

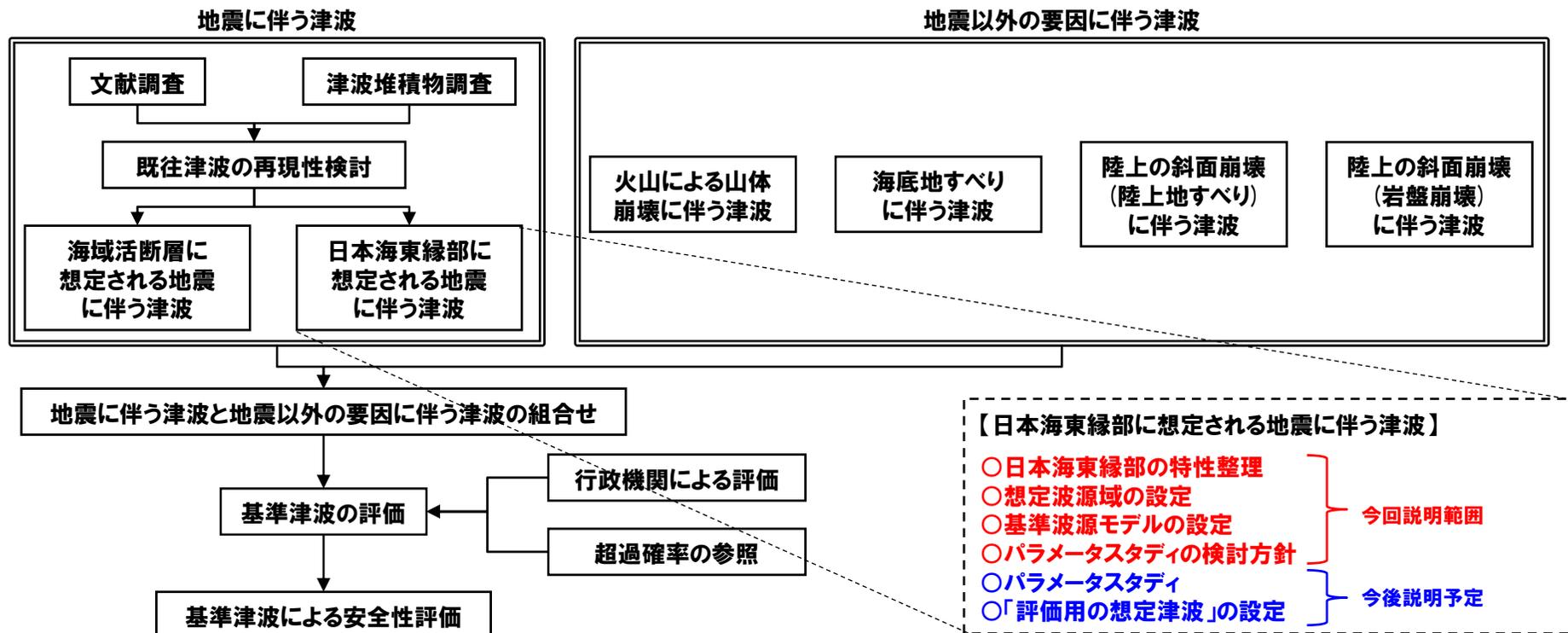
# 泊発電所の基準津波に関するコメント回答

## (日本海東縁部に想定される地震に伴う津波)

令和2年12月9日  
北海道電力株式会社

## 本日の説明概要

- 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の評価として、パラメータスタディに先立ち、日本海東縁部の特性整理、想定波源域の設定、基準波源モデルの設定及びパラメータスタディの検討方針について説明する。
- 本資料では、最新の知見や先行する他の審査等を反映し、過去の審査資料から資料構成を再整理している。
- また、令和元年9月27日審査会合における指摘事項のうち、一部のコメント回答について説明する。
- 今回説明する内容に基づき、パラメータスタディを実施中である。



1. コメント回答方針	4
1.1 指摘事項	4
1.2 指摘事項に関する回答方針	6
2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波	8
2.1 日本海東縁部の特性整理	10
2.1.1 整理方針	11
2.1.2 文献レビュー	12
2.1.3 当社の調査結果	19
2.2 想定波源域の設定	23
2.3 基準波源モデルの設定	36
2.4 パラメータスタディの検討方針	57
2.5 今後の方針	70
参考文献	72
参考資料	75

