

**伊方発電所 3号炉
津波の評価について コメント回答(6)**

**平成26年3月12日
四国電力株式会社**

コメント日	コメント内容
8/16 ヒアリング	地震調査研究推進本部が想定した、より長い連動などを基本モデルとして考慮した津波評価について
8/21 審査会合	より長い連動を考慮したモデルの重畳及び基準津波への反映について
	断層がステップしている場所における局地的な隆起・沈降を考慮した津波評価について
	断層の不均質な破壊を考慮し、地震動評価上の断層モデルとの整合性について
	基準津波の策定における南海トラフの巨大地震に伴う津波に関する波長に着目した施設影響の検討について
	地盤変動量の取り扱いについて
	防災科学技術研究所の地すべり地形について
	重畳津波における時間差の考え方について
	水平渦動粘性係数を0とした場合の影響について
10/23 2/20 審査会合	南海トラフから南西諸島までの連動を考慮した津波評価について …本日回答分
	断層がステップしている場所における局地的な隆起・沈降を考慮した津波評価について
	断層の不均質な破壊を考慮し、地震動評価上の断層モデルとの整合性について
	重畳津波の時間差(主要動継続時間)の検討について

目次

I. 南海トラフから南西諸島までの連動を考慮した津波評価について	1
1. 南海トラフ～琉球海溝での分析	3
(1) 固着域に関する分析	5
(2) 破壊伝播の検討	27
(3) 南海トラフ～琉球海溝での分析のまとめ	33
2. 津波評価	35
(1) 波源の設定	35
(2) 計算結果	43
参考1 発電所を波源と仮定した津波計算による伝播特性に関する考察	48
II. まとめ(基準津波の策定方針)	59
別紙1 基準津波における砂移動に対する評価(補足)	62

1. 南海トラフから南西諸島までの連動を考慮した 津波評価について

検討方針

- 内閣府の「南海トラフの巨大地震モデル検討会」において、南海トラフでは、最大クラスの津波波源モデル(Mw9.1)が設定されているが、審査ガイドにおいて、「この海域のテクトニクス背景は2004年スマトラ島沖地震と類似していることから、津波波源の領域は、南海トラフから南西諸島海溝まで含めた領域が対象」と記載されている。
- このことを踏まえ、2004年スマトラ沖地震をはじめとする世界の超巨大地震の発生地域において、地震との関連性が高い「プレート境界面の固着域」に着目した分析を行い、その科学的・技術的知見等に基づき、南海トラフ～南西諸島海溝(以降、「琉球海溝」という)において、不確かさを考慮した津波波源を想定するとともに、琉球海溝に関する知見の収集状況を踏まえ、認識論的不確かさを補う観点(想定外の事象を無くす観点)から、津波評価を実施することとした。

1. 南海トラフ～琉球海溝での分析

【固着域に関する分析】

- 世界の超巨大地震の発生地域において、「プレート境界面の固着域」に着目した分析を実施
- その科学的・技術的知見に基づき、南海トラフ～琉球海溝での固着域を評価

【破壊伝播の検討】

- 固着域の評価結果に、構造的境界に関する知見の分析結果を加え、破壊伝播の可能性を検討

2. 津波評価

【波源の設定】

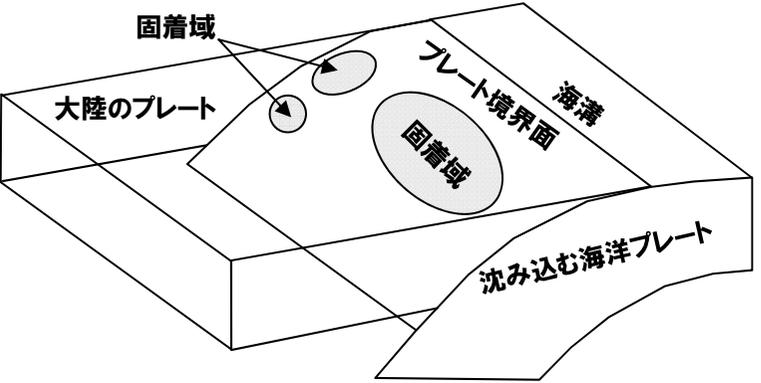
- 認識論的不確かさを補う観点から波源を設定(種子島東方沖から奄美群島太平洋沖(南部)までの断層が連動する津波波源(Mw9.0)を考慮)

【津波計算】

- 数値シミュレーションにより、津波計算を実施。敷地への影響を評価



プレート間地震に起因する津波波源の対象領域(審査ガイド)



プレート境界面の固着域の模式図 (津波の辞典(朝倉書店)を基に作成)

1. 南海トラフ～琉球海溝での分析

(1) 固着域に関する分析

(2) 破壊伝播の検討

(3) 南海トラフ～琉球海溝での分析のまとめ

2. 津波評価

(1) 波源の設定

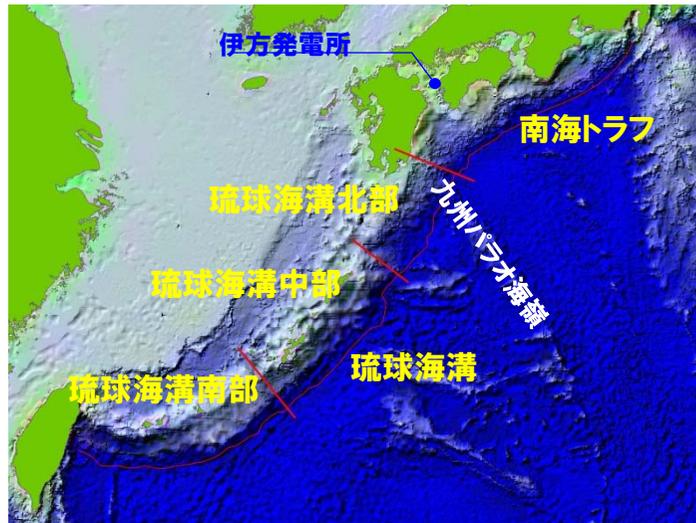
(2) 計算結果

(1) 固着域に関する分析

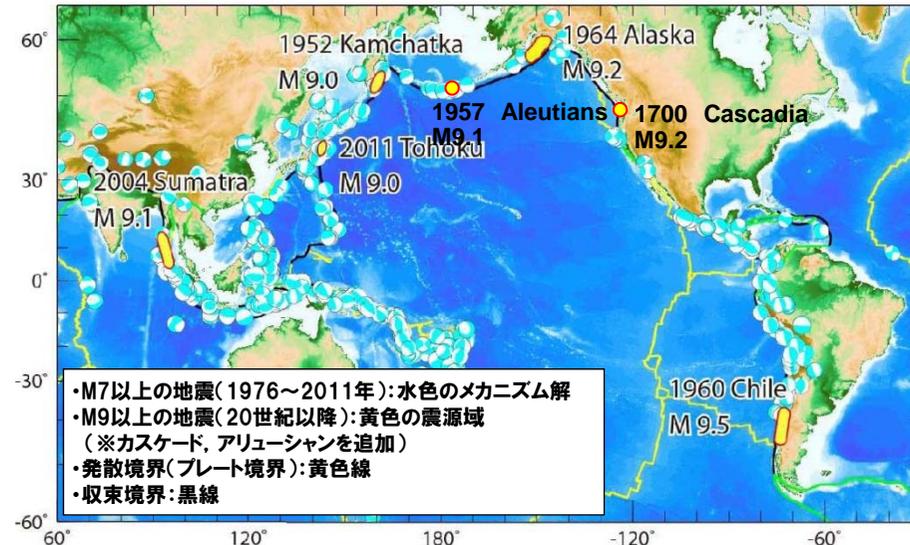
- 世界の超巨大地震の発生地域において、「プレート境界面の固着域」に着目した分析を実施する。
- その科学的・技術的知見に基づき、南海トラフ～琉球海溝での固着域を評価する。

(1) 固着域に関する分析

- 南海トラフ～琉球海溝について、垣見(2003)の地震地体構造区分等を参考に、4領域(南海トラフ, 琉球海溝北部, 琉球海溝中部, 琉球海溝南部)に区分し、各領域での固着域を評価した。
- 固着域の評価においては、(ア)地震履歴, (イ)テクトニクス等の情報に着目し、南海トラフ～琉球海溝と世界の超巨大地震(Mw9.0以上)の発生地域との比較・分析を行い、超巨大地震を発生させるような大規模な固着域の存否等を検討した。



南海トラフ～琉球海溝における領域区分

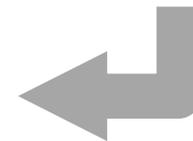


Global CMT による M \geq 7の地震 (佐竹(2012)に加筆)

・世界の超巨大地震(Mw9.0以上)の発生地域として、チリ、カスケード(カナダ・北米)、アラスカ、カムチャツカ、東北、スマトラが挙げられる。

固着域に関する分析における検討項目

		南海トラフ	琉球海溝
(ア) 地震履歴		P8～P13	
(イ) テクトニクス等の情報	① 測地学的検討	P14～P19	
	② 沈み込み帯の特徴	P20～P24	
評価結果		P25～P26	



(ア) 地震履歴

(ア) 地震履歴 (巨大地震の発生有無)

- 世界の超巨大地震の発生地域において、津波堆積物調査等による知見を踏まえた地震履歴を整理し、Mw8.5クラスの巨大地震の発生有無について、分析した。
- その結果、世界の超巨大地震の発生地域においては、Mw8.5クラスの巨大地震が、数百年間隔で繰り返し発生していると考えられる。

	チリ	カスケード	アラスカ・アリューシャン	カムチャツカ	東北	スマトラ	南海トラフ	琉球海溝
地震履歴	<ul style="list-style-type: none"> AD1960年チリ地震 (Mw9.5) BC80年以降、8回のMw9クラスの津波が、300年間隔で発生 歴史上、津波を伴う地震が16世紀以降に100~150年間隔で3回発生 	<ul style="list-style-type: none"> AD1700年カスケード地震 (Mw9.0) 過去約1万年間に発生した41回の地震の平均間隔は約240年 1700年地震のようにカスケード沈み込み帯の全域を破壊したMw9クラスの地震の数は上記の約半分とされている 	<ul style="list-style-type: none"> (アラスカ) AD1964年アラスカ地震 (Mw9.2) 過去6000年間で11の地震が発生。 約900年前、約1500年前の波源域はアラスカ地震より大きい (アリューシャン) AD1957年アリューシャン地震 (Mw9.1) AD1965年ラッツアイランド地震 (Mw8.7) 	<ul style="list-style-type: none"> AD1952年カムチャツカ津波 (Mw9.0) AD1737年カムチャツカ津波歴史文献に基づく、過去300年間で最大 過去3000年間で1000年あたり平均12回の津波が発生、大規模な津波が約1000年毎に一回発生 	<ul style="list-style-type: none"> AD2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) AD869年貞観地震 (Mw8.4もしくはそれ以上) 東北地方の仙台平野、石巻平野、福島県沿岸域の平野では、約500年間隔で巨大地震が発生 	<ul style="list-style-type: none"> AD2004スマトラ沖地震 (Mw9.0) 過去に、Mw8.5以上の地震が、複数回(2100~2500年前頃、1000~1400年前頃、西暦1500年頃)発生 	<ul style="list-style-type: none"> AD1946年昭和南海地震 (Mw8.2~8.5) AD1944年昭和東南海地震 (Mw8.1~8.2) AD1854年安政南海地震 (M8.4) AD1854年安政東海地震 (M8.4) AD1707年宝永地震 (M8.6) 	<ul style="list-style-type: none"> (琉球海溝北部) M8クラスの地震は確認されていない。 (琉球海溝中部) AD1911年喜界島地震 (M8.0) (琉球海溝南部) AD1771年八重山地震 (Mt8.5) (琉球海溝中部・南部) 南部では、八重山地震クラスの地震が繰り返し発生した証拠として、津波石が認められるものの、中部では、2,300年前以降に、津波石は認められない
参考文献	産総研HP等	Goldfinger et al. (2012)等	Shennan et al. (2009)等	Pinegina et al. (2003)等	産総研HP等	藤野(2013)等	地震本部等	地震本部, 後藤(2012)等
考察	Mw9クラスの津波が300年間隔で発生	Mw9クラスの津波が約500年間隔で発生	(アラスカ) Mw9クラスの地震が数100年間隔で繰り返し発生 (アリューシャン) 確認されていない (十分な調査が行われていない)	過去に、Mw9クラスの津波が発生 大規模な津波が繰り返し発生している	過去に、Mw8.5クラスの地震が発生 約500年間隔で大規模な津波が発生	約500年間隔で、少なくともMw8.5以上の地震が発生	南海トラフでは、Mw8.5クラスの巨大地震が繰り返し発生していると考えられる	南部では、八重山地震クラスの巨大地震が繰り返し発生していると考えられる 中部では、過去2,300年に八重山地震クラスの巨大地震が発生していないと考えられる
							P10, 13	P11, 12

Mt: 津波マグニチュード

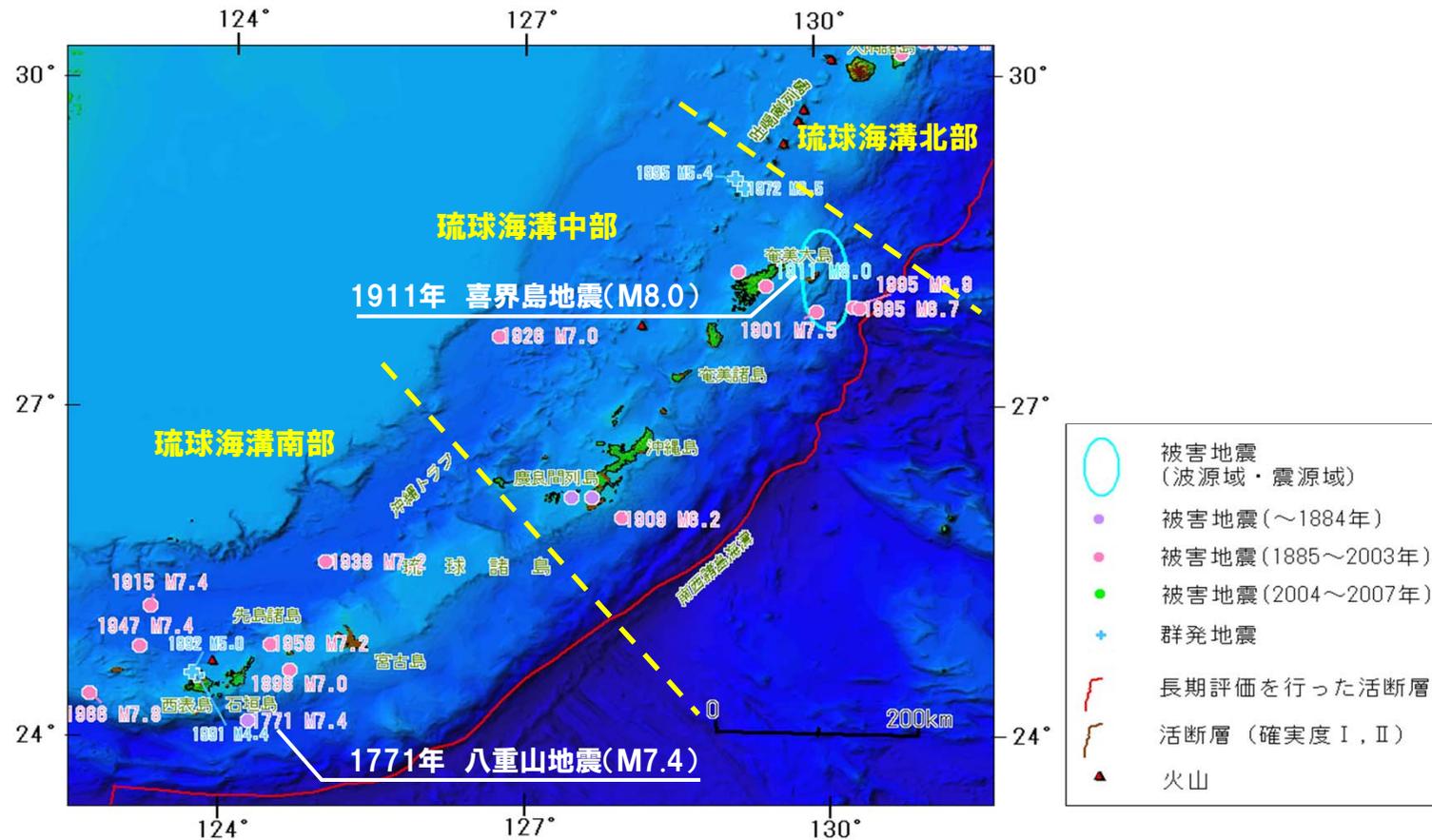
(ア) 地震履歴 (琉球海溝)

○南西諸島では、プレート間地震として、琉球海溝南部で1771年八重山地震(Mt8.5※1), 琉球海溝中部で1911年喜界島地震(M8.0※2)が確認されている。

○なお、琉球海溝北部では、M8クラスの地震は確認されていない。

※1)理科年表によればM7.4。

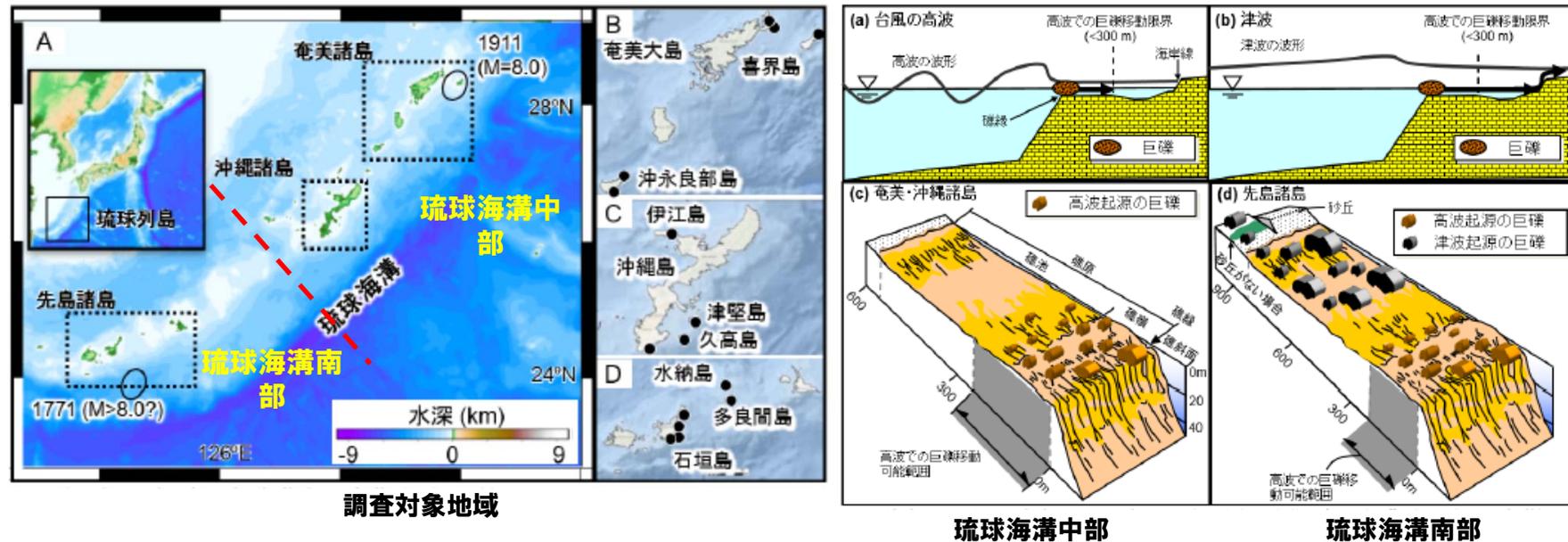
※2)地震のタイプについては諸説あるが、近年の研究(後藤(2013))から、プレート間地震とした。



南西諸島の歴史地震(地震調査推進本部HPに加筆)

(ア) 地震履歴 (琉球海溝)

- 津波石に関する研究から、琉球海溝南部においては、八重山地震クラス(Mw8.5クラス)の巨大地震が繰り返し発生しているとされており、世界の超巨大地震発生地域との差異は認められない。
- また、琉球海溝中部においては、過去2,300年の間に、喜界島地震(M8.0)クラスの地震は認められるものの、Mw8.5クラスの巨大地震が発生していないと考えられ、世界の超巨大地震発生地域との差異が認められる。

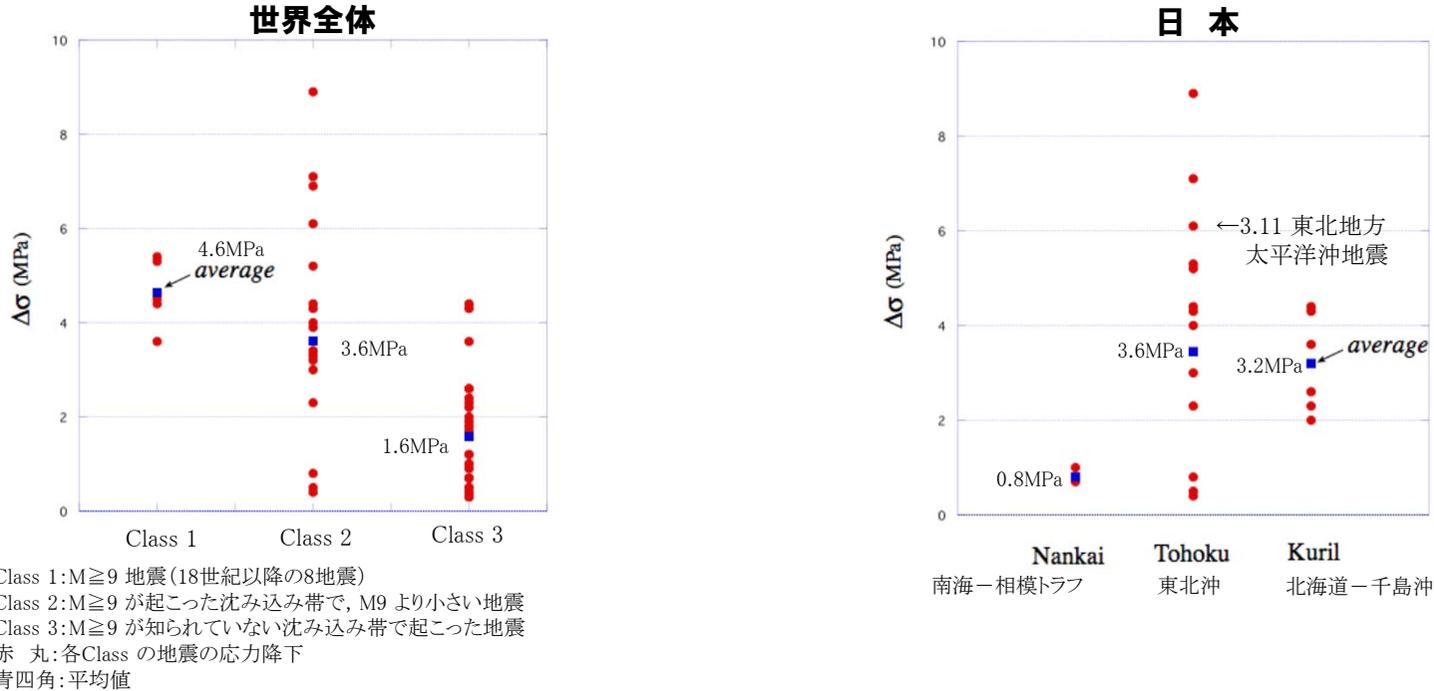


津波および台風の高波により運ばれた巨礫の分布の特徴の違い (後藤(2012)に加筆)

