討
南へ約50km移動	15.89(南側)	15.00	15.22	15.24	15.22	14.78	
(参考) 申請時の基準津波*	21.58(北側)	18.85	19.50	19.60	16.46	17.16	



検討した大すべり域の位置

\*: 特性化モデル=海溝側強調モデル, 大すべり域の位置: 基準, 破壊開始点: 基準(同時破壊)

5. 波源特性の不確かさに関する検討(内閣府(2012)モデル・女川再現モデル)

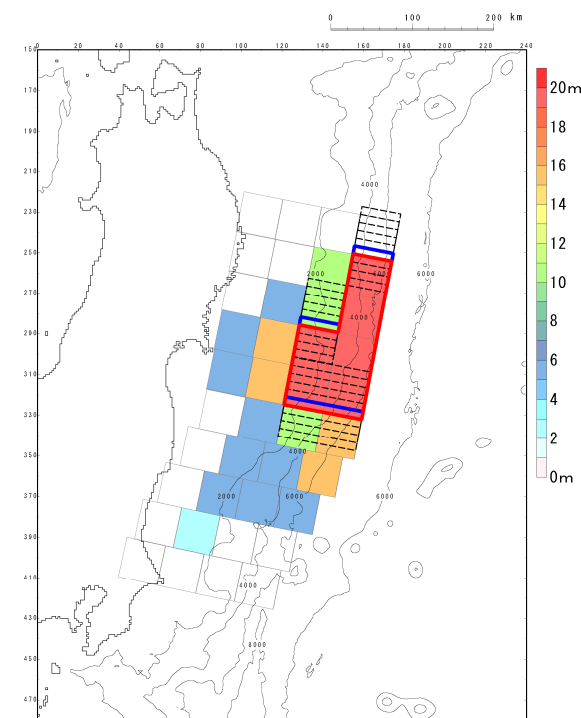
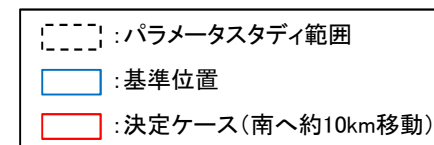
5.3 津波予測計算結果:女川再現モデル②

(2) 水位下降側

- 検討の結果, 南へ約10km移動したケースが発電所に与える影響が最も大きい位置であることを確認した。
- ただし, 申請時の基準津波(=既往津波の組合せモデルによる評価結果) ※1, 2を上回るものではないことを確認した。

(単位:m)

パラメータの変動範囲	1号取水口 前面	2号取水口 前面	3号取水口 前面	備考
位置				
北へ約50km移動	-7.00	-6.99	-6.89	
北へ約40km移動	-6.88	-7.09	-6.97	追加検討
北へ約30km移動	-6.29	-6.08	-6.08	追加検討
北へ約20km移動	-5.21	-5.28	-5.31	追加検討
北へ約10km移動	-6.82	-6.71	-6.74	追加検討
基準	-8.02	-8.02	-8.02	
南へ約10km移動	-8.16	-8.25	-8.34	追加検討
南へ約20km移動	-7.80	-7.77	-7.75	追加検討
南へ約30km移動	-6.88	-6.75	-6.72	追加検討
南へ約40km移動	-7.01	-7.08	-7.05	追加検討
南へ約50km移動	-7.42	-7.49	-7.52	
(参考) 申請時の基準津波※1, 2	-10.88	-10.82	-10.81	



検討した大すべり域の位置

※1: 既往津波の組合せモデルの諸元の詳細は, 補足説明資料「7. 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波の再現モデル(p53~57)」に記載。