# 1. コメント回答方針

1. コメント回答方針	4
1.1 指摘事項	4
1.2 指摘事項に関する回答方針	6
2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波	8
2.1 日本海東縁部の特性整理	10
2.1.1 整理方針	11
2.1.2 文献レビュー	12
2.1.3 当社の調査結果	19
2.2 想定波源域の設定	23
2.3 基準波源モデルの設定	36
2.4 パラメータスタディの検討方針	57
2.5 今後の方針	70
参考文献	72
参考資料	75

# 1.1 指摘事項

## 令和元年9月27日審査会合における指摘事項一覧

指摘時期	No	指摘事項	説明時期
令和元年9月27日 審査会合	1	敷地前面上昇側における最大水位発生地点については、防潮堤の前面ではなく、敷地北側防潮堤の前面となっており、敷地前面上昇側の水位(10.78m)については何に用いる水位であるか明確になっていない。健全地形における評価地点と、敷地北側防潮堤の損傷を考慮した地形における評価地点については、評価の目的を整理したうえで、それぞれ適切な評価地点として設定するべき。	今後説明予定
	2	防波堤の南側・北側の損傷に加えて敷地北側防潮堤の損傷の組み合わせについて検討すること。また、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波として全体像を示すことができる時期を提示すること。	今後説明予定
	3	土木学会(2016)における1993年北海道南西沖の波源モデルでは、断層面上縁深さ10kmと設定していることを踏まえ、断層面上縁深さを5kmより更に深くした検討が必要ではないか。地震動の評価における $F_B-2$ 断層の評価では、地震発生層の下端を40kmで検討していることから、断層面上縁深さの変動幅を大きくさせた検討をすること。	今回説明
	4	波源位置を東方向へ移動させた場合、津波水位が大きくなることから、東方向へ移動させた場合における設定根拠の説明が必要である。今回示された波源モデルは過去の波源モデルから変わっており、感度の変化も想定されるため、波源位置に関する検討の深掘りが必要である。また、ひずみ集中帯と波源モデルの関係性を改めて整理すること。	今回説明
	5	ひずみ集中帯波源位置の検討において「西傾斜の断層パターン7」を基本として検討しているが、「東傾斜の断層パターン5」については東方向に動かしてもひずみ集中帯から外れないことから、これらの断層パターンについても検討し資料化すること。例えば、断層パターン5の断層面下端を、地震本部におけるひずみ集中帯の東端に設定した場合の検討等をする事。	今後説明予定
	6	過去に実施している発電所を波源とした場合の評価では、同心円状に津波が伝播することから、これらの伝播経路上に波源モデルを配置し、走向を「くの字」にした評価の必要性について検討すること。	今回説明
	7	貯留堰を下回る時間の確認について、海水ポンプの取水性を評価する観点であれば、貯留堰を下回る時間に着目したパラメータスタディの必要性について検討すること。	今後説明予定
	8	下回る時間として「最長時間」と「合計時間」の2通りで算出しているが、貯留堰天端を一時的に上回る波形を考慮しないで時間を算出する等、保守的な時間評価を検討すること。	今後説明予定
	9	資料中に「ホルスト」と記載されているが、断層は確認できているのか。「ホルスト」の記載が文献の引用であるならば、その文献の詳細と事業者の見解を併せて示すこと。	今回説明

※今後説明予定の指摘事項については、パラメータスタディの検討結果を踏まえて説明を行う。

# 1. 2 指摘事項に関する回答方針

1. コメント回答方針 .....	4
1. 1 指摘事項 .....	4
<b>1. 2 指摘事項に関する回答方針 .....</b>	<b>6</b>
2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波 .....	8
2. 1 日本海東縁部の特性整理 .....	10
2. 1. 1 整理方針 .....	11
2. 1. 2 文献レビュー .....	12
2. 1. 3 当社の調査結果 .....	19
2. 2 想定波源域の設定 .....	23
2. 3 基準波源モデルの設定 .....	36
2. 4 パラメータスタディの検討方針 .....	57
2. 5 今後の方針 .....	70
参考文献 .....	72
参考資料 .....	75