- ・先島諸島では、津波石が特定の時期に集中して打ち上げられている(約200年前, 約500年前, 約1000年前, 約2200年前, 約2600年前)。(Goto et al., 2010)
- ・各島で合計5000個以上の岩塊を調査した結果、津波石と特定できる岩塊は先島諸島にしか存在せず、奄美、沖縄諸島のリーフ上の岩塊は、いずれも台風の高波による打ち上げで説明できる。(後藤・島袋(2012))
- ・奄美諸島、沖縄諸島では、先島諸島で発生しうる規模の大津波は、少なくとも過去2,300年間には来襲した痕跡がない。つまり、奄美諸島から先島諸島まで琉球列島全域に影響を及ぼしうる巨大津波は、少なくとも過去2,300年間には発生した形跡がない。(Goto et al. (2013))が認められる。

(ア) 地震履歴 (南海トラフの応力降下量)

○瀬野(2013)によれば、南海トラフで発生した地震の応力降下量は、超巨大地震発生地域の地震の応力降下量に比べて小さく、超巨大地震が発生する可能性は低いとされている。



世界の沈み込み帯での応力降下量(瀬野(2013)に加筆)

南海トラフ三連動型地震・M9 はあり得るか(瀬野(2013)を要約)

- 世界で発生地震について、以下のクラス分けを行い、応力降下量を算定した。
 - Class 1: M \geq 9 地震 (18世紀以降の8地震)
 - Class 2: M \geq 9 が起こった沈み込み帯で、M9 より小さい地震
 - Class 3: M \geq 9 が知られていない沈み込み帯で起こった地震
- Class1の応力降下量(4.6MPa)及びClass2の応力降下量(3.6MPa)は、Class3の応力降下量(1.6MPa)より、数倍高い。
- 南海トラフの応力降下量(0.8MPa)は、Class1(4.6MPa)・Class2(3.6MPa)と比べて更に低く、応力降下量を見ると、南海トラフにおいて、M9以上の巨大地震が起こる可能性は低いと考えられる。

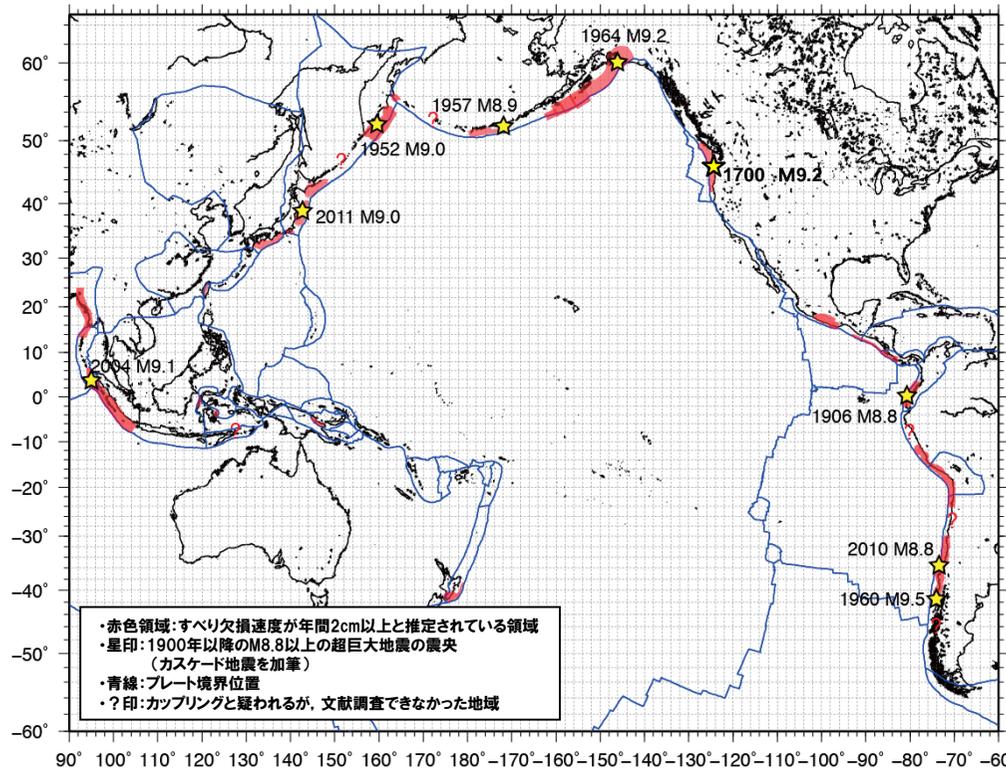
(イ) テクニクス等の情報
① 測地学的検討

(イ) テクトニクス等の情報 ①測地学的検討 (固着の程度)

- 世界の超巨大地震の発生地域における測地学的検討による知見を整理した。
- 世界の超巨大地震の発生地域におけるすべり欠損速度を整理した知見から、世界の超巨大地震の発生地域においては、年間2cm以上のすべり欠損速度が認められると考えられる。

	チリ	カスケード	アラスカ・アリューシャン	カムチャツカ	東北	スマトラ	南海	琉球
カップリング係数※1	0.96 ~ 1.0	1.0	0.62~0.96	0.48~0.67	0.54~0.65	1.0	1.0	0.0
すべり欠損速度※2	年間2cm以上	年間2cm以上	年間2cm以上	年間2cm以上	年間2cm以上	年間2cm以上	年間2cm以上	—

※1)世界のプレート沈み込み帯におけるカップリングパラメータ(Scholz and Campos(2012)より記載)
 ※2)環太平洋とその周辺の測地データから推定されたプレート間カップリングの分布図(下図, 西村(2013))より記載)



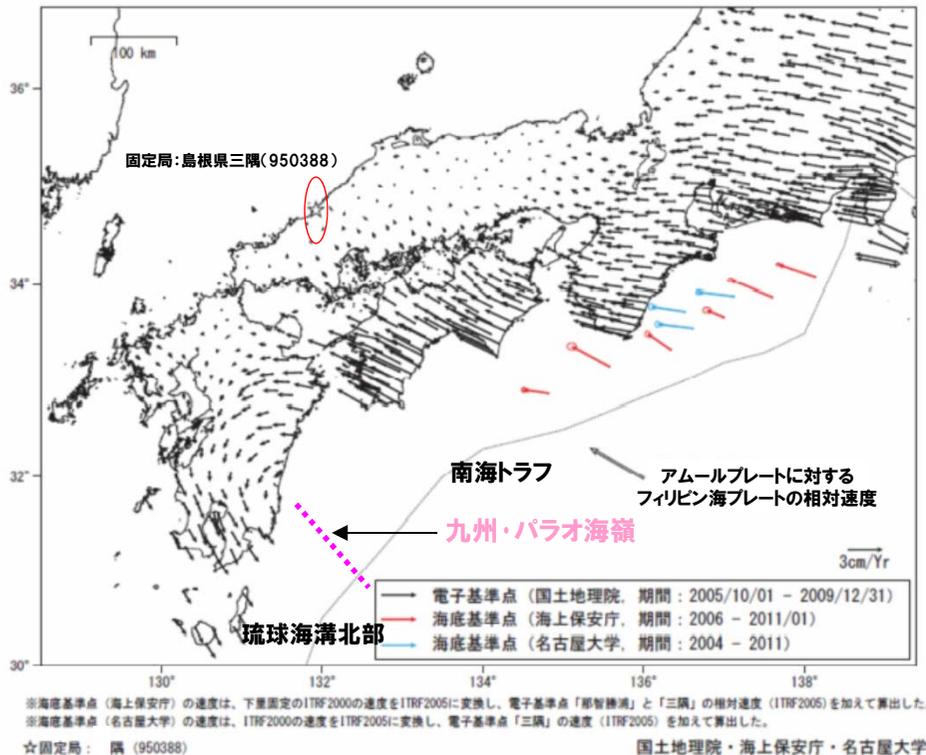
GPS観測結果から、固着域を分析
P16~19

- ・すべり欠損速度(すべり遅れ速度)
 →プレート境界面において、陸側プレートが海側プレートの沈み込みに引きずられる速度
- ・カップリング係数
 →すべり欠損速度を、陸側プレートに対する海側プレートの相対速度で割ったもの

環太平洋とその周辺の測地データから推定されたプレート間カップリングの分布図(西村(2013))

(イ) テクトニクス等の情報 ①測地学的検討(南海トラフ, 琉球海溝)

- GPS観測データから、四国はフィリピン海プレートのカップリングの強いブロック、九州はカップリングが弱く、反時計回りに回転するブロックとされており、南海トラフでは、固着が強く、琉球海溝北部では、固着が弱いと考えられる。
- GPS観測データから、琉球海溝においては、陸側プレートの変位ベクトルは海側プレートに向いており、大規模な固着は想定されない。



西南日本の平均変位速度ベクトル(水平)
(地震調査推進本部(2013)に加筆)

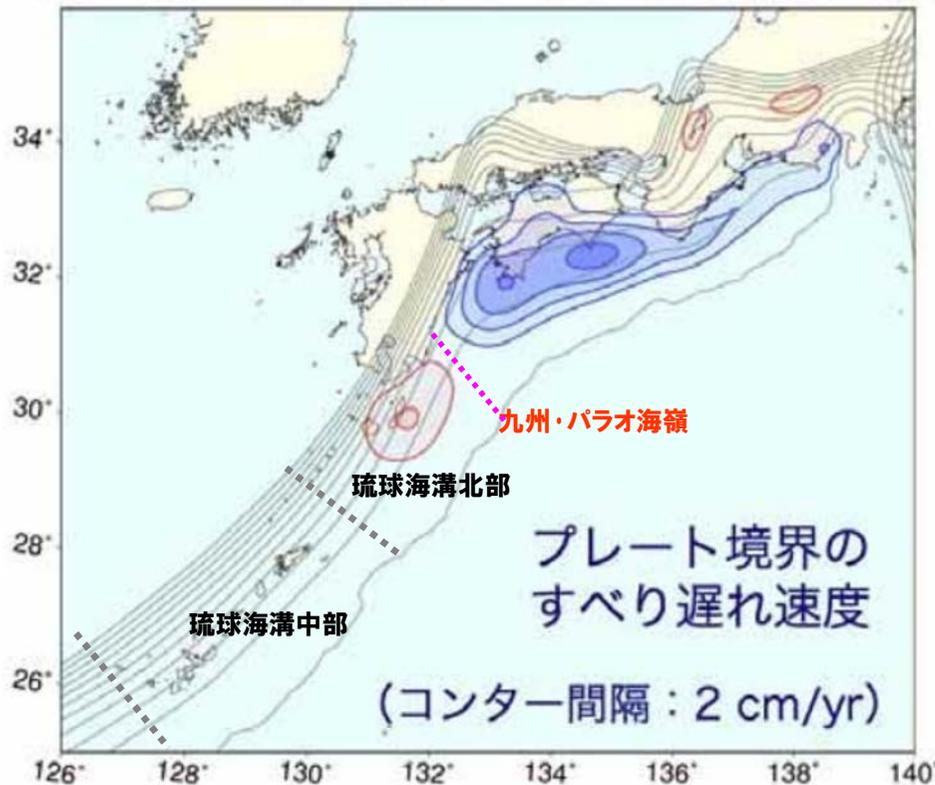
・四国はフィリピン海プレートのカップリングの強いブロック、九州はカップリングが弱く、反時計回りに回転するブロックとされている。(Wallace(2009))



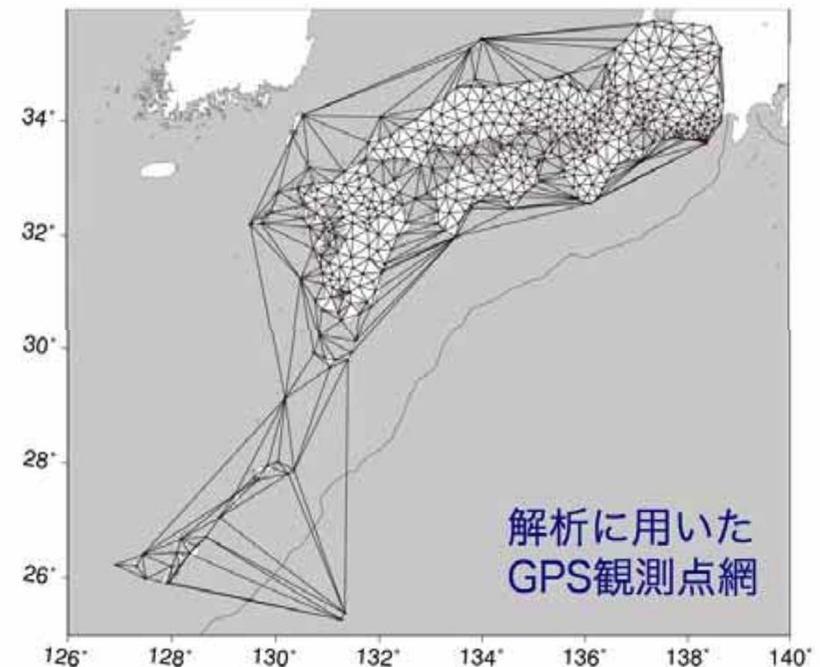
日本全国の変位速度ベクトル(水平)
(Kato and Kubo (2006)に加筆)

(イ) テクトニクス等の情報 ①測地学的検討(南海トラフ, 琉球海溝)

- GPS観測データを用いたすべり欠損分布によると、南海トラフでは、年間2cm以上のすべり欠損が認められるものの、九州・パラオ海嶺付近では、すべり欠損速度が年間2cm以下となる。
- 琉球海溝北部及び中部では、年間2cm以上のすべり欠損速度は認められない。(琉球海溝北部では、すべり過剰が認められる)



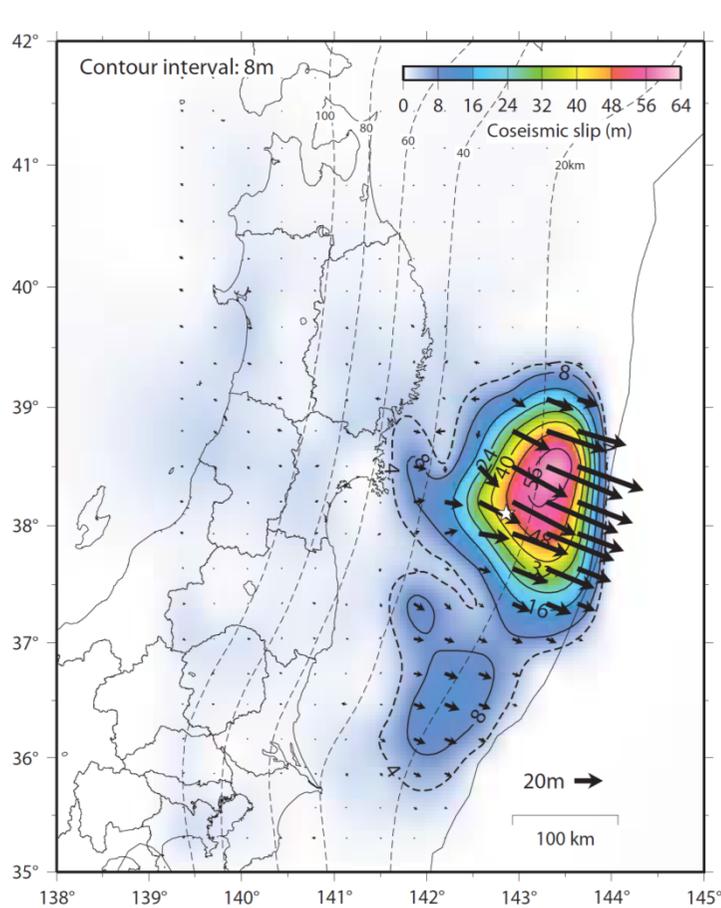
GPSデータからの推定によるすべり遅れ速度の等値線(2cm/年の間隔)
 青線:すべり遅れ, 赤線:すべり過剰(黒線はプレート境界面の等深線)



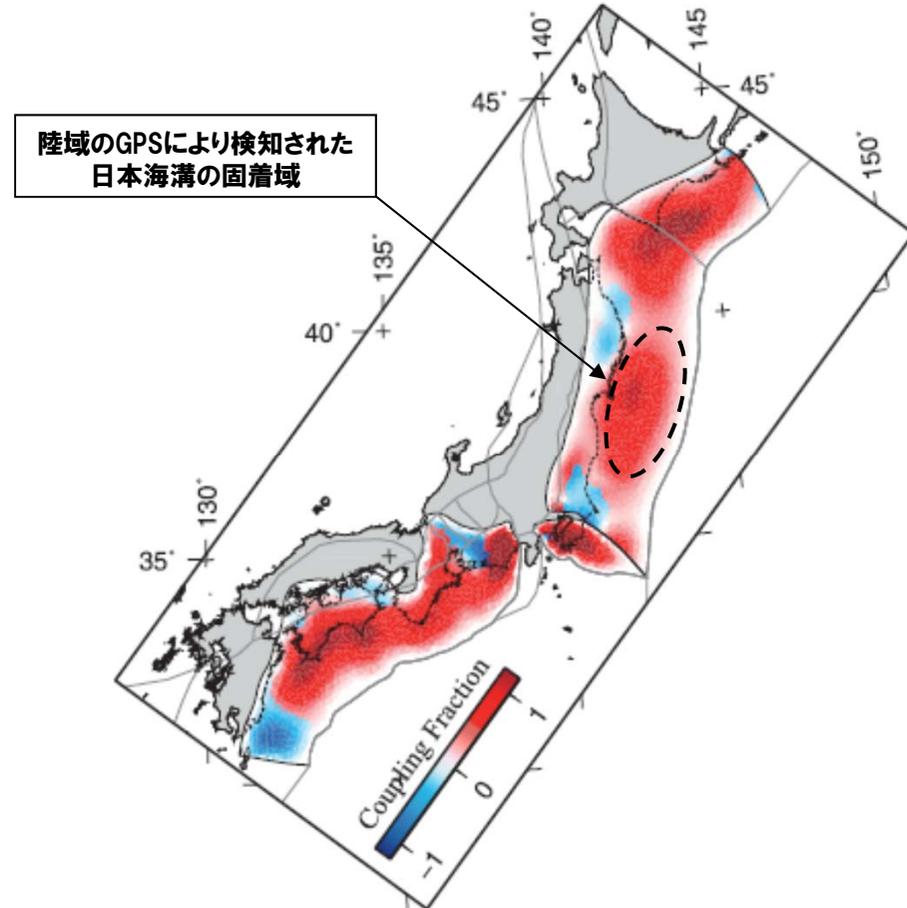
プレート境界でのすべり遅れ速度(すべり欠損速度)の分布
 (鷲谷他(東海・東南海・南海地震の運動性評価研究プロジェクト(平成21~24年度)成果報告書)に加筆)

(イ) テクトニクス等の情報 ①測地学的検討 (東北地方太平洋沖地震での知見)

○日本海溝においては、陸域のGPSにより、大規模な固着域が検知されており、東北地方太平洋沖地震レベルの固着域の有無については、海溝軸から離れた陸域のGPSでも、検知可能と考えられる。



東北地方太平洋沖地震時のすべり分布モデル
(国土地理院・海上保安庁)



陸域のGPS データから推定したプレート間のカップリング係数
(Loveless and Meade, 2010 に加筆)

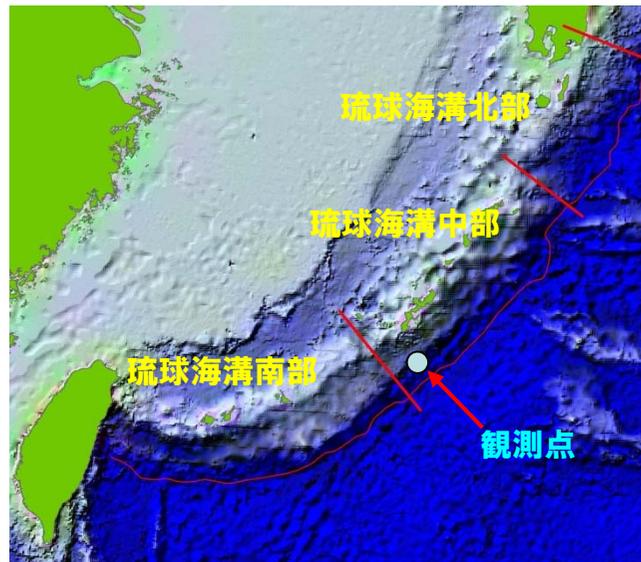
(イ) テクトニクス等の情報 ① 測地学的検討 (琉球海溝)

○中村(2012)によれば、琉球海溝中部では、固着域が確認されている。

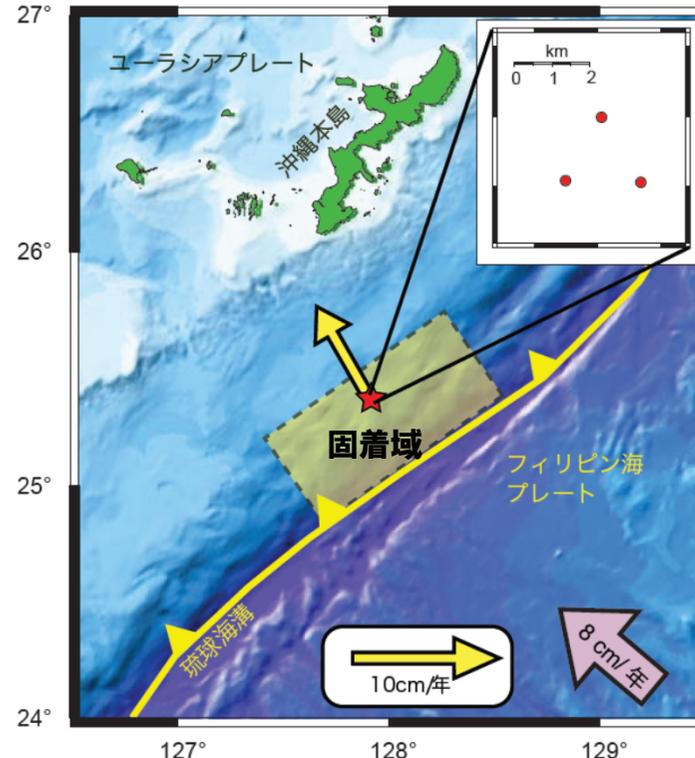
○しかし、琉球海溝中部の固着域については、南海トラフと比べて小さいと考えられる。