※2: 2号取水口前面, 3号取水口前面: 走向: 津波地震 基準+5°, プレート間地震 基準+10°, 傾斜角: 基準+5°, すべり角: 基準+10°

1号取水口前面: 走向: 津波地震 基準+5°, プレート間地震 基準+10°, 傾斜角: 基準+5°, すべり角: 基準

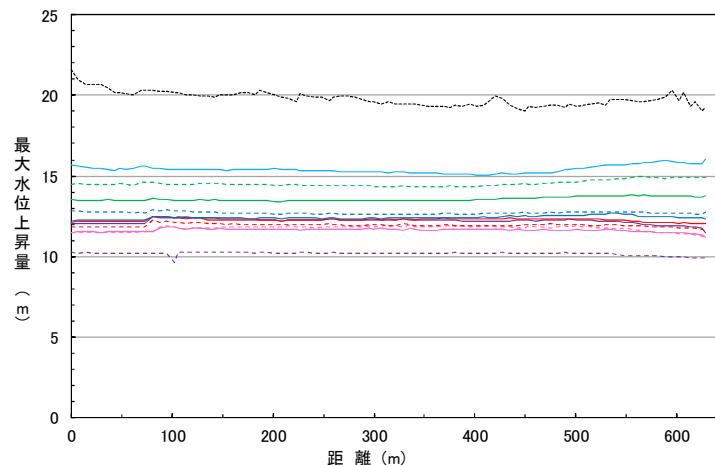


### 5. 波源特性の不確かさに関する検討(内閣府(2012)モデル・女川再現モデル)

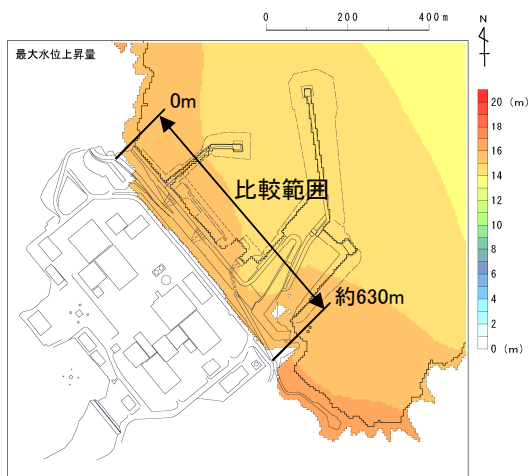
#### 5.3 津波予測計算結果:女川再現モデル③

- 各ケースの敷地前面(南北方向)における最大水位上昇量及び取水口前面(南北方向)における最大水位下降量の比較を下図に示す。
- 水位上昇側, 水位下降側ともに, 申請時の基準津波水位に対して小さいことを確認した。

■水位上昇側

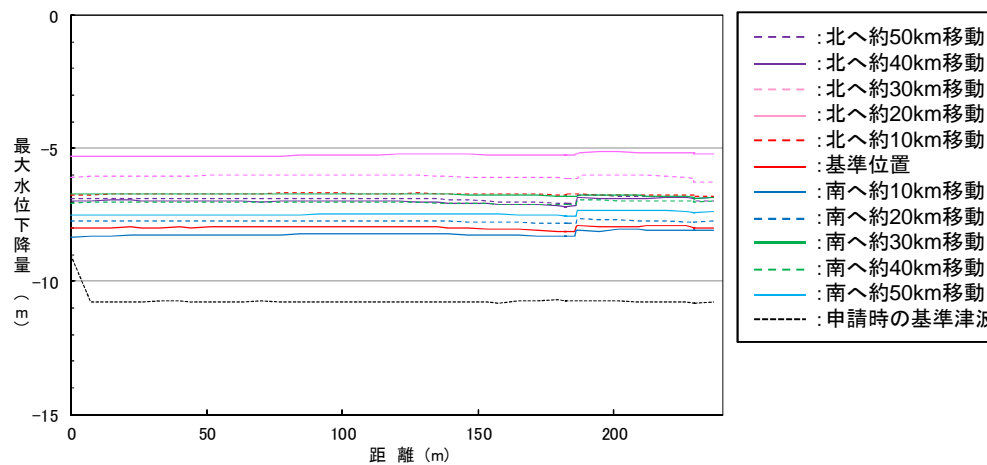


敷地前面における最大水位上昇量の比較

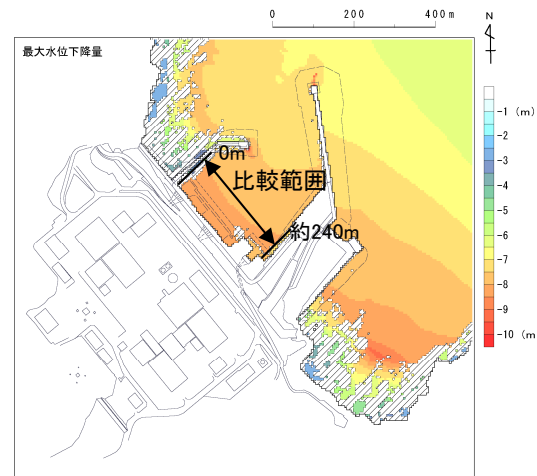


最大水位上昇量分布  
(南へ約50km移動)

■水位下降側



取水口前面における最大水位下降量の比較



最大水位下降量分布  
(南へ約10km移動)

## 5. 波源特性の不確かさに関する検討(内閣府(2012)モデル・女川再現モデル)

### 5.4 まとめ

No.	コメント時期	コメント内容
S60	1月23日 第185回審査会合	すべりの不均質性を考慮した内閣府モデル, 女川再現モデル, 特性化モデルの大すべり域が, 最も厳しい位置となっているか確認すること。



- 内閣府(2012)モデル, 女川再現モデルの大すべり域の位置が, 発電所に最も影響の大きい位置であるかどうかを確認するため, 大すべり域の破壊位置にゆらぎが存在する可能性(不確かさ)を考慮した検討(=10km単位で位置を移動)を実施した。
- 検討の結果, 発電所に最も影響が大きい大すべり域位置は, 両モデルともに, 3.11地震の大すべり域と異なる位置であるものの, 申請時の基準津波水位を上回るものではないことを確認した。

## 参考文献

---

## 参考文献①

- (1)地震調査研究推進本部地震調査委員会(2012):三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について
- (2)地震調査研究推進本部地震調査委員会(2014a):全国地震動予測地図 2014年版 ~全国の地震動ハザードを概観して~ 付録-1
- (3) Kenji Satake, Yushiro Fujii, Tomoya Harada, and Yuichi Namegaya(2013): Time and Space Distribution of Coseismic Slip of the 2011 Tohoku Earthquake as Inferred from Tsunami Waveform Data, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 103, No. 2B, pp. 1473-1492, doi: 10.1785/0120120122
- (4) 杉野英治・呉長江・是永真理子・根本信・岩渕洋子・蛭沢勝三(2013):原子力サイトにおける2011東北地震津波の検証, 日本地震工学会論文集, 第13巻, 第2号(特集号)
- (5) Tetsuzo Seno (2014): Stress drop as a criterion to differentiate subduction zones where Mw 9 earthquakes can occur, Tectonophysics 621, 198-210
- (6)内閣府中央防災会議事務局(2005):資料1 中央防災会議 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会(第10回) 強震動及び津波高さの推計について
- (7)地震調査研究推進本部(2014b):地震がわかる!
- (8)JAMSTEC(2011):東北地方太平洋沖地震、震源域南限の地下構造, プレスリリース
- (9)長谷川昭・中島淳一・内田直希・弘瀬冬樹・北左枝子・松澤暢(2010):日本列島下のスラブの三次元構造と地震活動, 地学雑誌, 第119巻, 第2号, pp.190-204