(琉球海溝:深さ12~14km(断層幅50~70km), 南海トラフ:深さ30~40km*(断層幅200km程度))

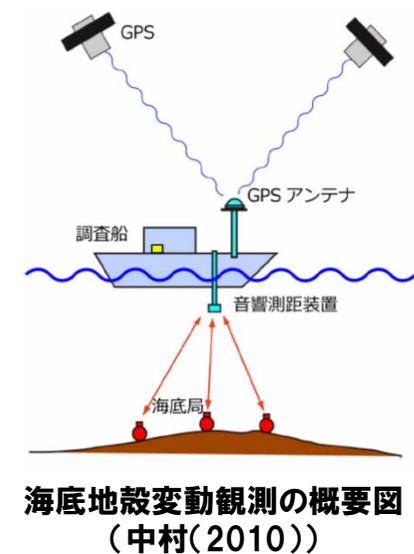
※ カップリング係数は、プレート境界の深度約10~20kmで最大となり、それより深部では小さくなっていき、深さ40kmでほぼゼロになると推定される。(地震調査推進本部(2013))



観測点の位置



海底局で観測された水平変位と推定された固着域 (中村(2010))



・琉球海溝中部で実施された海底地殻変動観測による調査結果から、沖縄本島沖の琉球海溝にも固着域が分布することが推定されている。

・この固着域の最深部は、海溝軸から50~70kmの位置にあり、プレートの深さで12~14kmにあたる。(中村(2012))

(イ) テクトニクス等の情報
② 沈み込み帯の特徴

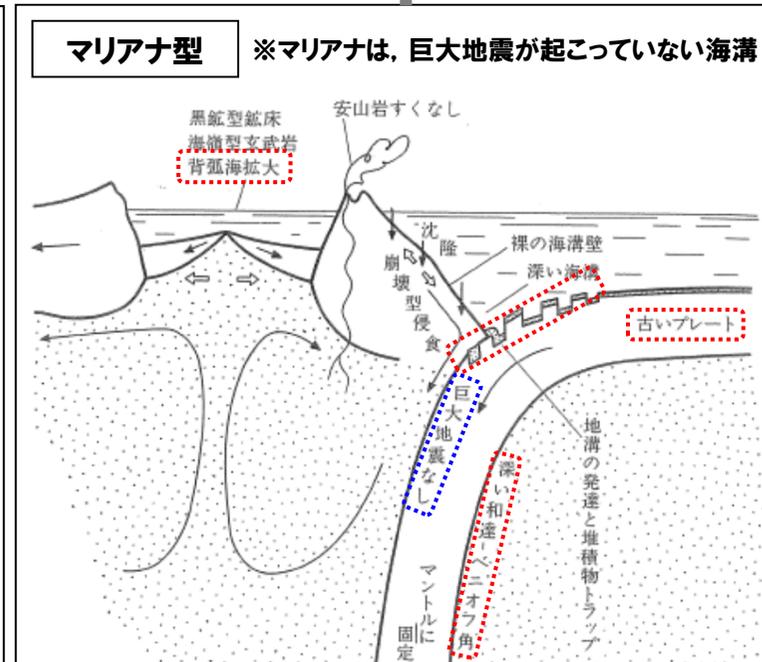
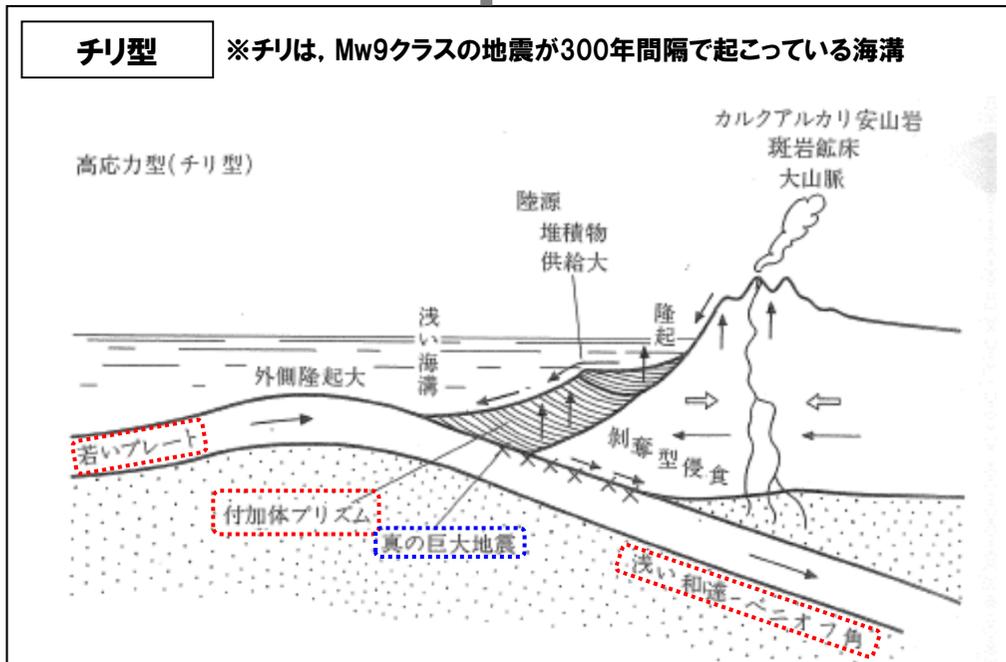
(イ) テクトニクス等の情報 ②沈み込み帯の特徴

- 世界の超巨大地震の発生地域において、巨大地震に関連していると考えられている特徴を整理し、その特徴を踏まえた分析を行った。
- なお、巨大地震に関連していると考えられている特徴については、沈み込み帯の両極の型として「チリ型」「マリアナ型」を提案した文献(上田(1989))を参考とした。

両型の特徴

	チリ型	マリアナ型
海洋プレートの年代	新しい(15Ma)	古い(160Ma)
沈み込むスラブの傾斜	緩い(30°)	急(90°)
付加体	発達	なし
海洋プレートの凹凸地形	凸凹なし	凸凹あり
背弧拡大	なし	あり

「マリアナ型」と「チリ型」の沈み込み帯の比較 (上田(1989)に加筆)



(イ) テクトニクス等の情報 ②沈み込み帯の特徴

- 知見を収集・分析した結果、海洋プレートの年代、スラブの傾斜、付加体、海洋プレートの凹凸地形については、世界の超巨大地震発生地域に共通性は認められないものの、背弧拡大については、世界の超巨大地震発生地域に共通性が認められる。
- 蓬田(2013)によると、スマトラ・東北における超巨大地震の発生により、巨大地震に関連していると考えられていたプレート年代などは、巨大地震との関連性がないとされる意見はあるものの、どんな沈み込み帯でも超巨大地震が発生する可能性があるという極端な議論は支持できず、背弧の拡大については、巨大地震が発生しない特徴と扱える可能性があるとされている。

分析結果

	超巨大地震の発生地域						左記が発生していない地域	(凡例)	
	チリ(南部)	カスケード	アラスカ・アリューシャン	カムチャツカ	東北	スマトラ		マリアナ	南海トラフ
海洋プレートの年代※1	新しい(15Ma)	新しい(3Ma)	アラスカ:46Ma アリューシャン:54Ma	古い(90Ma)	古い(130Ma)	55Ma	古い(160Ma)	新しい(17Ma)	49Ma
沈み込むスラブの傾斜※2	緩い(30°)	(-)	アラスカ:中程度(55°) アリューシャン:中程度(65°)	中程度(50°)	中程度(40°)	スマトラ:ゆるい(30°) アンダマン海:中程度(50°)	急(90°)	(-)	中程度(45°)
付加体※3	発達	発達	発達	発達	なし	発達	なし	発達	なし
海洋プレートの凹凸地形※4	凹凸なし	凹凸なし	アラスカ:凹凸なし アリューシャン:凹凸あり	凹凸なし	凹凸あり	凹凸なし	凹凸あり	凹凸なし	北部:凹凸あり 南部:凹凸なし
背弧拡大	なし	なし	なし	なし	なし※5	アンダマン海	マリアナトラフ	なし	沖縄トラフ

※1)Mantovani et al. 2001

※4)Ruff,2004

※2)Uyeda and Kanamori,1979

※5)日本海は古い時代に活動(15Maにほぼ終了)した

※3)Clift and Vannucchi,2004

背弧海盆であり、現在は非活動。

leaky transform型の拡大 (Uyeda and Kanamori(1979)による) **P24**

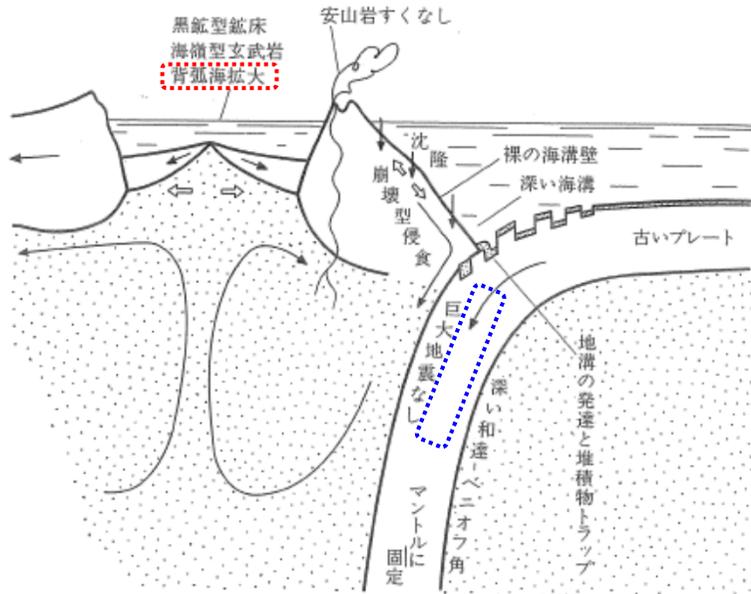
back-arc spreading型の拡大 (Uyeda and Kanamori(1979)による) **P23**

沈み込み帯の特徴と巨大地震の関連性に関する見解(蓬田(2013)を要約)

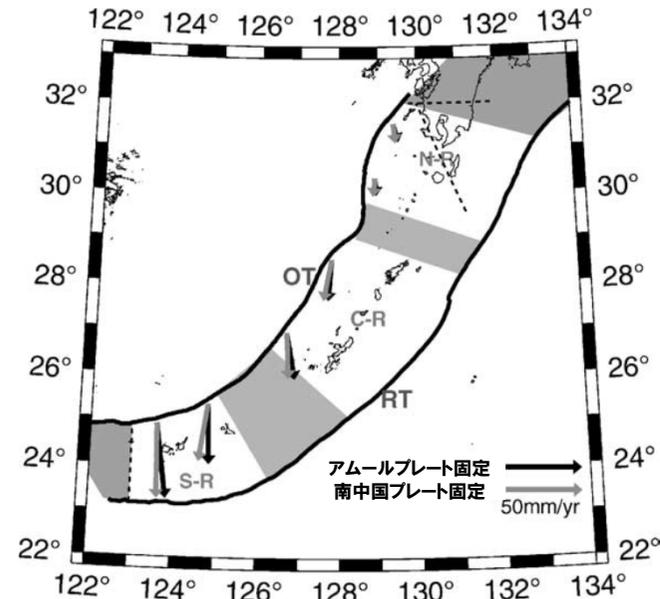
- プレート境界での地震活動の違いについては、従来の沈み込みプレート年代や相対速度などの単純なパラメーターでは説明できない(e.g.,Kanamori, 1977a)。しかし、どんな沈み込み帯でも超巨大地震が発生する可能性があるという極端な議論は支持できない。
- 地震活動がほとんどない沈み込み帯のほとんどはこれまでマリアナ型(Kanamori, 1977a; Uyeda, 1982)と呼ばれた様式として、沈み込み帯をはさむ2つプレートの相対運動はむしろ離れていくセンスで、背弧の拡大を伴う。このような沈み込み帯では、プレートの相対運動の大部分は、aseismicな(非地震性の)滑りで解放されるという従来の考えを現時点でも否定はできない。

(イ) テクトニクス等の情報 ②沈み込み帯の特徴: マリアナ型の背弧拡大

- Uyeda and Kanamori (1979)によると、「マリアナでは、プレート間が固着していないため、背弧が拡大する。」とされ、マリアナでは、海溝軸に直交方向(拡大軸は海溝軸にほぼ平行)に背弧が拡大する特徴を持つと考えられる。なお、その機構については、上田(1989)によると、くさび型マントル流モデル等の諸説があるとされている。
- GPSの観測結果から、琉球海溝の背弧海盆(沖縄トラフ)は、マリアナ型と同様、海溝軸に直交方向(拡大軸は海溝軸にほぼ平行)に背弧が拡大する特徴が認められ、プレート間の固着は弱いと考えられる。



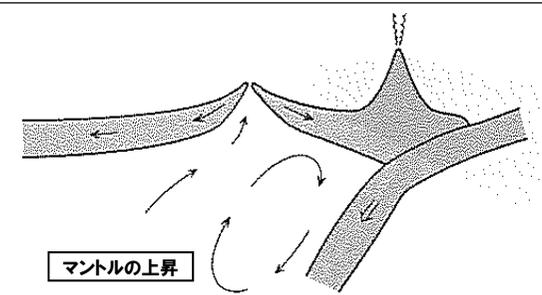
マリアナ型の沈み込み帯(上田(1989)に加筆:再掲)



沖縄トラフの拡大速度(Nishimura et al.,2004)

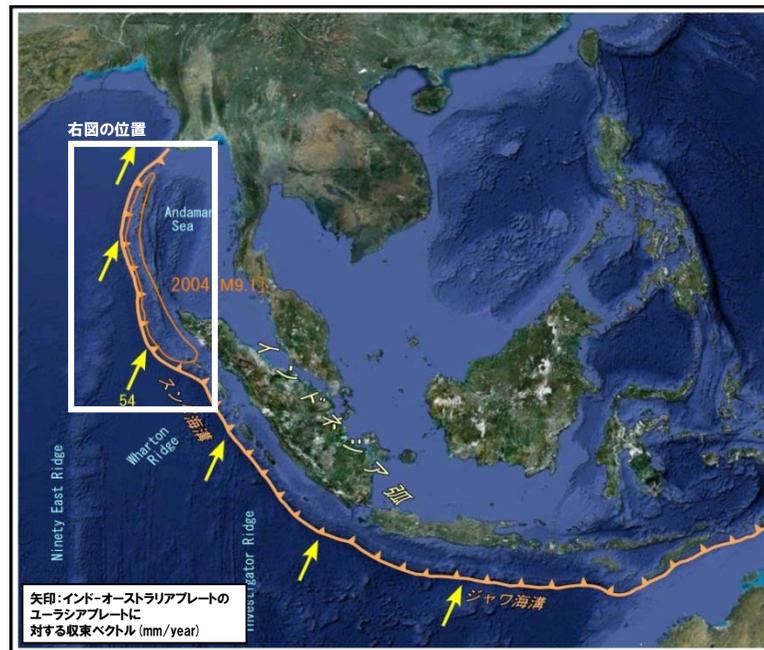
背弧海盆の拡大機構(上田(1989)を要約)

- 沈み込みのモデルとして、スラブ上のくさび型マントルを粘性流体とみため、スラブの運動によって、誘起される流れを想定するモデル(Toksoz and Hsui 1978:右図)がある。それによると、背弧域には、高温マントル物質の上昇に伴い、海嶺がつくられ、伸張的応力が生ずるため、背弧が拡大するが、その当否は、張力場が十分か否かにあると考えられる。
- 上記以外のモデルについても、提案されている。

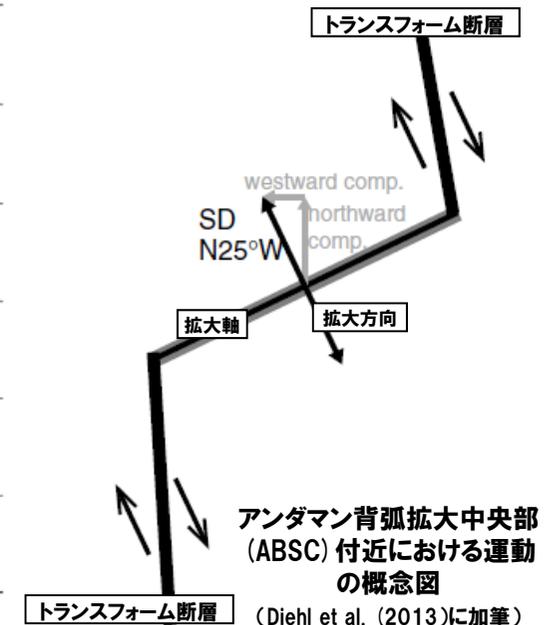
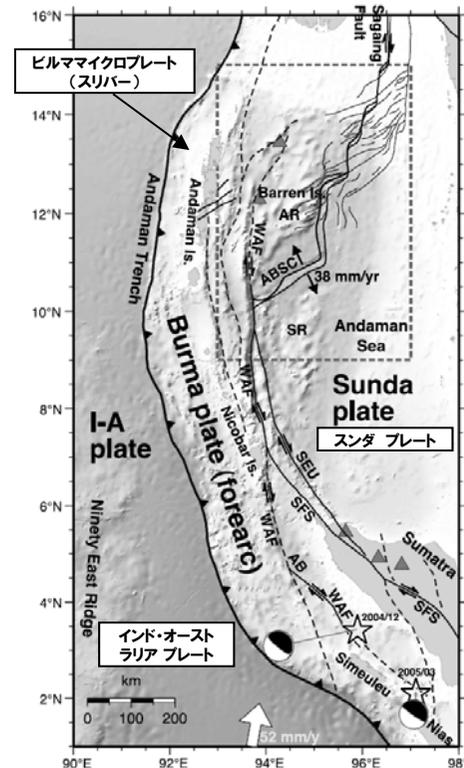


(イ) テクトニクス等の情報 ②沈み込み帯の特徴:スマトラにおける背弧海盆

- Diehl(2013)によると、スマトラにおける背弧海盆(アンダマン海)は、海溝軸に平行方向(拡大軸は海溝軸にほぼ直交)に拡大する、プルア部分を成因とした背弧拡大とされ、マリアナ型の背弧拡大とは異なると考えられる。
- 超巨大地震が発生する原因は、斜め衝突の海溝軸に平行な成分はスリバーの動きで緩和されるが、海溝軸に直交する成分がひずみとして、蓄積されるためであると考えられる。



スマトラにおける背弧海盆 (NUVEL-1A:DeMets et al.,1994)



アンダマン海の成因について(Diehl et al. (2013))

- Burma Plate(スリバー)が沈み込むプレートにより北へ引きずられることにより、プルア部分盆地がプレート境界沿いに形成され、NE-SW方向に拡大することとなった。

超巨大地震が発生する原因について(小山・他 (2012))

- インド・オーストラリアプレートの斜め衝突の海溝軸に平行な成分は、ビルママイクロプレート(スリバー)の動きで緩和され、結果として、アンダマン・ニコバル海溝に直交する成分のみが卓越することになる。

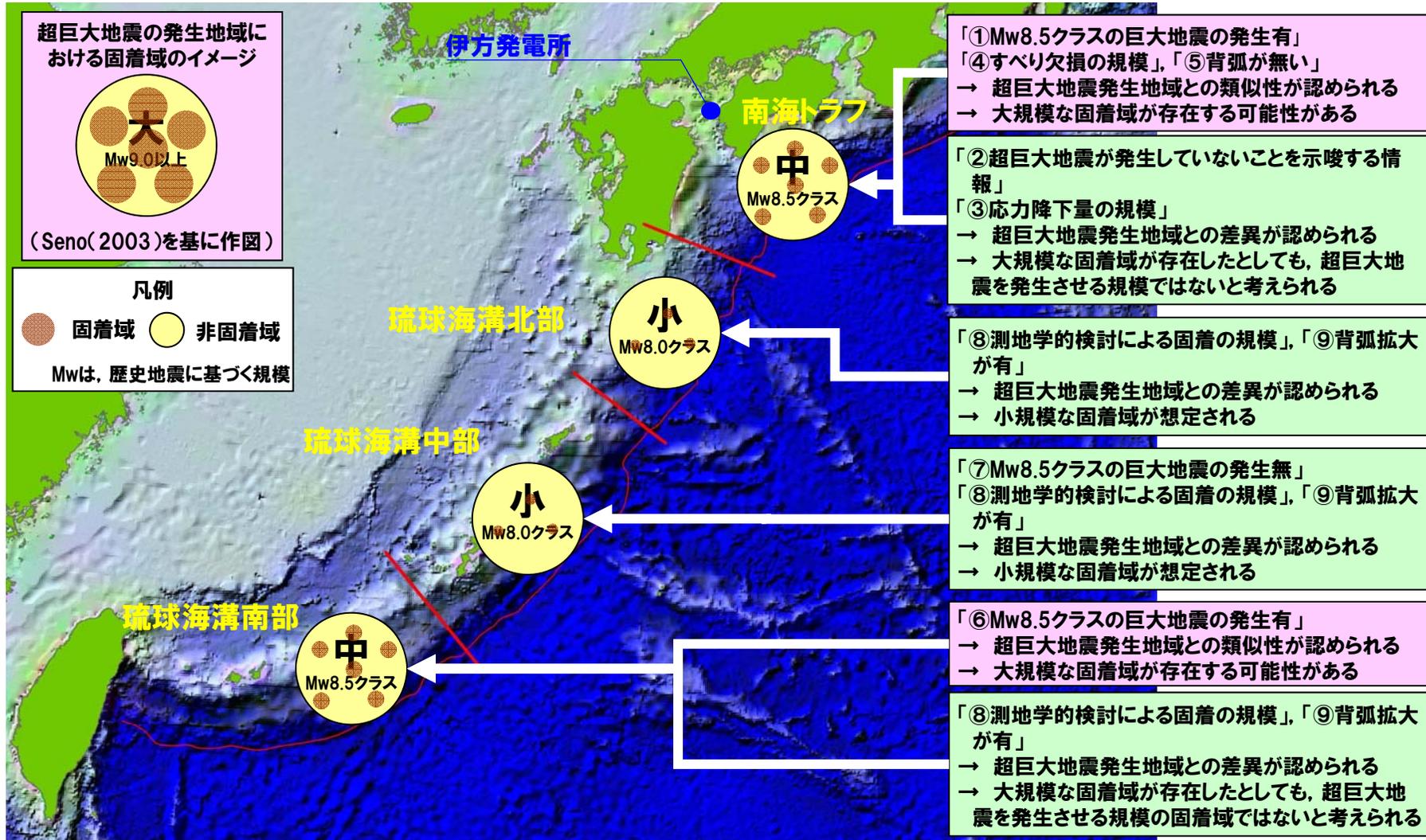
(1) 固着域に関する分析 (検討項目毎のまとめ)