- (10)気象庁(2009):2008年7月19日福島県沖の地震(M6.9)について, 地震予知連絡会 会報, 第81巻, 3-21
- (11)文部科学省研究開発局・国立大学法人東北大学大学院理学研究科・国立大学法人東京大学地震研究所・独立行政法人産業技術総合研究所(2010):宮城県沖地震における重点的調査観測総括成果報告書, 390pp
- (12)佐竹健治・行谷佑一・山木滋(2008):石巻・仙台平野における869年貞観津波の数値シミュレーション, 活断層・古地震研究報告, No.8, pp.71-89
- (13)西村卓也(2012):測地観測データに基づく東北日本の最近120年間の地殻変動, 地質学雑誌, 第118巻, 第5号, pp.278-293
- (14) Shinzaburo Ozawa, Takuya Nishimura, Hiroshi Munekane, Hisashi Suito, Tomokazu Kobayashi, Mikio Tobita and Tetsuro Imakiire(2012):Preceding, coseismic, and postseismic slips of the 2011 Tohoku earthquake, Japan, Journal of Geophysical Research, Vol.177, B07404, DOI: 10.1029/2011JB009120
- (15) Yusuke Yokota, Kazuki Koketsu(2015): very long-term transient event preceding the 2011 Tohoku earthquake, NATURE COMMUNICATIONS, DOI: 10.1038/ncomms6934
- (16) Lingling Ye, Thorne Lay, and Hiroo Kanamori(2012): The Sanriku-Oki low-seismicity region on the northern margin of the great 2011 Tohoku-Oki earthquake rupture, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 117, B02305, doi:10.1029/2011JB008847
- (17) Naoki Uchida and Toru Matsuzawa(2011): Coupling coefficient, hierarchical structure, and earthquake cycle for the source area of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake inferred from small repeating earthquake data, Earth Planets Space, 63, 675-679
- (18)Yamanaka, Y. and M. Kikuchi(2004):Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan inferred from regional seismic data, J. Geophys. Res., 109, B07307, doi:10.1029/2003JB002683