○以上の検討を項目毎にまとめ、下表に示す。

		南海トラフ	琉球海溝	
(1) 地震履歴		・過去5,000年間に、1707年宝永地震(M8.6)などの巨大地震が認められ、その発生間隔は、300~600年と考えられる。(内閣府(2011)) P10 ・約5,000年間の地質記録において、九州パラオ海嶺までの南海トラフ全域を波源域とする地震が発生した証拠は認められない。(地震調査推進本部(2013)) P10 ・過去6,000年間を通して、平地の上まで巨礫を運ぶような規模の津波はなかった可能性がある。(宍倉(2013)) P10 ・南海トラフにおける地震の応力降下量は、超巨大地震発生地域における地震の応力降下量に比べ、小さく、超巨大地震が発生する可能性は低い。(瀬野(2013)) P13	【南部】・1771年八重山地震(Mt8.5)が確認されている。(地震調査推進本部, 中村(2012)) P11 【中部】・1911年喜界島地震(M8.0)が確認されている。(地震調査推進本部) P11 【南部】・先島諸島では、2,600年前以降、150~400年間隔で繰返し地震が発生した痕跡(津波石)が認められる。(後藤(2012)) P12 【中部】・奄美・沖縄諸島では、規模の小さな石が認められるのみであり、2,300年前以降に巨大津波は発生していないと考えられる。(後藤(2012)) P12	
	凡例 世界の超巨大地震発生地域との差異がない 世界の超巨大地震発生地域との差異がある	①:津波堆積物調査等による知見から、Mw8.5クラスの巨大地震が繰返し発生しているとされ、世界との差異は認められない ②:地質記録等から超巨大地震が発生した証拠は認められず、世界との差異が認められる ③:応力降下量から、世界との差異が認められる	【南部】⑥:津波石等による知見からMw8.5クラスの巨大地震が繰返し発生しているとされ、世界との差異は認められない 【中部】⑦:津波石等による知見からMw8.5クラスの巨大地震は発生していないとされ、世界との差異が認められる	
	(2) テクトニクス等の情報	測地学的検討	・GPS観測データを用いたすべり欠損分布(鷲谷他(2013))において、年間2cm以上のすべり欠損が認められる。 P17 ④:南海トラフでは固着が強く、世界との差異が認められない	【共通】・GPS観測データから、琉球海溝においては、陸側プレートの変位ベクトルは海側プレートに向いており、大規模な固着は想定されない。 P16 【北部・中部】・GPS観測データを用いたすべり欠損分布(鷲谷他(2013))において、年間2cm以上のすべり欠損は認められない。 P17 【中部】・海底GPS観測データにより固着域が確認されているが、最深部は、12~14kmとされ(中村(2012)), 南海トラフと比べて浅いと考えられる。 P19 【共通】⑧:固着が弱く、世界との差異が認められる
		沈み込み帯の特徴	・背弧海盆がない。 P22 ⑤:背弧海盆がなく、世界との差異が認められない	・拡大している背弧海盆(沖縄トラフ)がある。 P23 【共通】⑨:背弧拡大が認められ、世界との差異が認められる
評価結果		・南海トラフについては、Mw8.5クラスの巨大地震が発生していることなど(①・④・⑤)から、 大規模な固着域が存在する可能性があるものの超巨大地震を発生させるような規模ではない(②・③) と想定される。	・北部については、 世界の超巨大地震発生地域との差異が認められ(⑧・⑨) 、小規模な固着域が想定される。 ・中部についても、 差異が認められ(⑦・⑧・⑨) 、小規模な固着域が想定される。 ・南部については、Mw8.5クラスの巨大地震が発生していること(⑥)から、 大規模な固着域が存在する可能性があるものの、超巨大地震を発生させるような規模ではない(⑧・⑨) と想定される。	

(1) 固着域に関する分析 (評価結果)

- 各領域内における最大規模の歴史地震は、南海トラフではMw8.5クラス、琉球海溝北部・中部ではMw8.0クラス、琉球海溝南部ではMw8.5クラスであるものの、それらを超える可能性を検討した。
- 世界の超巨大地震発生地域と南海トラフ～琉球海溝を比較・分析した結果から、南海トラフ～琉球海溝においては、世界の超巨大地震発生地域レベルの固着域はなく、各領域内における最大規模の歴史地震と整合的な固着域が想定される。



各領域の固着域のイメージ

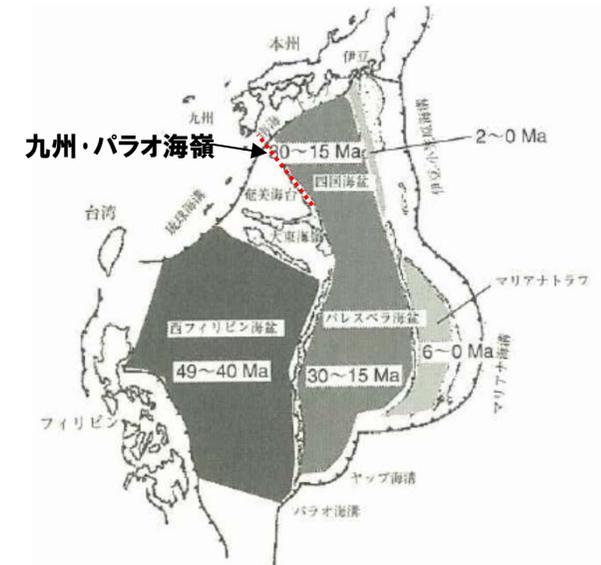
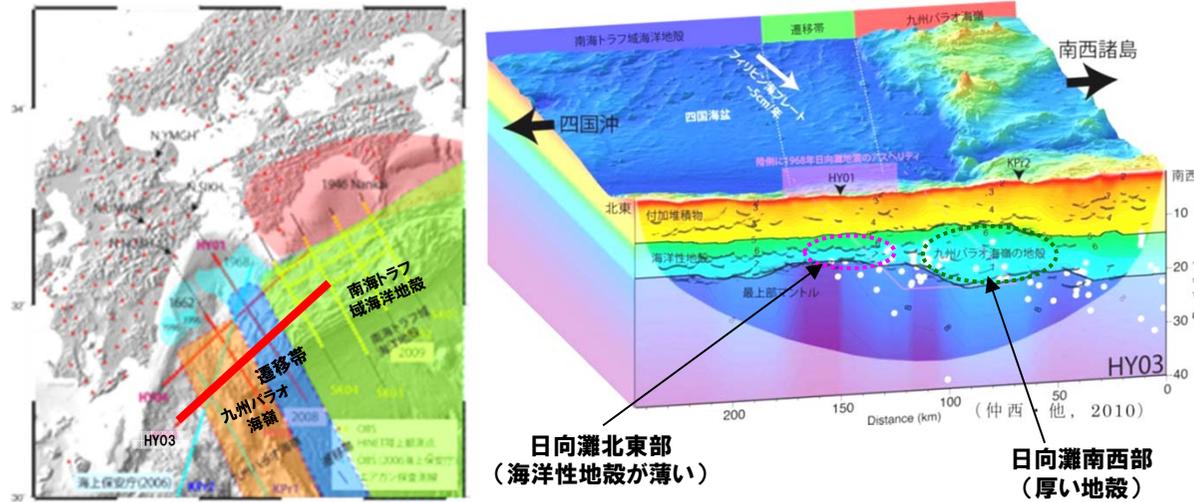
1. 南海トラフ～琉球海溝での分析
 - (1) 固着域に関する分析
 - (2) 破壊伝播の検討**
 - (3) 南海トラフ～琉球海溝での分析のまとめ
2. 津波評価
 - (1) 波源の設定
 - (2) 計算結果

(2) 破壊伝播の検討

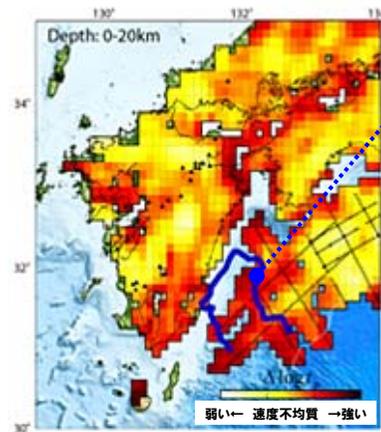
- 固着域の評価結果に、構造的境界に関する知見の分析結果を加え、破壊伝播の可能性を検討する。

(2) 破壊伝播の検討 (南海トラフと琉球海溝の構造的境界に関する知見)

- 構造探査等の結果から、九州・パラオ海嶺付近を境に、海洋プレート浅部(地殻)の厚さ等の構造が異なるとされている。
- 九州・パラオ海嶺付近を境に、プレートの年代が異なるとされている。



フィリピン海プレートを構成する海盆の年代 (Okino et al., 1998などによる, Seno, 2000 に加筆)



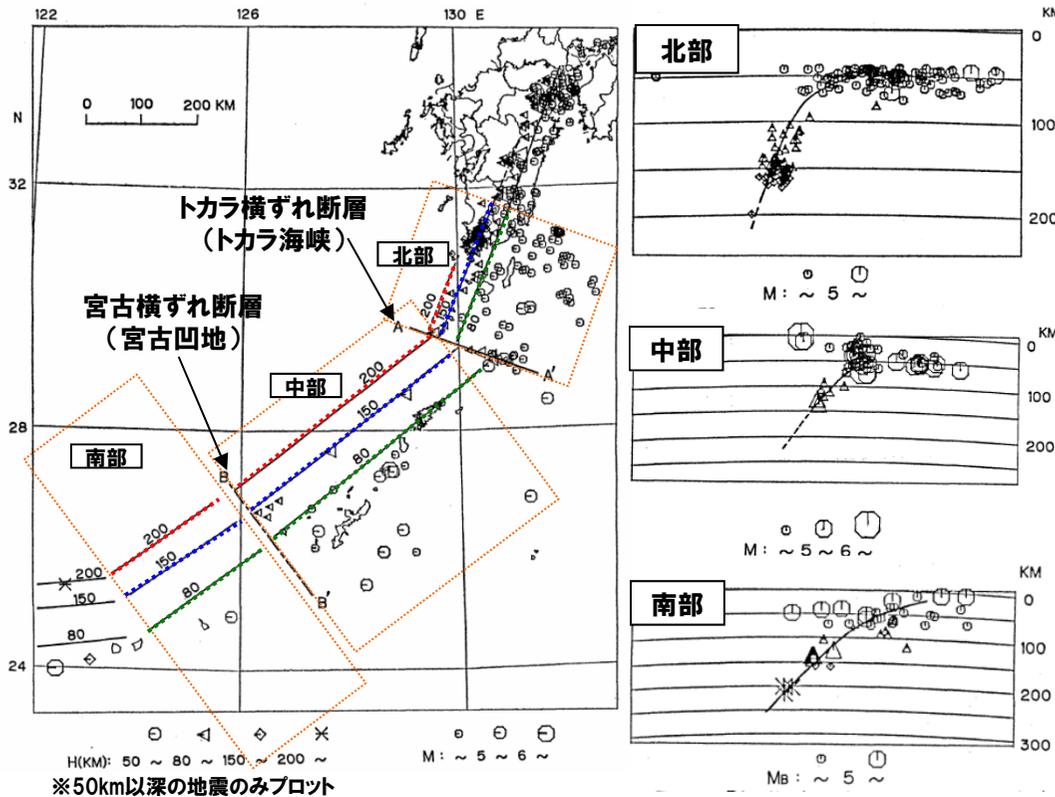
九州・パラオ海嶺が沈み込む部分(青線内)に速度不均質の強い領域(赤)が存在

- 構造探査の結果を踏まえ、九州・パラオ海嶺で、南海トラフと構造が区分されると考えられる。
 - ・九州・パラオ海嶺が沈み込む周辺で、地殻の厚さが大きく変化
 - ・九州・パラオ海嶺が沈み込む部分では、速度不均質が強い (顕著な空間変化を示す)
- なお、南海トラフの巨大地震の想定(内閣府(2012))において、最大クラスの津波波源の西端を九州・パラオ海嶺の北側付近としている。

九州・パラオ海嶺での構造変化と南海トラフにおける地震に関する見解 (JAMSTEC HP に加筆)

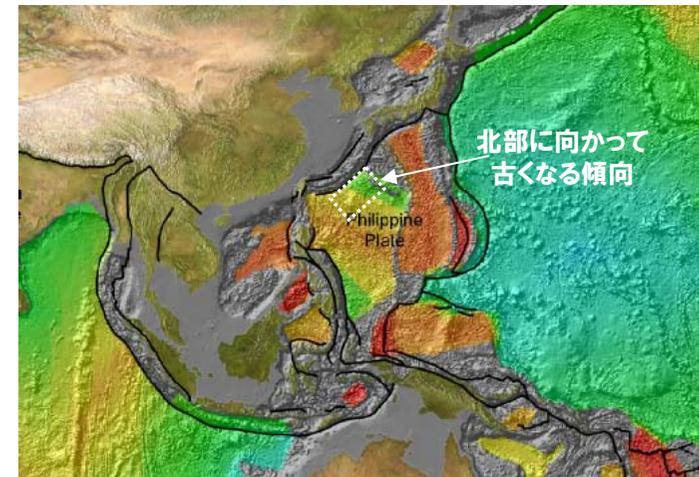
(2) 破壊伝播の検討 (琉球海溝内の構造的境界に関する知見: 海洋プレート)

- 稍深発地震の分布から、海洋プレートの傾斜が琉球海溝北部から南部で変化するとされている。(北部は急、南部は緩い)
- 琉球海溝北部から南部で、海洋プレートの年代が変化するとされている。(北部は古く、南部は新しい)



琉球海溝のスラブの傾斜(長宗(1987)に加筆)

- ・ 稍深発地震の分布から、北部は高角度でもぐり込み、南部は比較的に緩やかにもぐり込んでいると見られる。
- ・ 北部・中部・南部で、海洋プレートの傾斜が異なっていると見られる。



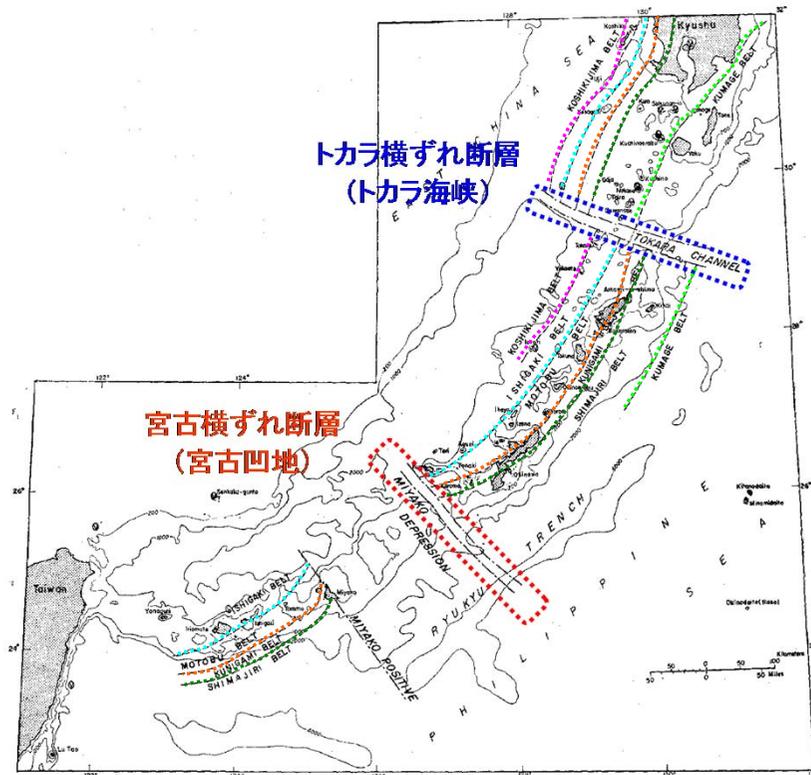
million years

新しい 0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 古い

フィリピン海と周辺の海洋プレートの年代
(NOAA (NGDC) HP Data source: Muller et al. (2008)に加筆)

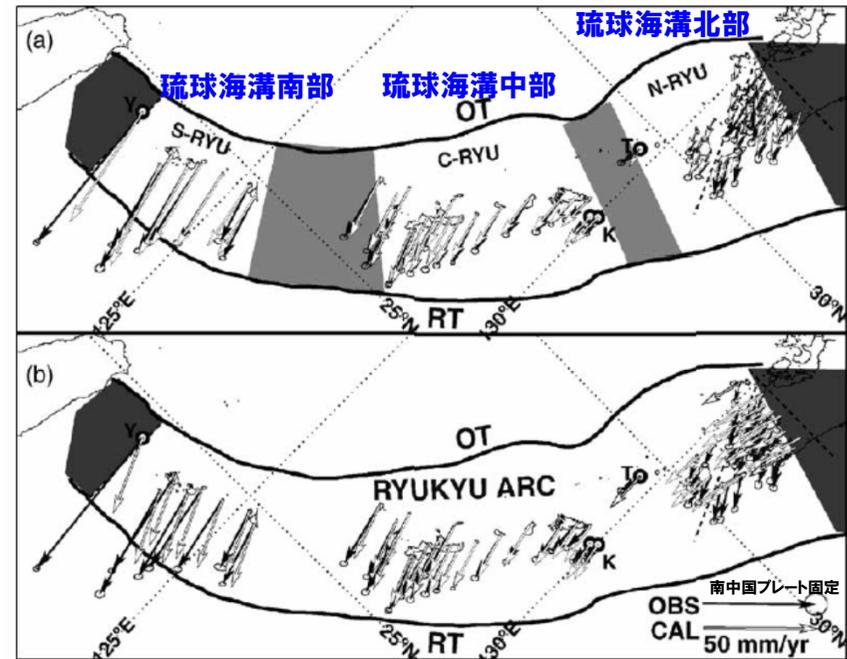
(2) 破壊伝播の検討 (琉球海溝内の構造的境界に関する知見: 陸側プレート)

- 琉球地域は、横ずれ断層により、地質学的に3分割されるとされている。
- 琉球地域は、測地学的検討により、琉球北部・中部・南部の3ブロックに分かれるとされている。



琉球地背斜の先中新世基盤岩類にみられる帯状構造 (小西(1965)に加筆)

・基盤構造の帯状配列が絶たれるトカラ海峡や宮古凹地に左横ずれ断層を置き、琉球弧はこの2つにより、地質学的に3分割されている。

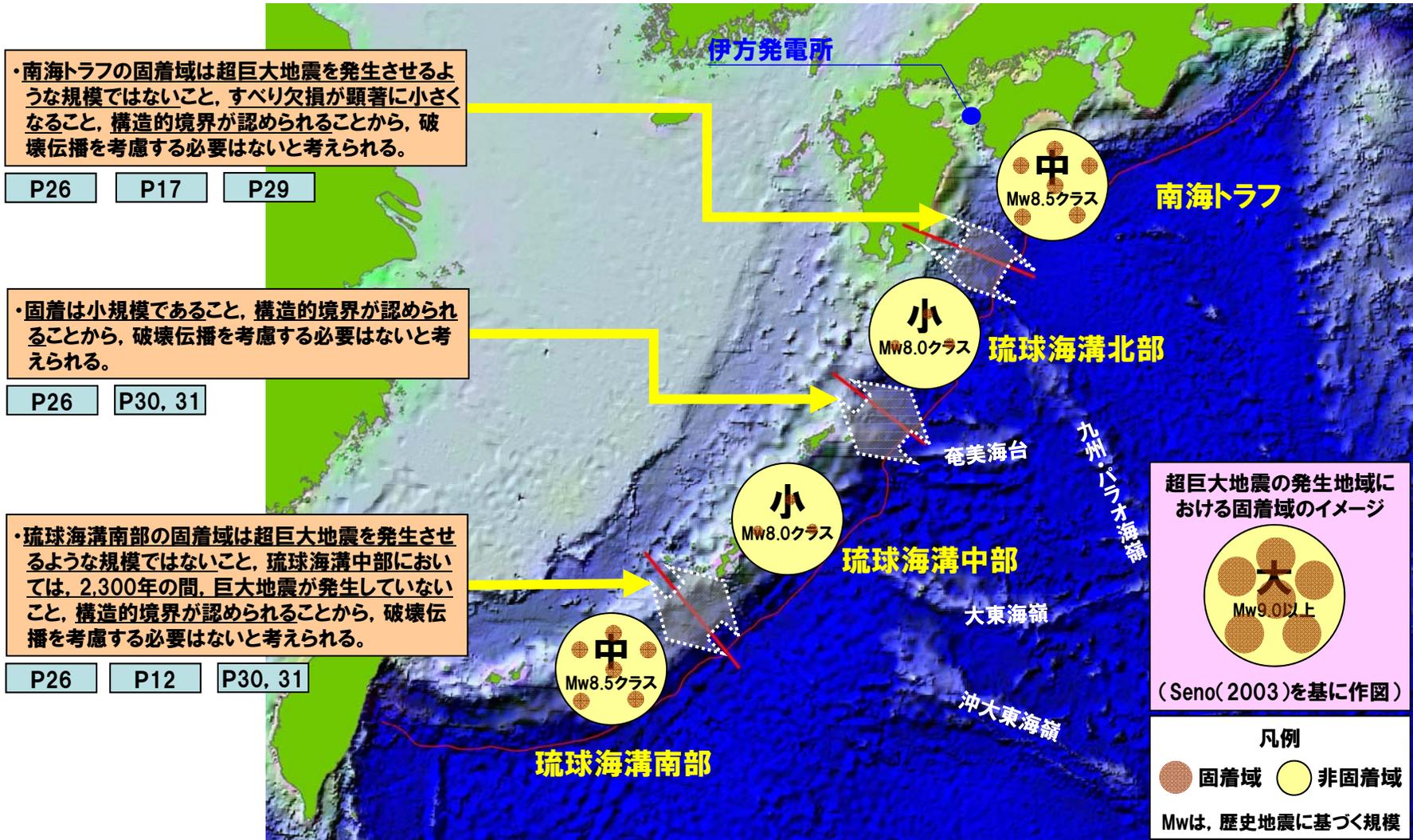


琉球海溝における測地学的検討(Nishimura et al., 2004)

- ・琉球弧のGPS観測データを説明するモデルとして、1ブロックのモデル(b)と、トカラギャップ(トカラ横ずれ断層)及び慶良間ギャップ(宮古横ずれ断層)で分けられる北部・中部・南部の3ブロックからなるモデル(a)の2種類を想定。
- ・2種類のモデルとGPS観測データを比較した結果、ブロックが1つと仮定するよりも、ブロックが3つと仮定した方が、琉球弧の動きをよく説明できる。

(2) 破壊伝播の検討 (評価結果)

○固着域及び構造的な境界に関する分析結果から、南海トラフ～琉球海溝において、各領域を横断するような破壊伝播(スケーリング的な連動)を考慮する必要はないと考えられる。

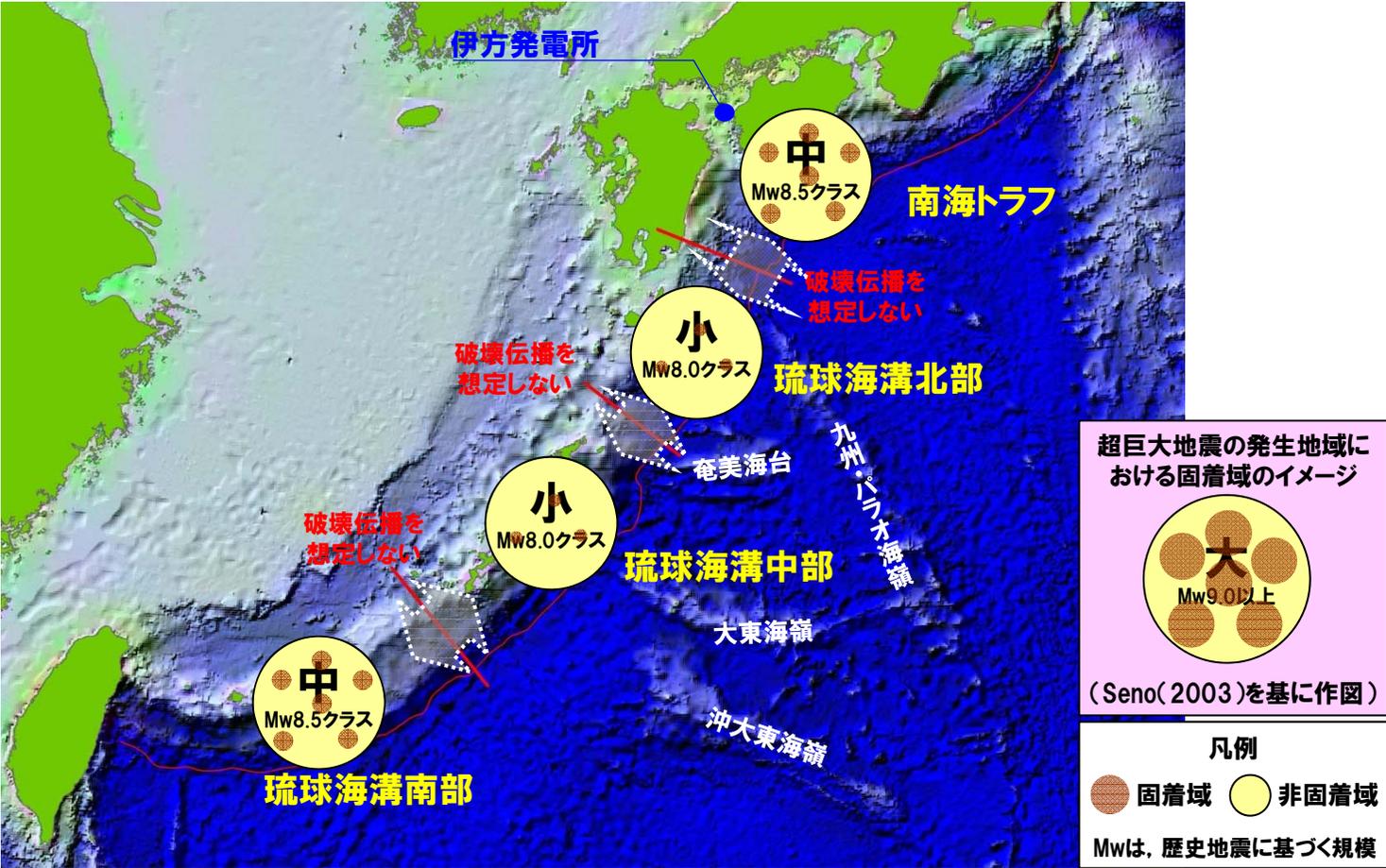


各領域の固着域のイメージ

1. 南海トラフ～琉球海溝での分析
 - (1) 固着域に関する分析
 - (2) 破壊伝播の検討
 - (3) 南海トラフ～琉球海溝での分析のまとめ
2. 津波評価
 - (1) 波源の設定
 - (2) 計算結果

(3) 南海トラフ～琉球海溝での分析のまとめ

- 各領域内における最大規模の歴史地震は、南海トラフではMw8.5クラス、琉球海溝北部・中部ではMw8.0クラス、琉球海溝南部ではMw8.5クラスであるものの、それらを超える可能性を検討した。
- 世界の超巨大地震発生地域と南海トラフ～琉球海溝を比較・分析した結果から、南海トラフ～琉球海溝においては、世界の超巨大地震発生地域レベルの固着域はなく、各領域内における最大規模の歴史地震と整合的な固着域が想定される。
- 固着域及び構造的な境界に関する分析結果から、南海トラフ～琉球海溝において、各領域を横断するような破壊伝播(スケールリング的な連動)を考慮する必要はないと考えられる。



各領域の固着域のイメージ

1. 南海トラフ～琉球海溝での分析

(1) 固着域に関する分析

(2) 破壊伝播の検討

(3) 南海トラフ～琉球海溝での分析のまとめ

2. 津波評価

(1) 波源の設定

(2) 計算結果

(1) 波源の設定 (波源域の想定)

○「1. 南海トラフ～琉球海溝での分析」の結果、各領域内の固着域による破壊の大きさは、各領域の大きさに比べ、十分小さいと考えられるものの、安全評価上の観点から、領域内にある複数の固着域が連動破壊することにより、領域全範囲がスケール的に破壊する場合を想定するとともに、琉球海溝に関する知見の収集状況を踏まえ、認識論的不確実さを補充する観点(想定外の事象を無くす観点)から、以下のとおり津波波源を設定することとした。

〔琉球海溝〕

固着域の分析結果を踏まえると、各領域内における最大規模の固着域による破壊範囲は各領域の大きさに比べ、十分小さいものの、不確かさを考慮し、領域内の複数の固着域が連動破壊することにより、領域全範囲がスケール的に破壊する場合を想定する。

Mw8.7～8.9の地震を想定

(不確かさとして考慮した知見)

- ・東北地方太平洋沖地震では、想定されていなかった海溝軸付近(浅部)での固着域が破壊し、海溝軸付近で大きなすべりが観測された
→ 琉球海溝内の固着域は、小規模ではあるものの、海溝軸付近(浅部)に存在する可能性がある。
- ・海溝軸付近のすべり量は津波の大きさに与える影響が大きい
→ 海溝軸付近での固着域については、十分安全側に取り扱うべきと考えられる。

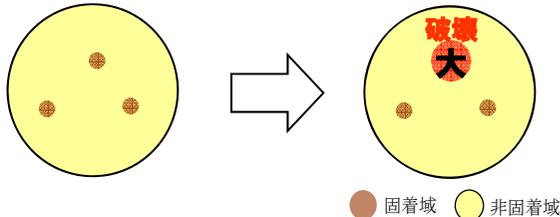
更なる安全性の検討

以下の通り、更なる安全評価上の観点から、科学的・技術的知見に基づく想定を超える津波波源を設定。

・海溝軸付近での固着域が、東北地方太平洋沖地震レベルの大きさ*で破壊する場合を想定

Mw9.0の地震を想定
(発電所への影響が最も大きい箇所に設定)

* 琉球海溝では東北地方太平洋沖地震レベルの固着域は確認されないものの、最大限の固着域として、東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)レベルの大きさを想定



琉球海溝での破壊イメージ

不確かさを考慮(積上げ)

更なる想定

断層の長さ	各領域の全長と設定
断層の幅	南海トラフと同等の深さに対応する断層幅を設定
平均すべり量	巨大地震のばらつきを考慮
すべり量の不均一	大すべり域の面積を最大とし、安全側の位置に設定
破壊様式	破壊開始点等を安全側に設定

断層の長さ	Mw9.0の地震に対応する断層長さとして設定
-------	------------------------

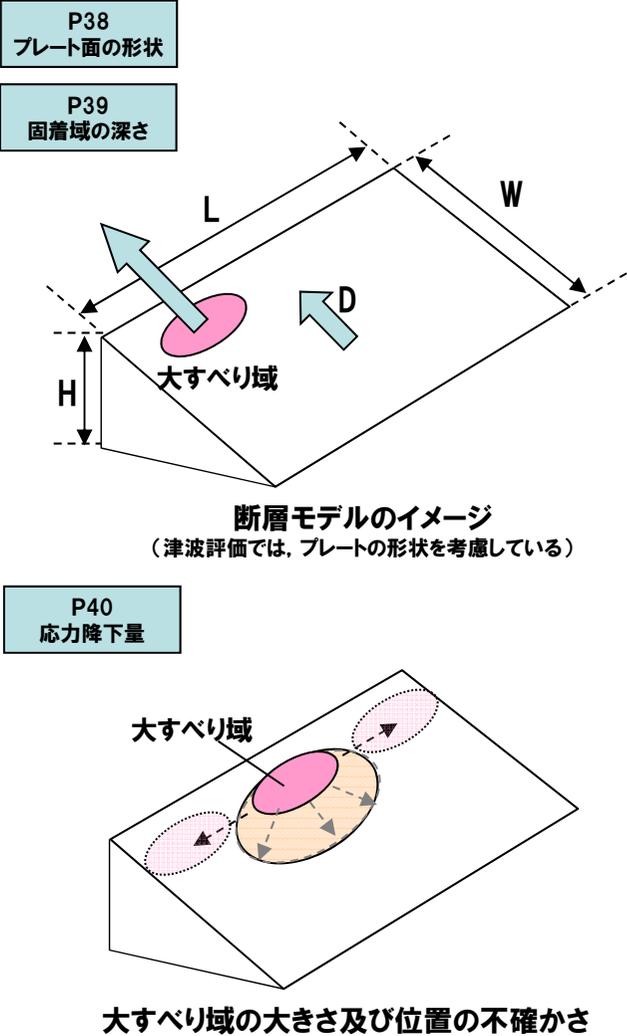
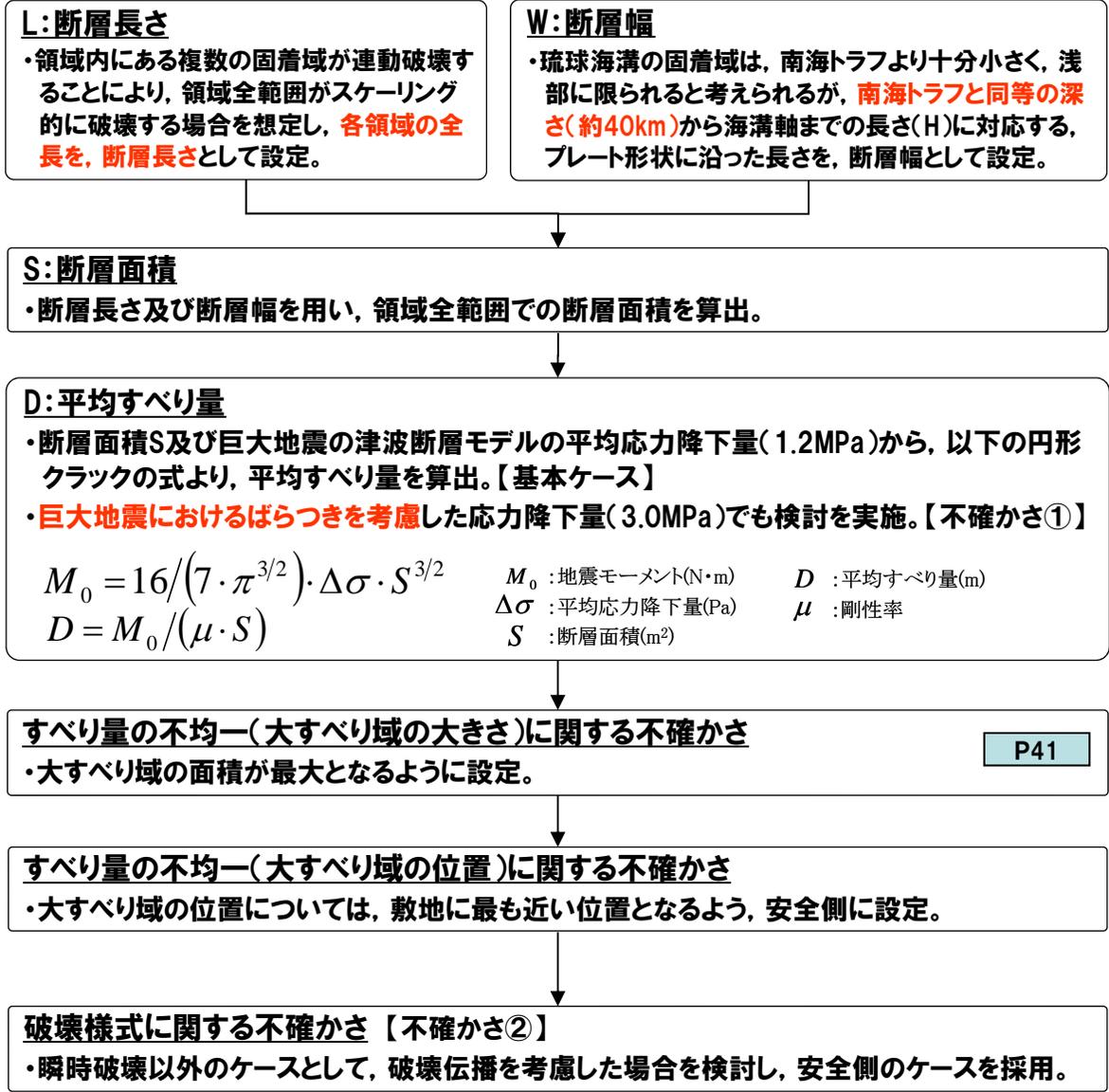
考慮した不確かさと知見に基づく想定を超える設定

〔南海トラフ〕

南海トラフでの津波は、内閣府の想定ケースのうち最も安全側のケースを代表とした。(津波評価実施済み)

(1) 波源の設定 (設定の概要)

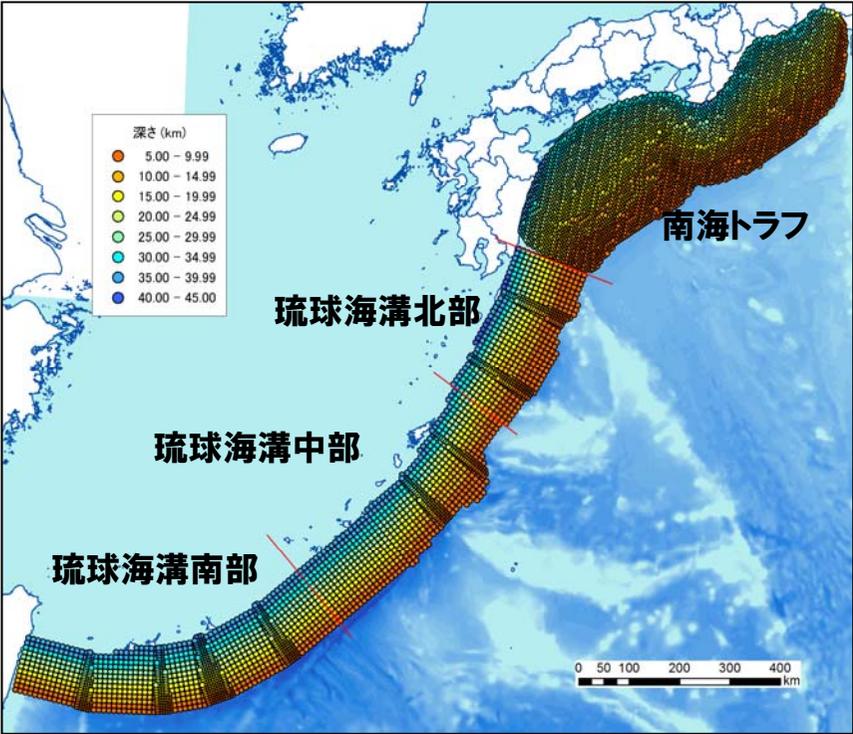
○津波波源の設定方法の流れについて、以下に示す。



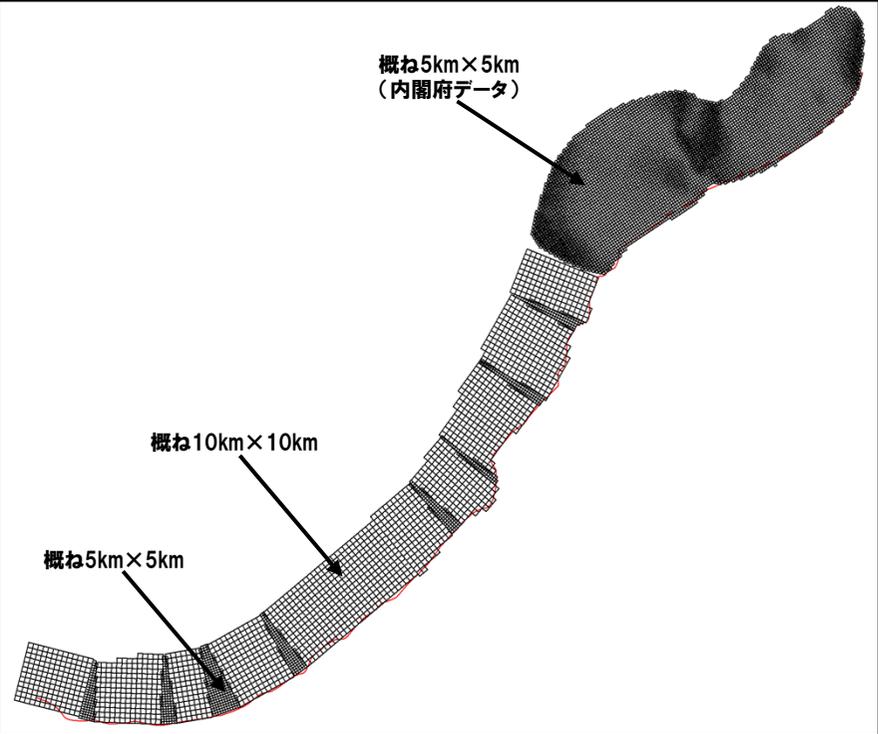
(1) 波源の設定 (プレート面形状)

- 南海トラフ領域のプレート面形状は、内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会(2012)」に基づき設定する。
- 琉球海溝領域のプレート面形状は、下表により設定する。

海溝軸	日向灘および南西諸島海溝周辺の地震活動の長期評価について(地震調査研究推進本部, H16.2)
50km深度	地震ハザードステーションJ-SHIS(防災科学技術研究所(NIED))
プレート面形状	北側は海洋研究開発機構(JAMSTEC), 南側は海溝軸深度を6kmとして深度50kmまでの距離から求まる傾斜角を深さ方向に一律に設定。北側と南側の間はプレート形状が滑らかに摺り合うように設定。
小断層サイズ	(南海トラフ領域)概ね5km×5km, (琉球海溝領域)概ね10km×10km, 及び5km×5km



プレート面形状モデルの深さ分布図



プレート面形状モデルの小断層配置図

(1) 波源の設定 (南海トラフでの固着域の深さ)

○内閣府(2011)による南海トラフのモデルにおいては、温度から想定される固着域(深さ約30km)から、さらに深い深部低周波地震(深さ約40km)までの領域をある程度固着しているとして、津波評価の断層モデルに適用している。

【内閣府】

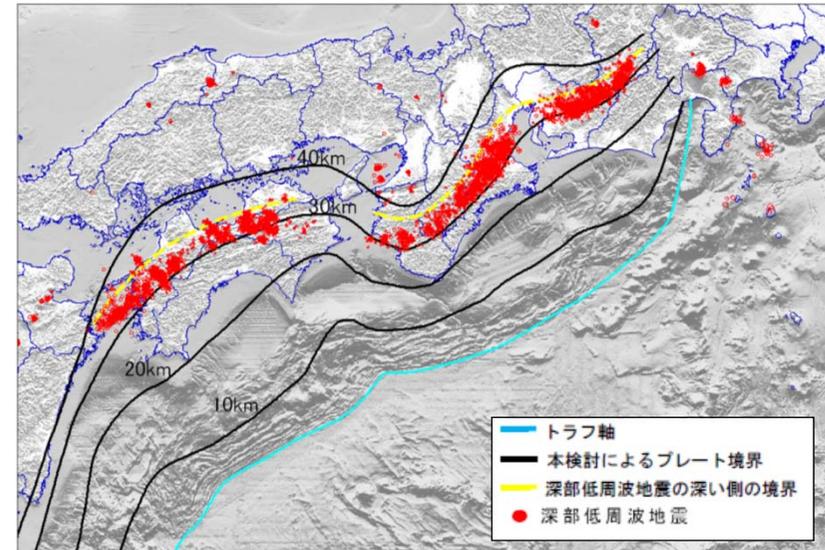
(南海トラフの巨大地震モデル検討会 中間取りまとめ(2011)を要約)

①浅部境界

- ・深さ約10kmより深い領域でプレートが固着状態にあるとの研究 (Hyndman, 1997) から、強震動を発する領域は、プレート境界面の深さ10kmより深い領域と考えられる。
- ・しかし、東北地方太平洋沖地震の研究結果を踏まえると、深さ10kmからトラフ軸までの領域については、高い津波をもたらす可能性がある。