## 参考文献②

- (19) 佐竹健治(2011): 日本海溝の巨大地震のスーパーサイクル, 地震予知連絡会 会報, 第86巻, 3-15
- (20) Naoki Uchida, Junichi Nakajima, Akira Hasegawa, Toru Matsuzawa(2009): What controls interplate coupling?: Evidence for abrupt change in coupling across a border between two overlying plates in the NE Japan subduction zone, *Earth and Planetary Science Letters* 283,111-121
- (21) Masanao Shinohara, Tomoaki Yamada, Kazuo Nakahigashi, Shin'ichi Sakai, Kimihiro Mochizuki, Kenji Uehira, Yoshihiro Ito, Ryusuke Azuma, Yuka Kaiho, Tetsuo No, Hajime Shiobara, Ryota Hino, Yoshio Murai, Hiroshi Yakiwara, Toshinori Sato, Yuya Machida, Takashi Shinbo, Takehi Isse, Hiroki Miyamachi, Koichiro Obana, Narumi Takahashi, Shuichi Kodaira, Yoshiyuki Kaneda, Kenji Hirata, Sumio Yoshikawa, Kazushige Obara, Takaya Iwasaki, and Naoshi Hirata(2011): Aftershock observation of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake by using ocean bottom seismometer network, *Earth Planets Space*, 63, 835-840
- (22) Thorne Lay, Hiroo Kanamori, Charles J. Ammon, Meredith Nettles, Steven N. Ward, Richard C. Aster, Susan L. Beck, Susan L. Bilek, Michael R. Brudzinski, Rhett Butler, Heather R. DeShon, Goran Ekstrom, Kenji Satake, Stuart Sipkin(2005): The Great Sumatra-Andaman Earthquake of 26 December 2004, *SCIENCE*, VOL 308, 1127-1132
- (23) Cecep Subarya, Mohamed Chlieh, Linette Prawirodirdjo, Jean-Philippe Avouac, Yehuda Bock, Kerry Sieh, Aron J. Meltzner, Danny H. Natawidjaja & Robert McCaffrey(2006): Plate-boundary deformation associated with the great Sumatra-Andaman earthquake, *ARTICLES, NATURE*, Vol 440, doi:10.1038
- (24) 木村学(2002): プレート収束帯のテクトニクス学, 東京大学出版会
- (25) Robert McCaffrey(2009): The Tectonic Framework of the Sumatran Subduction Zone, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Vol. 37,345-366, DOI: 10.1146/annurev.earth.031208.100212
- (26) 小山順二・都筑基博・蓬田清(2012): 斜め衝突帯の巨大地震(1) 相模トラフ, 北海道大学地球物理学研究報告, No.75, pp.161-174
- (27) Susan L. Bilek(2010): The role of subduction erosion on seismicity, *Geology*, Vol.38, pp.479-480
- (28) Seiichi Miura, Narumi Takahashi, Ayako Nakanishi, Tetsuro Tsuru, Shuichi Kodaira, Yoshiyuki Kaneda(2005): Structural characteristics off Miyagi forearc region, the Japan Trench seismogenic zone, deduced from a wide-angle reflection and refraction study, *Tectonophysics* 407, pp.165-188
- (29) Kusala Rajendran(2013): On the recurrence of great subduction zone earthquakes, *CURRENT SCIENCE*, VOL.104, NO.7, pp.880-892
- (30) 西村卓也(2013): 測地データから推定された環太平洋地域のプレート間カップリング, 地震予知連絡会 会報, 第89巻, 12-15
- (31) Junji Koyama, Kazunori Yoshizawa, Kiyoshi Yomogida, and Motohiro Tsuzuki(2012): Variability of megathrust earthquakes in the world revealed by the 2011 Tohoku-oki Earthquake, *Earth Planets Space*, 64, pp.1189-1198
- (32) YOSHINOBU TSUJI, KENJI SATAKE, TAKEO ISHIBE, TOMOYA HARADA, AKIHITO NISHIYAMA, and SATOSHI KUSUMOTO(2014): Tsunami Heights along the Pacific Coast of Northern Honshu Recorded from the 2011 Tohoku and Previous Great Earthquakes, *Pure and Applied Geophysics*
- (33) 内閣府(2012a): 南海トラフの巨大地震モデル検討会(第12回), 参考資料1 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の津波断層モデルについて
- (34) 内閣府(2012b): 南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について(第一次報告) 巻末資料, 南海トラフの巨大地震モデル検討会
- (35) Changjiang Wu, Hideaki Tsutsumi, Hongjun Si, Yusuke Saijo(2012): Rupture Process of the 2011Mw9.0 Tohoku Earthquake And Strong Motion Simulation from the Viewpoint of NPP Seismic Design, 15th World Conference on Earthquake Engineering

## 参考文献③

---

- (36) Satoko Murotani, Kenji Satake, Yushiro Fujii (2013) : Scaling relations of seismic moment, rupture area, average slip, and asperity size for  $M \sim 9$  subduction zone earthquakes, *Geophysical Research Letters*, Vol.40, pp.5070–5074
- (37) 社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価部会 (2002) : 原子力発電所の津波評価技術
- (38) Toshiya Fujiwara, Shuichi Kodaira, Tetsuo No, Yuka Kaiho, Narumi Takahashi, Yoshiyuki Kaneda (2011) : The 2011 Tohoku–Oki Earthquake: Displacement Reaching the Trench Axis, *SCIENCE*, VOL 334
- (39) 東北電力株式会社 (2011) : 女川原子力発電所における平成23年東北地方太平洋沖地震により発生した津波の調査結果に係る報告書, 2011年7月
- (40) 杉野英治・岩渕洋子・橋本紀彦・松末和之・蛭澤勝三・亀田弘行・今村文彦 (2014) : プレート間地震による津波の特性化波源モデルの提案, *日本地震工学会論文集*, 第14巻, 第5号
- (41) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ (2012) : 痕跡調査結果 (2012年10月3日リリース版), <http://www.coastal.jp/ttjt/>
- (42) 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫 (1998) : GISを利用した津波遡上計算と被害推定法, *海岸工学論文集*, 第45巻, pp.356–360
- (43) Mansinha, L. and D.E. Smylie (1971) : The displacement fields of inclined faults, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.61, No.5, pp.1433–1440