②深部境界

- ・これまでの検討※では、深さ約30kmより浅い領域は固着状況にあると考えられていた。
- ・しかし、近年の高感度地震観測網の整備により、これよりも深い領域で、深部低周波地震が観測され、プレートがある程度固着していると考えられるため、想定津波波源域はプレート境界面の約30kmからそれよりもやや深いと考えられる深部低周波地震が発生している領域とする。なお、深部低周波地震が観測されなくなる深さは約40kmまでである。



南海トラフにおける低周波地震の分布(内閣府(2011))

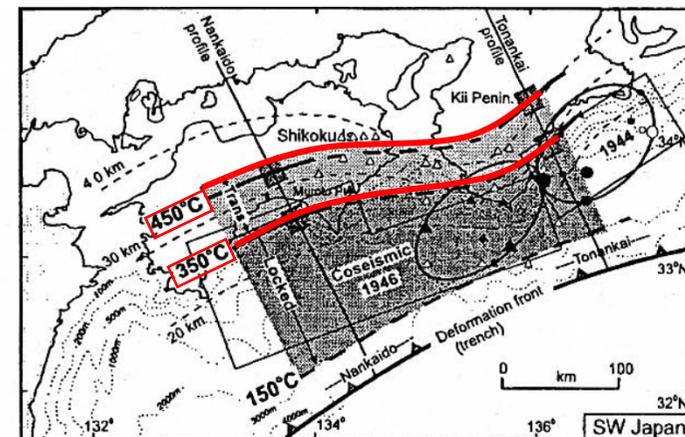
※これまでの検討(Hyndman et al (1997))

①浅部境界について

沈み込み直後は、未固結な粘土堆積物が境界面に持ち込まれ、安定すべりが起こるが、深くなるにつれ温度が上昇し、100℃～150℃に達すると脱水反応が起こって不安定すべりが可能となる。温度分布モデルから、深さにすると約10kmに対応すると考えられる。

②深部境界について

駿河～南海トラフのように、若いフィリピン海プレートが大陸地殻の下に沈み込むようなケースでは、深い領域での安定すべりへの遷移は温度によって支配される。おおむね350～450℃までは不安定すべりが可能であり、温度分布モデルから、南海トラフの場合、深さ約30kmに対応すると考えられる。



Hyndman et al. (1997)

Heat flowやheat generationの観測結果を拘束条件とした温度分布モデル

(1) 波源の設定 (超巨大地震の応力降下量)

- 内閣府 (2012) によると, 巨大地震の津波断層モデルの応力降下量の平均値は1.2MPaであり, 標準偏差(1σ)を考慮すると, 2.2MPaとなること等を踏まえ, 3.0MPaを採用している。
- 室谷(2013)による超巨大地震を含めた津波断層モデルにおけるスケーリング則において, 円形クラックを仮定すると, 応力降下量は約1.6MPaとなる。また, S-M0及びD-M0関係において, 超巨大地震は, 概ね±σの範囲のばらつきを有しており, 面積-1σ, すべり量+1σの不確かさを考慮すると, 応力降下量は3.0MPaとなる。

【内閣府】(南海トラフの巨大地震モデル検討会(2012))

- ・6事例(2003年十勝沖, 1946年南海, 1944年東南海, 2011年東北, 2010年チリ, 2004年スマトラ)の巨大地震における津波断層モデルの応力降下量の平均値は1.2MPa, 平均値に標準偏差を加えた値は2.2MPa。
- ・内閣府においては, 南海トラフにおける巨大地震の津波断層モデルで用いる応力降下量は, 3.0MPaを採用している。

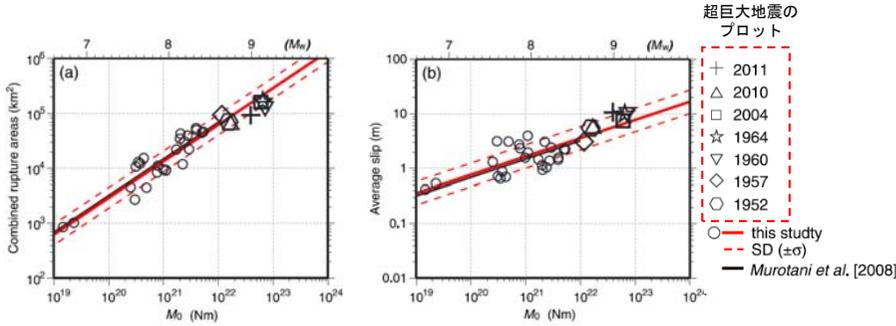
【室谷(2013)】プレート境界地震のスケーリング関係

- ・日本付近で発生したMw 8.4以下の10個のプレート境界地震(25モデル)に, 7つの巨大地震(2011年東北地方太平洋沖地震, 2010年チリ地震, 2004年スマトラ-アンダマン地震, 1964年アラスカ地震, 1960年チリ地震, 1957年アリューシャン地震, 1952年カムチャツカ地震)を追加し, スケーリング則を検討した。

Earthquake	Reference	data	M0 (N m)	Mw	S (km ²)	σ (MPa)	log10(Δσ)	地震別中央値
2003 Tokachi-oki	Tanioka et al. (2004)	Tu	1.00E+21	8	9600	2.6	0.41	0.41
1946 Nankai	Satake (1993)	Tu, G	3.90E+21	8.3	58400	0.7	-0.15	-0.05
	Kato and Ando (1997)	Tu, G	4.00E+21	8.3	54000	0.8	-0.10	
	Tanioka and Satake (2001a)	Tu	5.30E+21	8.4	52650	1.1	0.04	
	Baba et al. (2002)	Tu	4.90E+21	8.4	52650	1	0.00	
1944 Tonankai	Satake (1993)	Tu, G	2.00E+21	8.1	48600	0.5	-0.30	-0.22
	Kato and Ando (1997)	Tu, G	2.80E+21	8.2	43200	0.8	-0.10	
	Tanioka and Satake (2001b)	Tu	2.00E+21	8.1	42525	0.6	-0.22	
東北地方太平洋沖地震	内閣府	Tsunami+GPS	4.21E+22	9.0	1.20E+05	2.5	0.39	0.39
2010年チリ地震	Lorito et al.(2011)	GPS+Tsunami+InSAR	1.55E+22	8.8	130000	0.8	-0.08	-0.08
2004年スマトラ地震	Lorito et al.(2010)	GPS+Tsunami+衛星	6.63E+22	9.15	315000	0.9	-0.03	0.07
	Fuji and Satake	Tsunami+衛星	6.00E+22	9.12	220000	1.5	0.16	

中央値の平均値
log(Δσ) 0.09
Δσ 1.2
+標準偏差 2.2

応力降下量の整理(内閣府(2012))



津波断層モデルにおけるスケーリング則(室谷(2013))



(1) 波源の設定 (大すべり域の大きさ)

○大すべり域の大きさについては、審査ガイドに記載される東北地方太平洋沖地震の比率範囲(4倍:2~11%, 3倍:10~20%, 2倍:33~40%)に基づき、大すべり域の面積が最大となるよう、「4倍:11%, 3倍:20%, 2倍:40%」に設定。

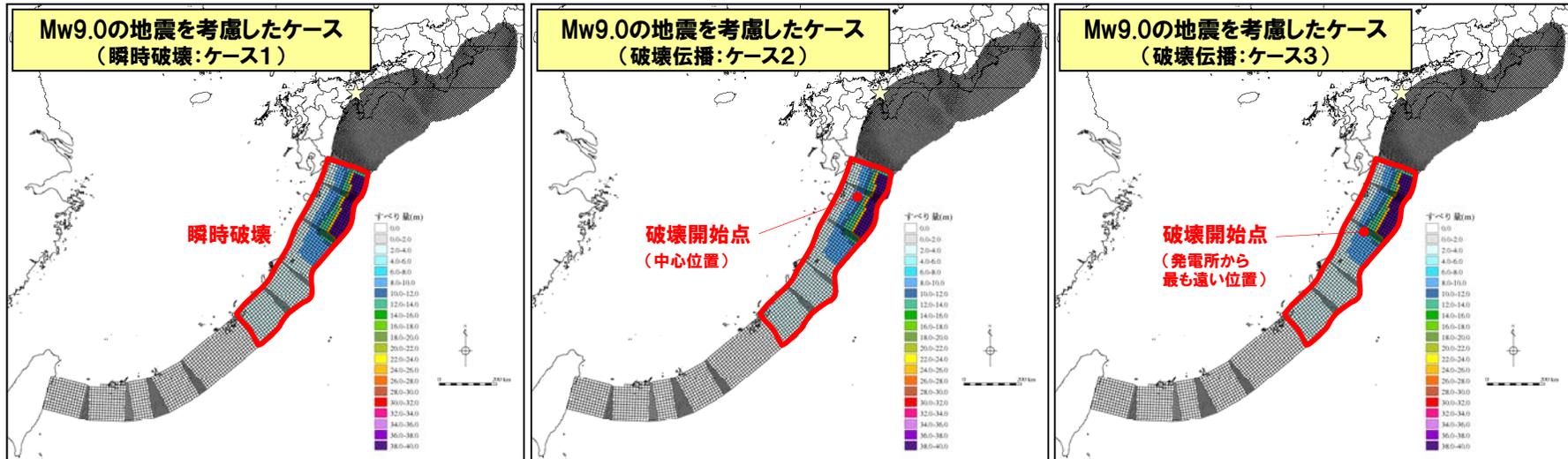
波源モデル	JNESモデル	内閣府モデル 0~300sec時間差モデル	東北大学モデル Ver1.2	藤井佐竹モデル Ver4.2	藤井佐竹モデル Ver4.6					
① 平均すべりの約2倍のすべり量の領域 ② 平均すべりの約3倍のすべり量の領域 ③ 平均すべりの約4倍のすべり量の領域	<p>すべり量(m) 01-5 5-10 10-20 20-30 30-40 40-60 >60</p> <p>*0~300sec時間差モデル</p>	<p>すべり量(m) 01-5 5-10 10-20 20-30 30-40 40-60 >60</p> <p>*0~300sec時間差モデル</p>	<p>すべり量(m) 01-5 5-10 10-20 20-30 30-40 40-60 >60</p>	<p>すべり量(m) 01-5 5-10 10-20 20-30 30-40 40-60 >60</p>	<p>すべり量(m) 01-5 5-10 10-20 20-30 30-40 40-60 >60</p> <p>*破壊伝播考慮</p>					
平均すべり量	14.6 m		11.7m	9.5m	14.5m	10.6m				
すべり量倍率	面積比	平均すべり量比	面積比	平均すべり量比	面積比	平均すべり量比	面積比	平均すべり量比	面積比	平均すべり量比
2倍	37%	2.1倍	40%	2.0倍	40%	2.0倍	33%	2.1倍	34%	2.1倍
3倍	18%	3.1倍	15%	3.0倍	20%	2.9倍	10%	3.1倍	14%	3.0倍
4倍	11%	4.0倍	2%	3.9倍	—	—	—	—	—	—

東北地方太平洋沖地震における津波波源モデルのすべり分布(審査ガイド)



(1) 波源の設定 (検討ケース: 琉球海溝Mw9.0の地震)

○認識論的不確実さを補充する観点(想定外の事象を無くす観点)から、発電所への影響が最も大きい箇所にMw9.0の地震を設定したケースとして、以下に示す。



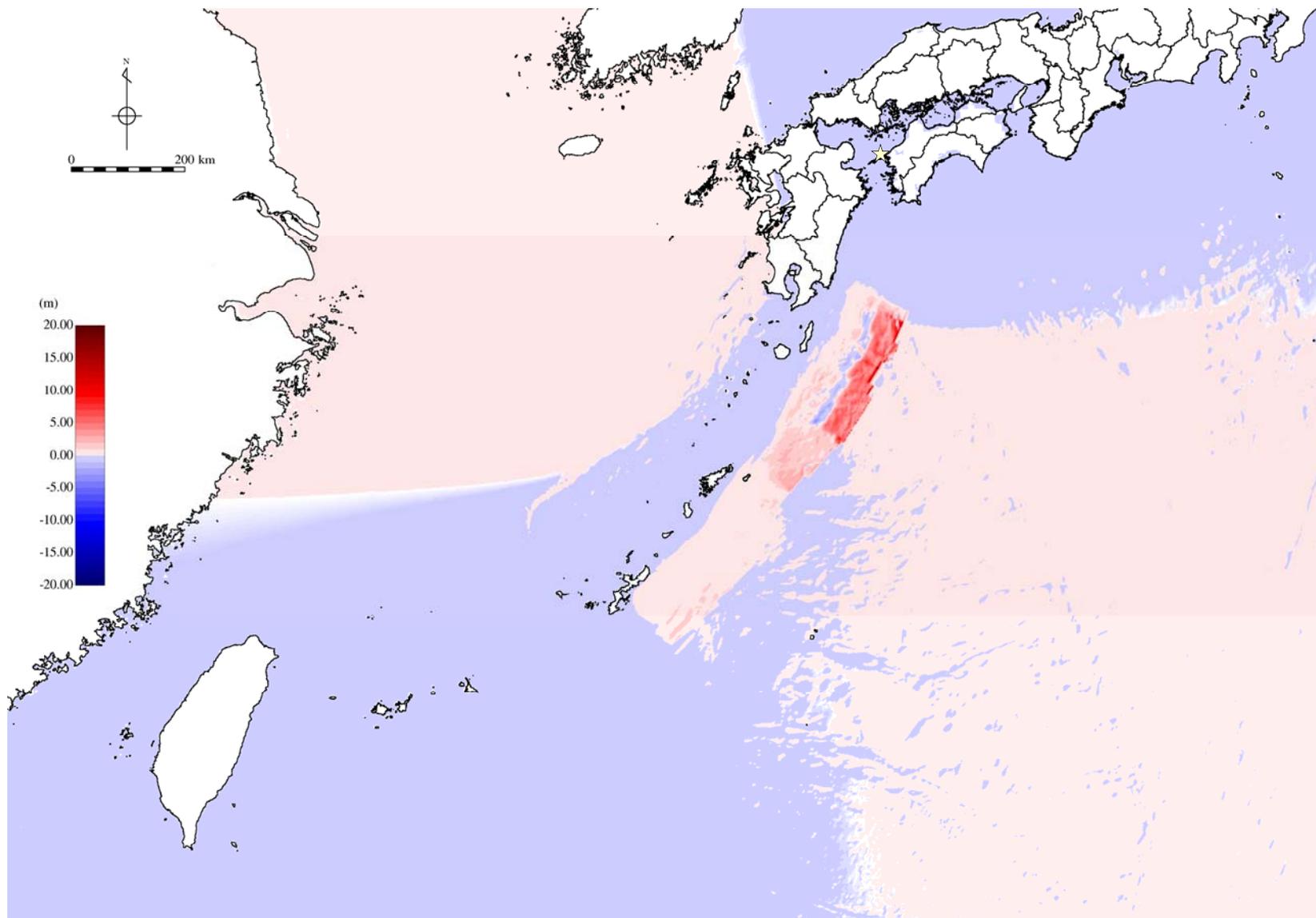
想定波源域は赤枠線内

	Mw9.0の地震を考慮したケース (瞬時破壊: ケース1)
地震発生深さ	海溝軸～深さ40km
総面積	101,662km ²
モーメントマグニチュード Mw	9.0
応力降下量	3.0MPa
剛性率	4.1×10 ¹⁰ N/m ²
平均すべり量	9.6m
地震モーメントMo	4.0×10 ²² N・m
大すべり域の面積比 (平均すべり量の倍率)	2倍:40% 3倍:20% 4倍:11%
すべり量の配置方法	平均すべり量の4倍領域: 深さ約10kmまで 平均すべり量の3倍領域: 深さ約15kmまで 平均すべり量の2倍領域: 深さ約25kmまで
すべり角	海溝軸に直交方向
破壊伝播速度	瞬時破壊
ライズタイム	瞬時破壊

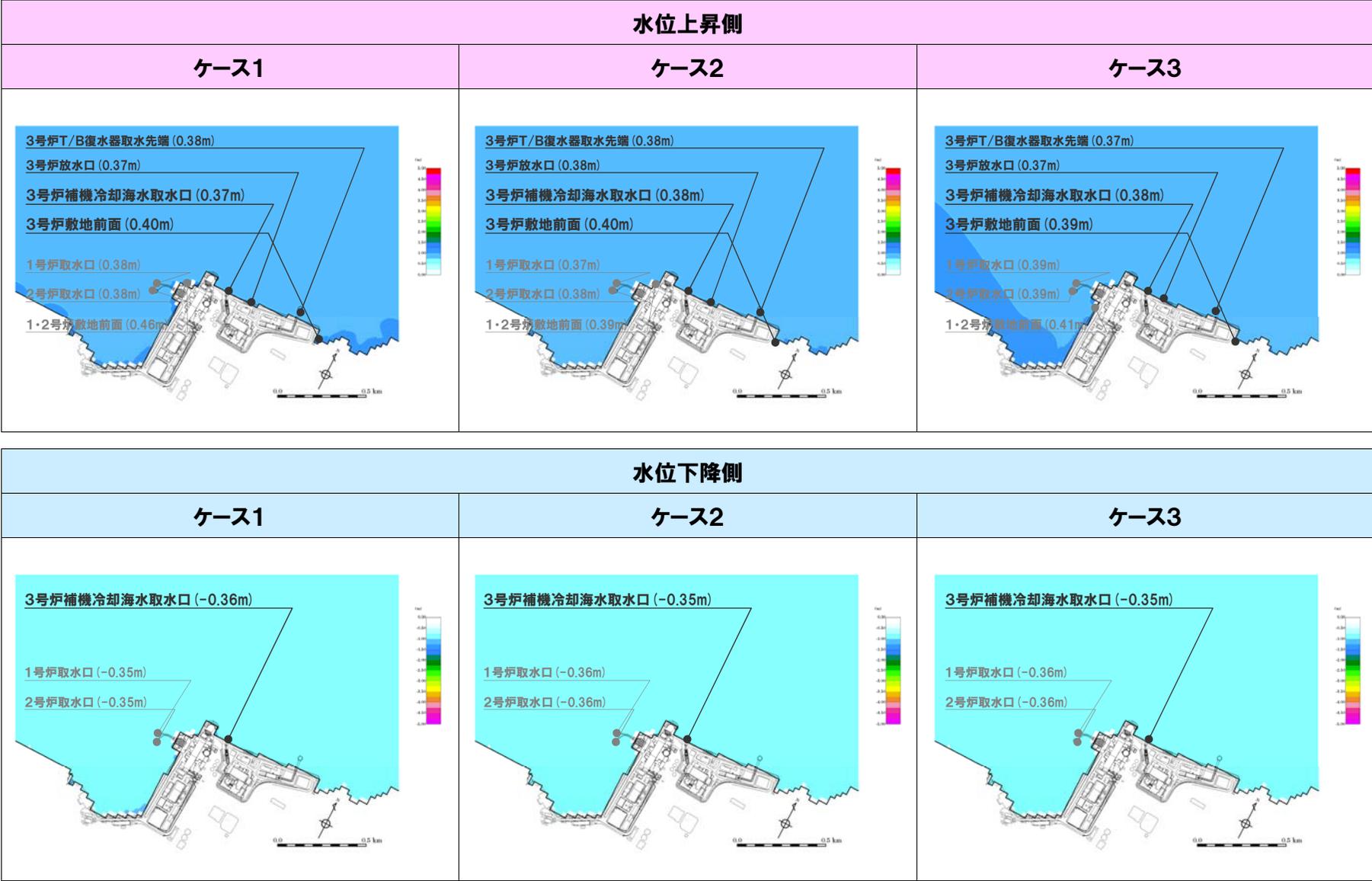
	Mw9.0の地震を考慮したケース (破壊伝播: ケース2及びケース3)
地震発生深さ	海溝軸～深さ40km
総面積	101,662km ²
モーメントマグニチュード Mw	9.0
応力降下量	3.0MPa
剛性率	4.1×10 ¹⁰ N/m ²
平均すべり量	9.6m
地震モーメントMo	4.0×10 ²² N・m
大すべり域の面積比 (平均すべり量の倍率)	2倍:40% 3倍:20% 4倍:11%
すべり量の配置方法	平均すべり量の4倍領域: 深さ約10kmまで 平均すべり量の3倍領域: 深さ約15kmまで 平均すべり量の2倍領域: 深さ約25kmまで
すべり角	海溝軸に直交方向
破壊伝播速度	2.5km/s
ライズタイム	1分

1. 南海トラフ～琉球海溝での分析
 - (1) 固着域に関する分析
 - (2) 破壊伝播の検討
 - (3) 南海トラフ～琉球海溝での分析のまとめ
2. 津波評価
 - (1) 波源の設定
 - (2) 計算結果

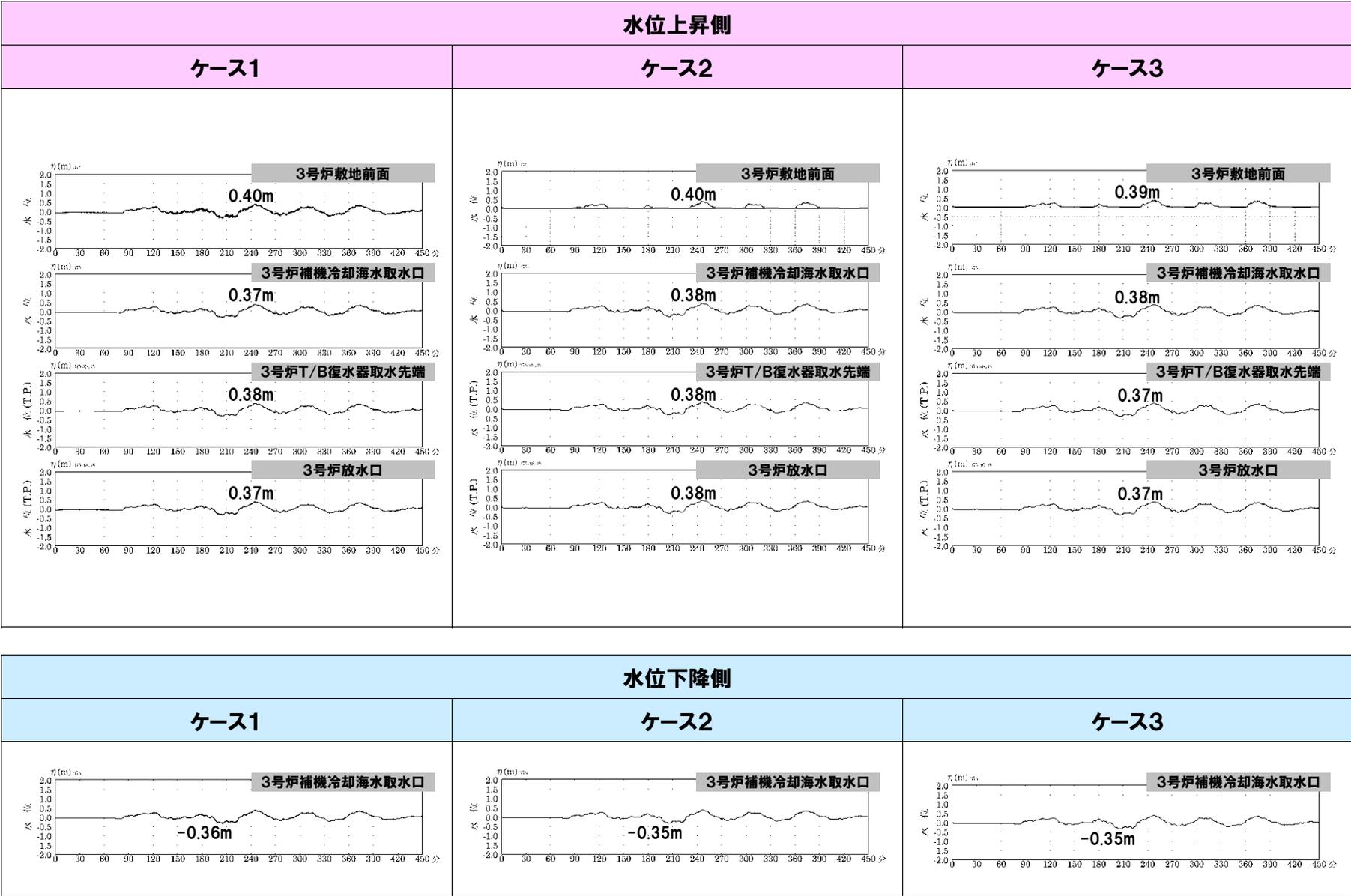
(2) 計算結果 (初期鉛直地盤變動量分布)



(2) 計算結果



(2) 計算結果



(2) 計算結果:まとめ

検討ケース		水位上昇側				水位下降側
		3号炉 敷地前面	3号炉 補機冷却海水取水口	3号炉 T/B復水器取水先端	3号炉 放水口	3号炉 補機冷却海水取水口
V	内閣府検討会の 南海トラフの巨大津波	T.P.+2.39m [-0.84m]	T.P.+2.37m [-0.84m]	T.P.+2.38m [-0.84m]	T.P.+2.38m [-0.84m]	T.P.-2.55m [-0.84m]
V-1	水平渦動粘性係数を 0m ² /sとした津波評価	T.P.+2.45m [-0.84m]	T.P.+2.38m [-0.84m]	T.P.+2.38m [-0.84m]	T.P.+2.39m [-0.84m]	T.P.-2.55m [-0.84m]

水位上昇側は期望平均満潮位(T.P.+1.62m)を考慮し、水位下降側は期望平均干潮位(T.P.-1.69m)を考慮した値。
[]内の数値は伊方発電所における地盤変動量(+が隆起、-が沈降)。

V-2	琉球海溝(Mw9.0)	ケース1 (瞬時破壊)	T.P.+2.02m [-0.06m]	T.P.+1.99m [-0.06m]	T.P.+2.00m [-0.06m]	T.P.+1.99m [-0.06m]	T.P.-2.05m [0.06-m]
		ケース2 (破壊伝播:中心位置)	T.P.+2.02m [-0.06m]	T.P.+2.00m [-0.06m]	T.P.+2.00m [-0.06m]	T.P.+2.00m [-0.06m]	T.P.-2.04m [0.06-m]
		ケース3 (破壊伝播:発電所から最も遠い位置)	T.P.+2.01m [-0.06m]	T.P.+2.00m [-0.06m]	T.P.+1.99m [-0.06m]	T.P.+1.99m [-0.06m]	T.P.-2.04m [0.06-m]

水位上昇側は期望平均満潮位(T.P.+1.62m)を考慮し、水位下降側は期望平均干潮位(T.P.-1.69m)を考慮した値。
[]内の数値は伊方発電所における地盤変動量(+が隆起、-が沈降)。

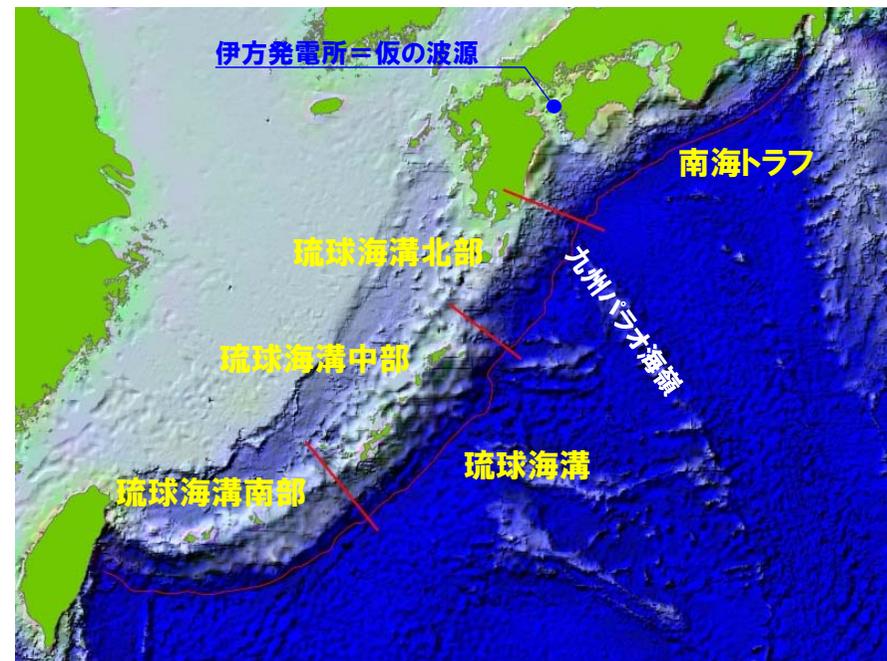
○琉球海溝では東北地方太平洋沖地震レベルの固着域は確認されないものの、最大限の固着域として、東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)レベルの大きさを想定した場合の津波計算を実施した結果、プレート境界付近に想定される地震に伴う津波として検討を実施していた内閣府検討会「南海トラフの巨大地震に伴う津波」と比較して伊方発電所への影響度が小さいことを確認した。

参考1
発電所を波源と仮定した津波計算による
伝播特性に関する考察

津波の伝播特性に関する試検討

- 伊方発電所の津波評価における基準津波の波源は、いずれも発電所の極近または周辺に位置している(海域の活断層に想定される地震に伴う津波、地すべりに伴う津波)。
- また、検討対象としたプレート境界に想定される津波のうち、「南海トラフの巨大地震に伴う津波」は、内閣府検討会が実施した全11ケースのうち、ケース⑤(発電所に最も近い位置(高知南方沖)に大すべり域が配置されているケース)において、発電所の水位上昇量が最大となることが分かっている。ただし、水位上昇量については、豊後水道及び豊予海峡通過による減衰等の影響により、発電所の安全性に影響を及ぼすレベルではないことを確認している。
- 本説明資料においては、琉球海溝Mw9.0の地震に伴う津波の評価を実施した。その際、「『南海トラフの巨大地震に伴う津波』において、発電所に最も近い位置に大すべり域が配置されるケースで水位上昇量が最大となる」という結果を踏まえ、大すべり域の配置は、これと同様に敷地に最も近い配置となるよう、北東端とした。

- ▼
- 本章では、プレート境界に想定される津波における指向性の傾向を把握することを目的とし、波源と水位評価地点の関係を逆転させた場合の津波計算を実施し、遠地の任意地点での水位変動量、伝播特性等を検討することとした。
 - 具体的には、発電所を波源と仮定し、各種プレート境界に想定される津波の波源相当位置における最大水位上昇量や伝播特性を考察する。
 - なお、今回の検討には、津波計算に非線形性があることに留意する必要があるが、指向性の大きな傾向の把握を試みる。



波源の設定

○初期水位分布は、下図のとおり敷地に接する前面海域の半径約2kmの範囲に、初期水位を一律10mを与える。



計算結果

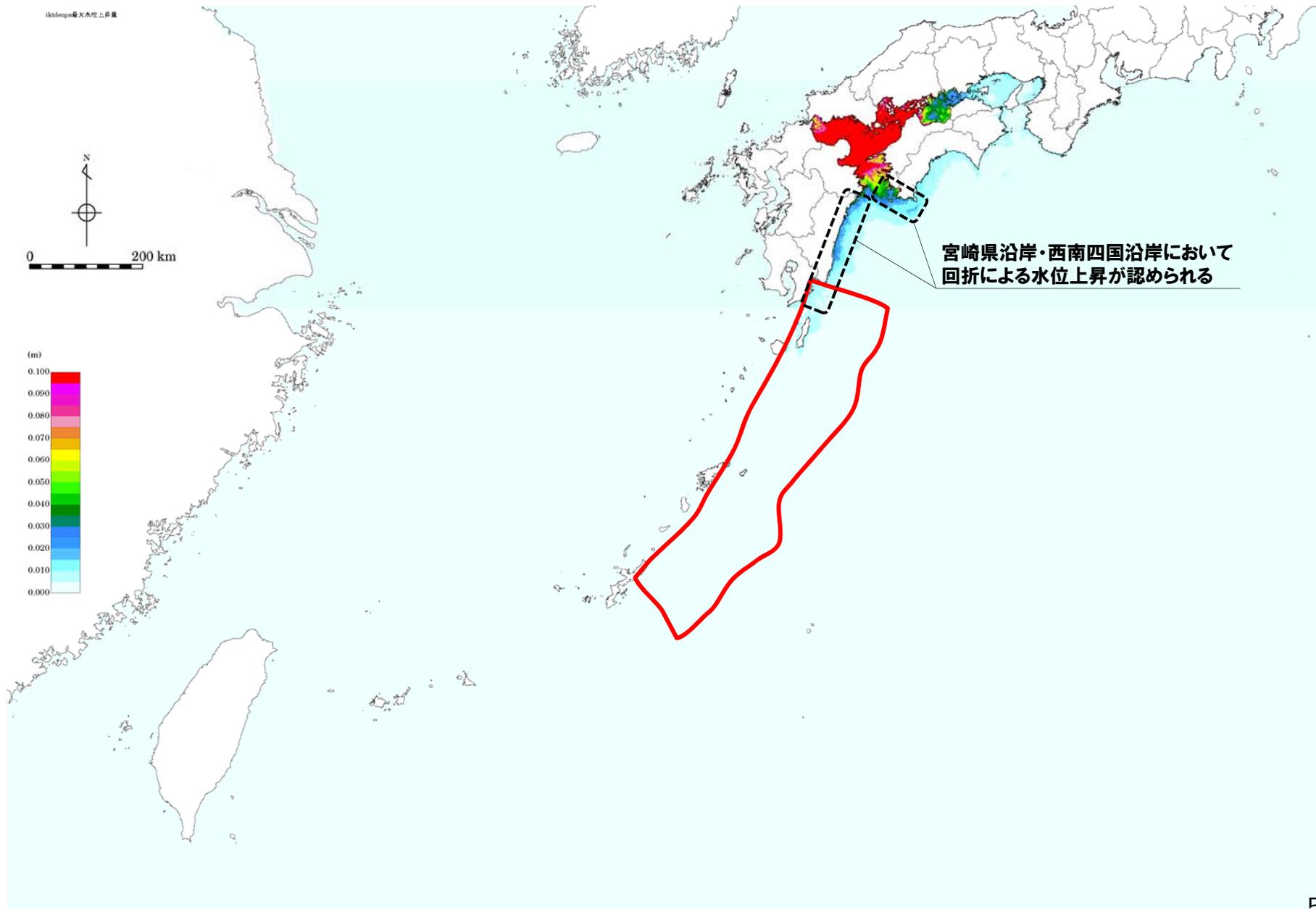
○ 最大水位上昇量分布を次頁以降に示す。

なお伝播特性が検討できるよう、凡例の最大値を100cm・10cm・1cmに分けて表示している。

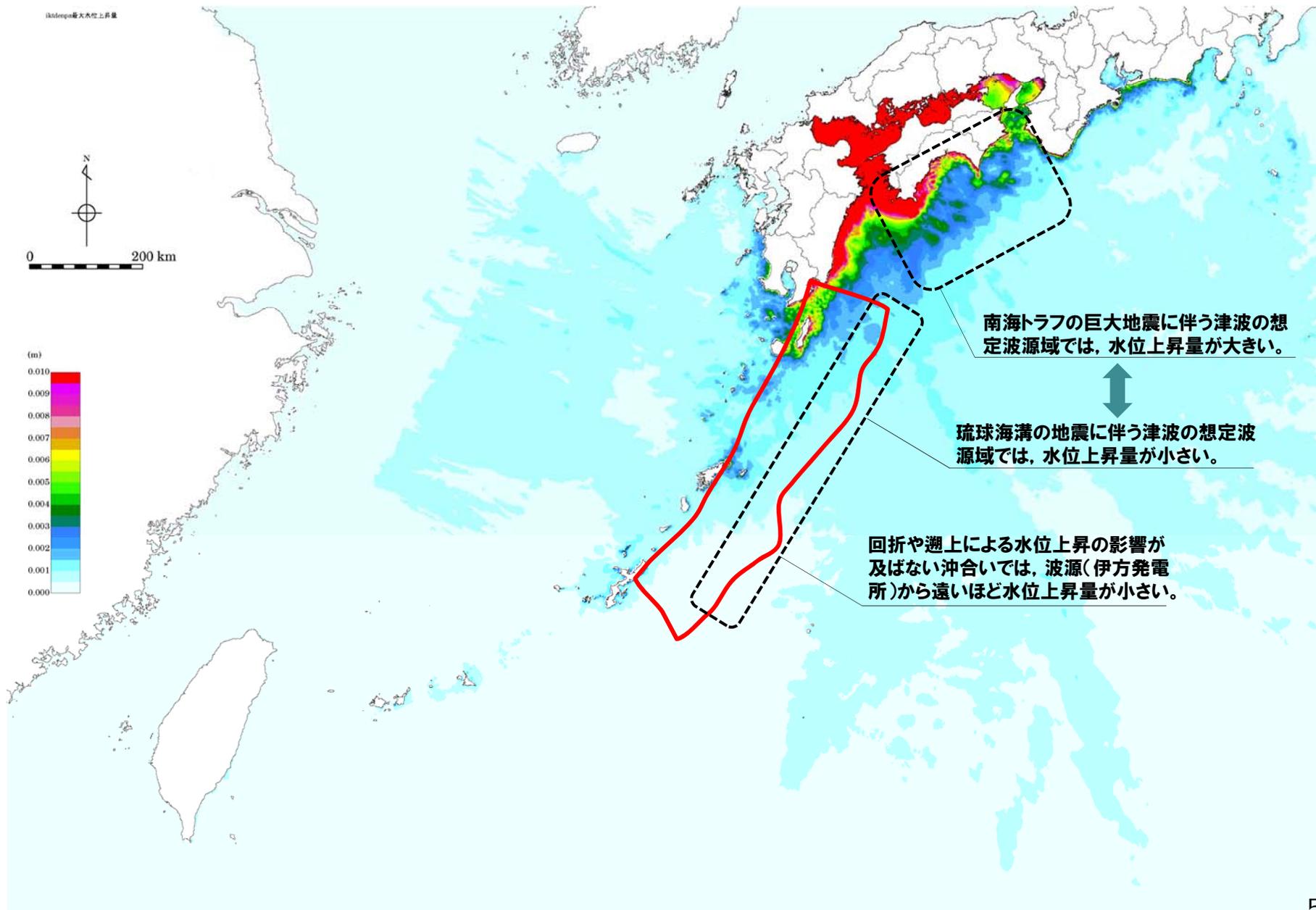
計算結果（最大水位上昇量分布：最大値100cm表示）



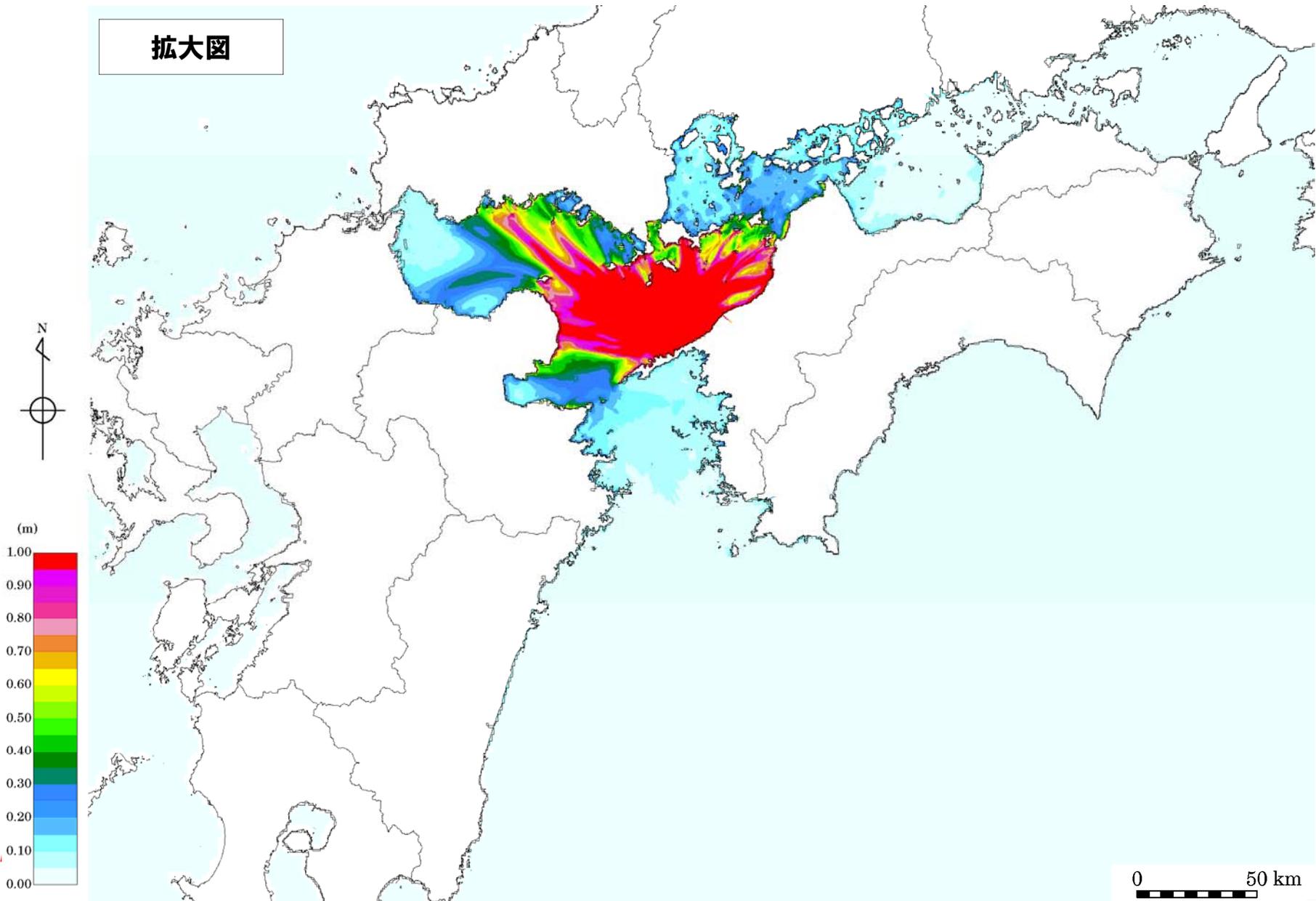
計算結果（最大水位上昇量分布：最大値10cm表示）



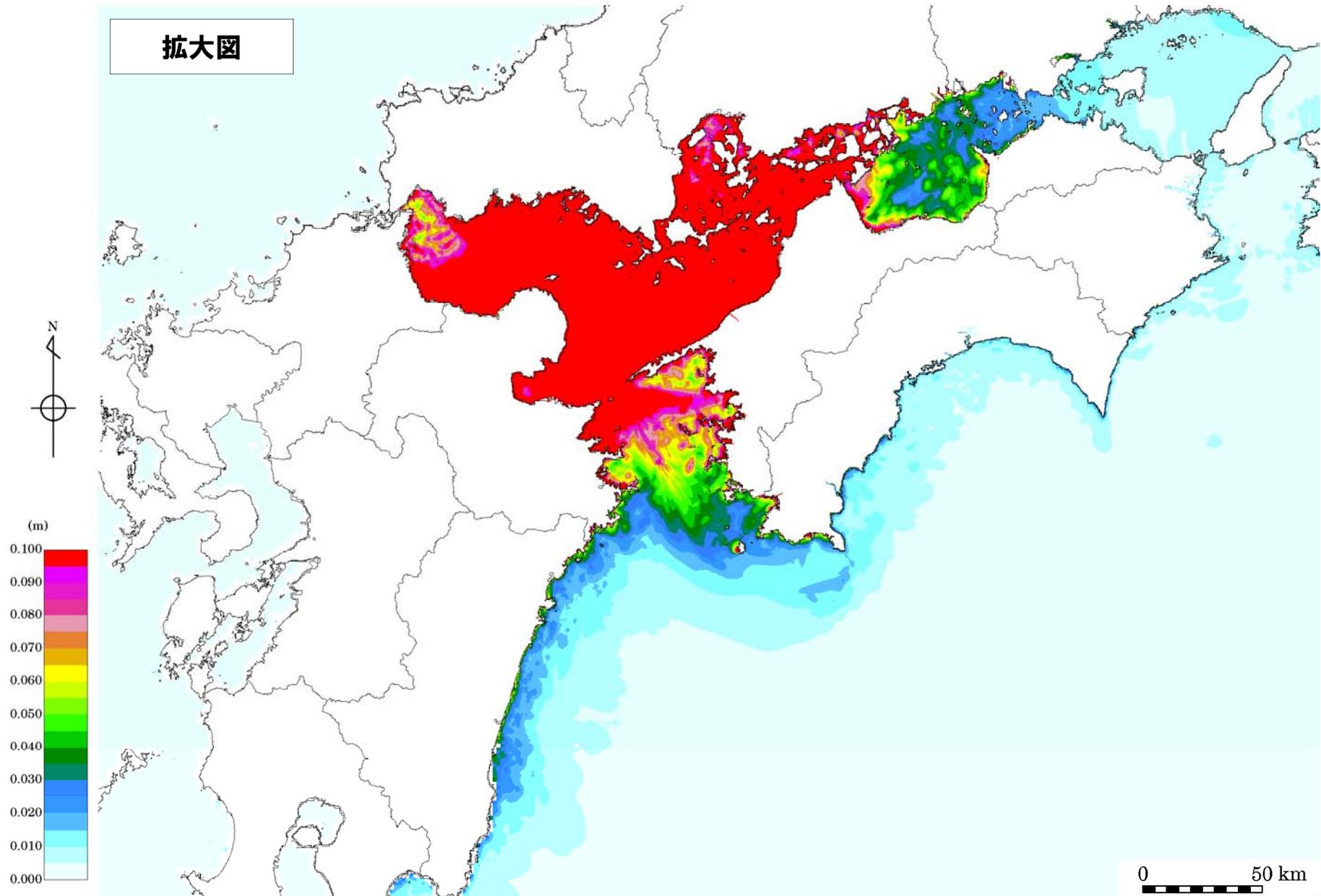
計算結果（最大水位上昇量分布：最大値1cm表示）



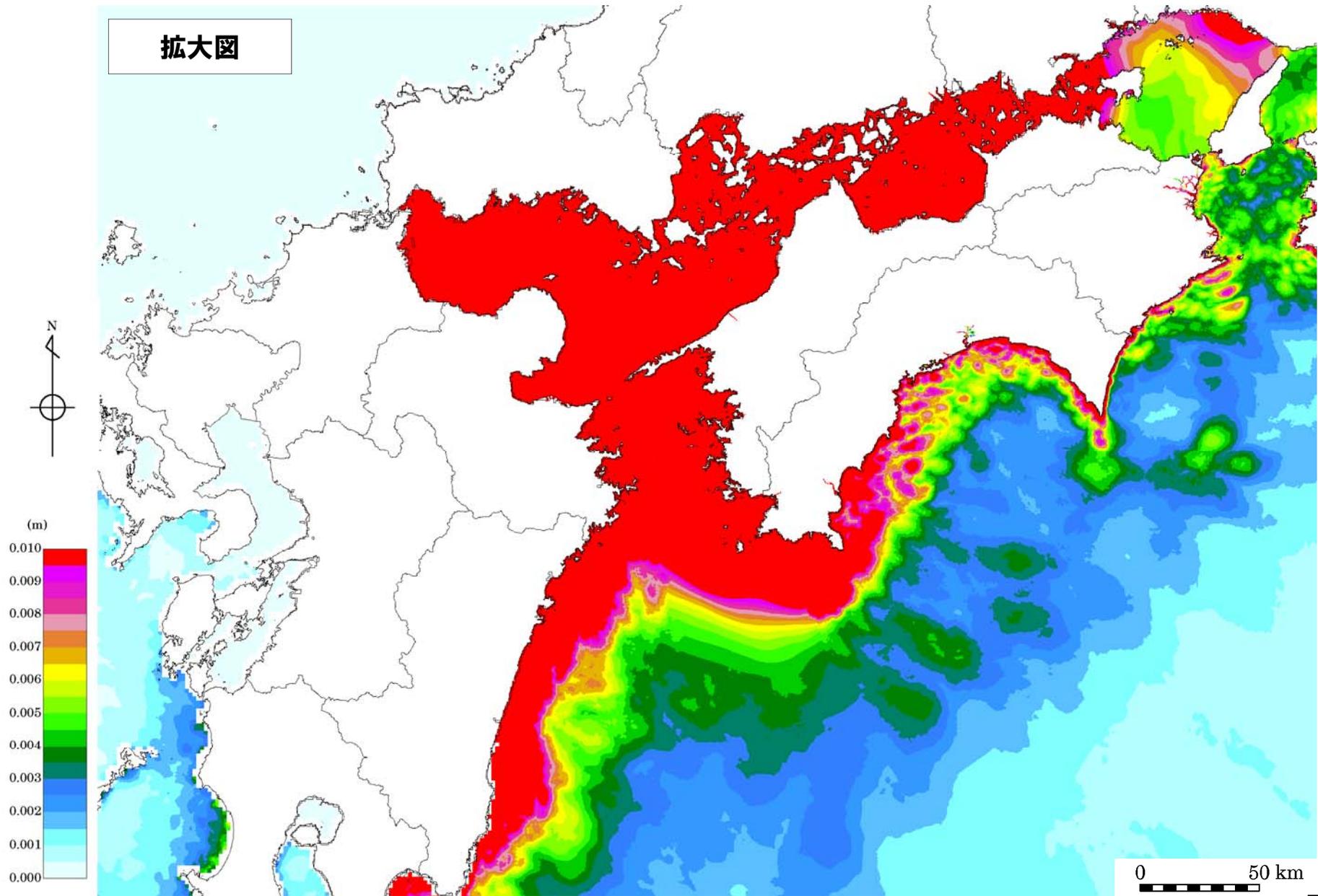
計算結果（最大水位上昇量分布：最大値100cm表示）



計算結果（最大水位上昇量分布：最大値10cm表示）



計算結果（最大水位上昇量分布：最大値1cm表示）



まとめ

- 以上のとおり、琉球海溝と南海トラフの想定波源域の最大水位上昇量を比較すると、琉球海溝のほうが相対的に水位上昇量が小さい。このことは、「琉球海溝の地震に伴う津波」のほうが「南海トラフの巨大地震に伴う津波」よりも敷地の最大水位上昇量で有意に小さい結果を与えることに整合的である。
- また、琉球海溝内での最大水位上昇量に着目すると、北部から南部に向かうにつれて水位上昇量が小さくなる傾向がある。したがって、琉球海溝の地震に伴う津波の大すべり領域を敷地に最も近い北東端に配置することは、安全側の評価であるといえる。



- 伊方発電所における津波評価において、プレート境界付近に想定される地震に伴う津波については、南海トラフの巨大地震に伴う津波(Mw9.1)の影響が大きいと思われるが、今後も琉球海溝に関する知見の収集に努め、反映すべき新たな知見が得られた場合には、適切に津波評価に適切に反映していくこととする。

II. まとめ（基準津波の策定方針）

基準津波の策定方針

○ 以上の検討結果を踏まえ、下表に示すケースについて基準津波を策定する。

検討ケース			上昇側						下降側		
			3号炉敷地前面	3号炉補機冷却海水取水口	海水ピットポンプ室※2	3号炉T/B復水器取水先端	取水ピット※2	3号炉放水口	放水ピット※2	3号炉補機冷却海水取水口	海水ピットポンプ室※2
上昇側	重畳津波	※J	T.P.+7.39m [-0.27m]	-	-	T.P.+3.87m [-0.27m]	T.P.+4.40m [-0.27m]	-	-	-	-
		※H	-	T.P.+4.78m [-0.29m]	T.P.+4.06m [-0.29m]	-	-	-	-	-	-
		※K	-	-	-	-	-	T.P.+4.20m [-0.29m]	-	-	-
	海域130km連動モデル	※ア	-	-	-	-	-	T.P.+4.08m [-0.29m]	-	-	-
下降側	重畳津波	※L	-	-	-	-	-	-	T.P.-4.10m [+0.30m]	-	
	海域130km連動モデル	※イ	-	-	-	-	-	-	-	T.P.-2.93m [+0.30m]	

表中の数値は、各着目地点における余裕高が最も厳しくなるケースにおける最高・最低水位。[]内の数値は伊方発電所における地盤変動量（+が隆起，-が沈降）。

- ※1 余裕高(評価基準値+地盤変動量-最高水位(または最低水位))が最も小さいケース
- ※2 海水ピットポンプ室・取水ピット・放水ピットにおける最高・最低水位については、耐津波設計に係る事由であるが先行して記載。計算条件は耐津波審査会合(2014年3月6日)を準用し、計算ケースは、前述の重畳津波に対応するケース及びこれら重畳津波を構成する各波源津波に対応するケース。
なお、表中に記載の管路解析の計算条件は以下のとおり。
 - ・上昇側(海水ピットポンプ室) スクリーン損失:あり, 貝付着:なし, 海水ピット堰:あり, ポンプ取水量:海水ポンプ2台・海水取水ポンプ0台
 - ・上昇側(取水ピット) スクリーン損失:なし, 貝付着:なし, 循環水ポンプ運転状態:停止中
 - ・上昇側(放水ピット) 貝付着:あり, 循環水ポンプ運転状態:運転中
 - ・下降側(海水ピットポンプ室) スクリーン損失:あり, 貝付着:あり, 海水ピット堰:あり, ポンプ取水量:海水ポンプ4台・海水取水ポンプ0台

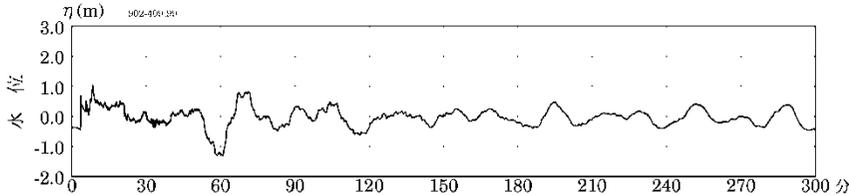
- ※J 断層長さ:130km 断層傾斜角:MTL北80度, 別府湾南75度 すべり角:MTL165度, 別府湾285度 地すべり地点:⑤(立神岩), 評価手法:二層流, 時間差:16秒
- ※H 断層長さ:130km 断層傾斜角:MTL北85度, 別府湾南75度 すべり角:MTL165度, 別府湾285度 地すべり地点:⑤(立神岩), 評価手法:二層流, 時間差:17秒
- ※K 断層長さ:130km 断層傾斜角:MTL北85度, 別府湾南75度 すべり角:MTL165度, 別府湾285度 地すべり地点:⑤(立神岩), 評価手法:二層流, 時間差:11秒
- ※L 断層長さ:130km 断層傾斜角:MTL北75度, 別府湾南45度 すべり角:MTL195度, 別府湾255度 地すべり地点:④(亀浦), 評価手法:二層流, 時間差:18秒
- ※ア 断層長さ:130km 断層傾斜角:MTL北85度, 別府湾南75度 すべり角:MTL165度, 別府湾285度
- ※イ 断層長さ:130km 断層傾斜角:MTL北75度, 別府湾南45度 すべり角:MTL195度, 別府湾255度

基準津波の策定方針

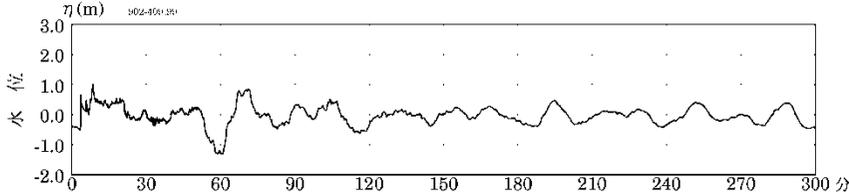
○ 基準津波について、定義地点における時刻歴波形を以下に示す。

【上昇側】

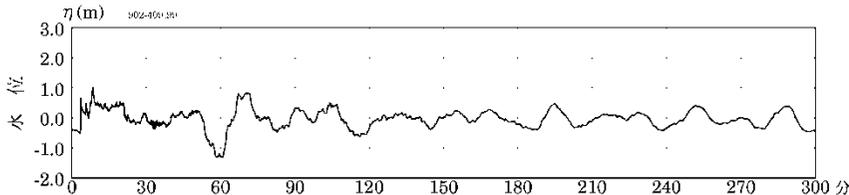
重畳津波 (※J)



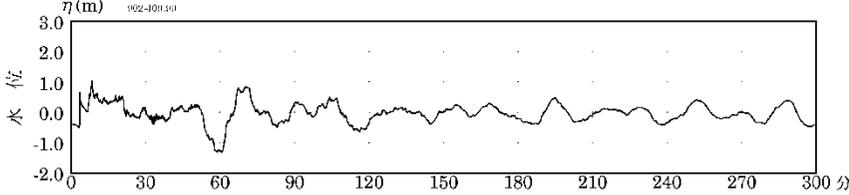
重畳津波 (※H)



重畳津波 (※K)

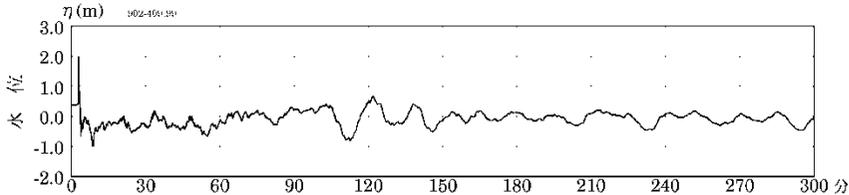


海域130km連動モデル (※ア)

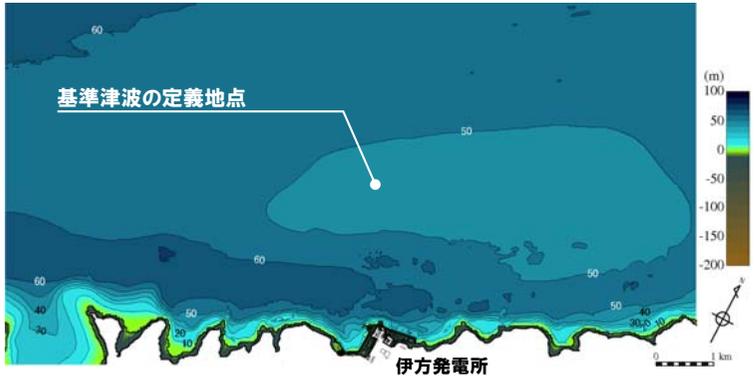
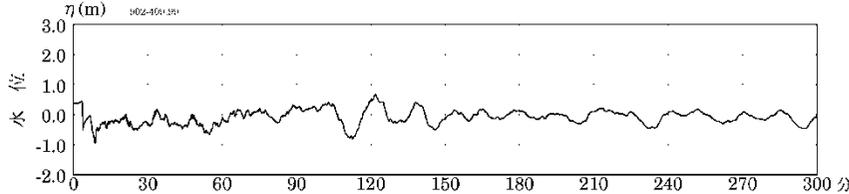


【下降側】

重畳津波 (※L)



海域130km連動モデル (※イ)



- ※J 断層長さ:130km 断層傾斜角:MTL北80度, 別府湾南75度 すべり角:MTL165度, 別府湾285度 地すべり地点:⑤ (立神岩), 評価手法:二層流, 時間差:16秒
- ※H 断層長さ:130km 断層傾斜角:MTL北85度, 別府湾南75度 すべり角:MTL165度, 別府湾285度 地すべり地点:⑤ (立神岩), 評価手法:二層流, 時間差:17秒
- ※K 断層長さ:130km 断層傾斜角:MTL北85度, 別府湾南75度 すべり角:MTL165度, 別府湾285度 地すべり地点:⑤ (立神岩), 評価手法:二層流, 時間差:11秒
- ※L 断層長さ:130km 断層傾斜角:MTL北75度, 別府湾南45度 すべり角:MTL195度, 別府湾255度 地すべり地点:④ (亀浦), 評価手法:二層流, 時間差:18秒
- ※ア 断層長さ:130km 断層傾斜角:MTL北85度, 別府湾南75度 すべり角:MTL165度, 別府湾285度
- ※イ 断層長さ:130km 断層傾斜角:MTL北75度, 別府湾南45度 すべり角:MTL195度, 別府湾255度

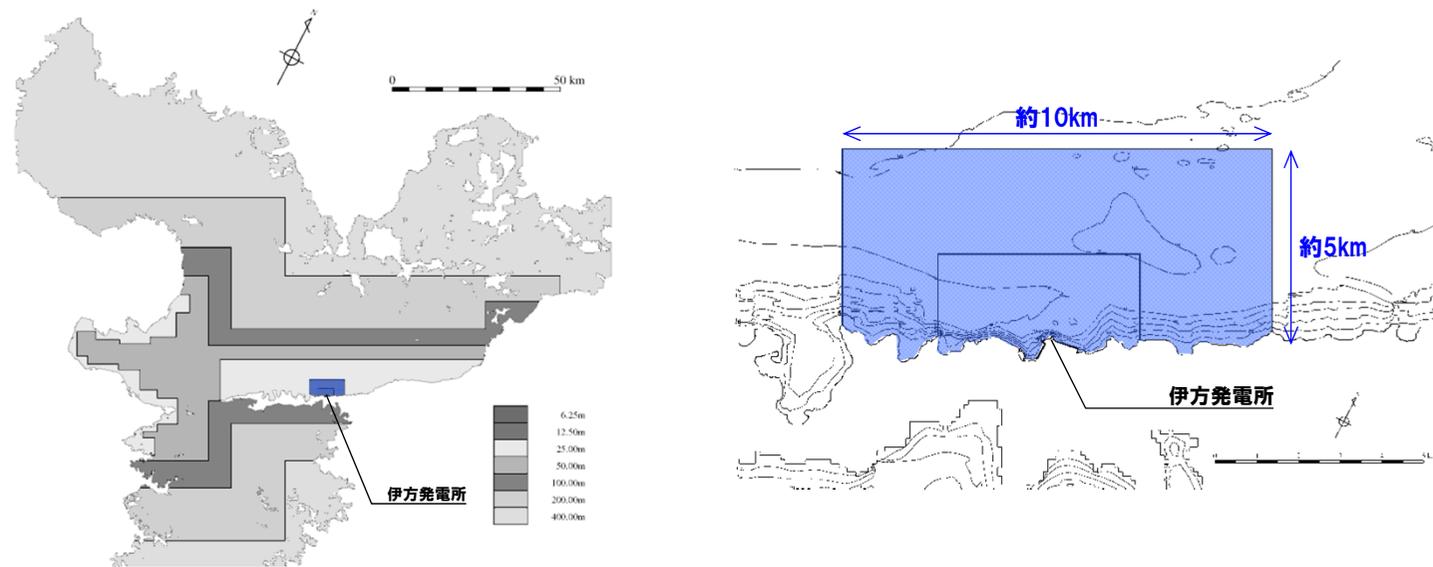
別紙1

基準津波における砂移動に対する評価（補足）

補足箇所：下線部

計算条件

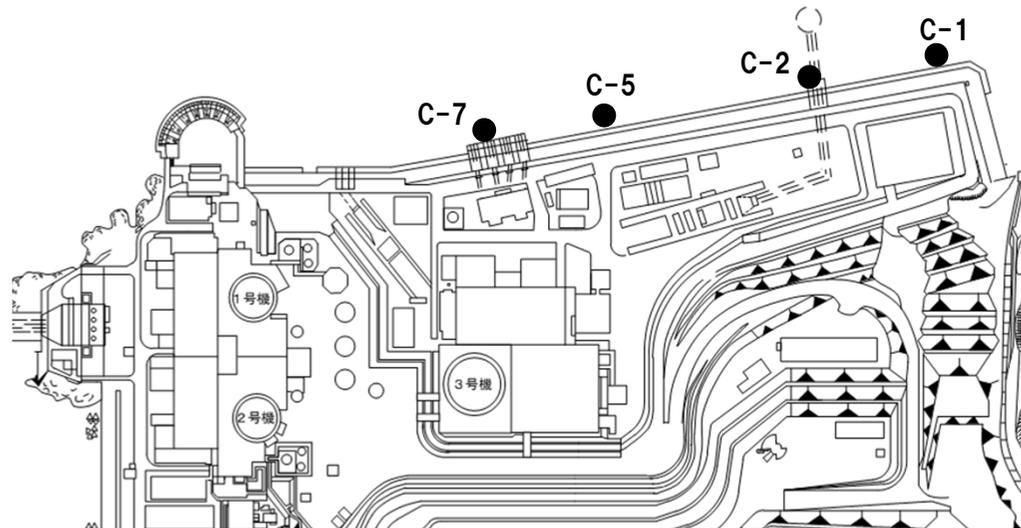
- 津波水位変動以外の事象に対する評価として、津波に伴う砂移動の影響について数値シミュレーションにより検討し、原子炉補機冷却設備の取水に支障が生じることなく、原子炉施設の安全性に問題とならないことを確認する。
- 数値シミュレーションは、藤井ほか(1998)及び高橋ほか(1999)の手法に基づき、津波の挙動とそれに伴う砂移動を同時に計算し、その結果変化した地形を用いて次のステップの流れと水位を逐次計算した。高橋ほか(1999)の手法については、高橋ほか(2011)で実施された水理実験の結果から基礎式の係数補正が行われているため、これを考慮する。なお、高橋ほか(2011)の検証については、今後の研究成果を注視する。
- 数値シミュレーションに用いた砂の堆積範囲および堆積層厚については、敷地造成前に実施した敷地前面の海上ボーリング調査結果から得られた砂の堆積層厚(0~23m)を参考とし、下図の範囲(東西約10km, 南北約5km)に堆積層厚25mが一様に分布していると仮定した。



計算条件

- 数値シミュレーションに用いた堆積砂の平均粒径については、伊方3号炉敷地造成前の昭和57年6月から昭和57年8月にかけて実施した海上ボーリング調査の結果を用いて設定した。海上ボーリング調査の結果(堆積砂の中央粒径)を下表に示す。堆積砂の平均粒径は、中央粒径D50の平均として0.27mmと評価した。
- また、下表の試料を用いた土粒子の比重試験の結果から、堆積砂の土粒子の比重の平均値として2.9と評価した。

調査地点		中央粒径 D50(mm)	調査地点		中央粒径 D50(mm)
S57.7	C-1	0.45	S57.7	C-7	0.085
S57.8	C-2	0.57			0.075
S57.7	C-5	0.17			0.067
		0.16			0.075
		0.19			0.057
S57.7	C-7	0.65			0.083
		0.24			0.14
		0.62			0.15
		1.00			0.16
		0.6			0.17
		0.44			0.18
		0.70			0.15
		0.72			0.21
		0.19			0.17
		0.48			0.22
		0.52			0.21
		0.39			0.22
		0.25			0.22
		0.15			0.32
		0.15			0.18
		0.13	0.26		
		0.10	0.25		
0.13	0.25				
0.12	0.25				
		0.085	0.23		



計算結果

- ・藤井ほか(1998)及び高橋ほか(1999)それぞれの手法について、最大堆積量及び最大浸食量となるケースにおける空間分布図を示す。
- ・3号炉補機冷却海水取水口における最大堆積量及び最大浸食量は0.00m(0.5mm未満)であり、海水ポンプの取水性に影響を及ぼすことはない。

結果は、2014年2月20日審査会合資料と同じであるため省略