# 1.2 指摘事項に関する回答方針

## 令和元年9月27日審査会合における指摘事項に対する回答方針

No	指摘事項	回答方針
3	土木学会(2016)における1993年北海道南西沖の波源モデルでは、断層面上縁深さ10kmと設定していることを踏まえ、断層面上縁深さを5kmより更に深くした検討が必要ではないか。地震動の評価における $F_B$ -2断層の評価では、地震発生層の下端を40kmで検討していることから、断層面上縁深さの変動幅を大きくさせた検討をすること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>○津波を伴う既往地震のモデル化では、検討対象(水位・遡上高、地震動等)が異なれば、同一地震でも設定されるパラメータ等が異なる。</li> <li>○本検討では、津波の水位や遡上高が検討対象であることから、日本海東縁部の特性や津波の波源に関する知見に基づき、基準波源モデルのパラメータ設定を行う。</li> <li>○断層面上縁深さ・地震発生層厚さの設定について、土木学会(2016)における1993年北海道南西沖の波源モデルとの比較を行い、断層面上縁深さのパラメータスタディの変動幅の妥当性を確認する。</li> <li>○回答内容はP68～69に掲載。</li> </ul>
4	波源位置を東方向へ移動させた場合、津波水位が大きくなることから、東方向へ移動させた場合における設定根拠の説明が必要である。今回示された波源モデルは過去の波源モデルから変わっており、感度の変化も想定されるため、波源位置に関する検討の深堀りが必要である。また、ひずみ集中帯と波源モデルの関係性を改めて整理すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>○既往の知見を踏まえて、想定波源域(東西方向)の設定根拠について再整理する。</li> <li>○上記を踏まえ、波源位置のパラメータスタディの実施の必要性について検討する。</li> <li>○回答内容はP29.59～63に掲載。</li> </ul>
6	過去に実施している発電所を波源とした場合の評価では、同心円状に津波が伝播することから、これらの伝播経路上に波源モデルを配置し、走向を「くの字」にした評価の必要性について検討すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>○詳細パラメータスタディのSTEP3において、波源位置(走向)の不確定性を考慮するため、走向に関するパラメータスタディを実施する。</li> <li>○なお、過去に実施している発電所を波源とした場合の評価(逆伝播解析)では、同心円状に津波が伝播し、これらの伝播経路上に波源モデルを配置した場合に津波水位が大きくなることが想定されるため、くの字(北側断層を+方向、南側断層を-方向)に折り曲げたモデルによる検討を実施する。</li> <li>○回答内容はP67に掲載。</li> </ul>
9	資料中に「ホルスト」と記載されているが、断層は確認できているのか。「ホルスト」の記載が文献の引用であるならば、その文献の詳細と事業者の見解を併せて示すこと。	<ul style="list-style-type: none"> <li>○地形の高まりを「ホルスト」と表現しており、文献の引用ではなく、適切な表現ではないことから、「地形の高まり」に記載を改める。</li> <li>○回答内容はP19に掲載。</li> </ul>

## 2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波

1. コメント回答方針	4
1.1 指摘事項	4
1.2 指摘事項に関する回答方針	6
<b>2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波</b>	<b>8</b>
2.1 日本海東縁部の特性整理	10
2.1.1 整理方針	11
2.1.2 文献レビュー	12
2.1.3 当社の調査結果	19
2.2 想定波源域の設定	23
2.3 基準波源モデルの設定	36
2.4 パラメータスタディの検討方針	57
2.5 今後の方針	70
参考文献	72
参考資料	75

## 整理方針

## 【2.1 日本海東縁部の特性整理】

- 日本海東縁部は、明瞭なプレート境界が形成されていないことから地震メカニズムが複雑であるため、既往の知見を整理する。
- 当社の調査結果から敷地前面海域の地形的特徴を確認し、日本海東縁部に関する既往の知見と比較する。

## 【2.2 想定波源域の設定】

- 既往の知見を踏まえて、想定波源域の南北方向、東西方向及び深度方向の設定根拠について再整理する。

## 【2.3 基準波源モデルの設定】

- 既往の知見を踏まえて、基準波源モデルの断層パラメータの設定根拠について再整理する。

## 【2.4 パラメータスタディの検討方針】

- 既往の知見を踏まえて、パラメータスタディ実施の要否と変動幅の設定根拠を再整理し、パラメータスタディフローを示す。

## 2.1 日本海東縁部の特性整理

1. コメント回答方針	4
1.1 指摘事項	4
1.2 指摘事項に関する回答方針	6
2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波	8
<b>2.1 日本海東縁部の特性整理</b>	<b>10</b>
2.1.1 整理方針	11
2.1.2 文献レビュー	12
2.1.3 当社の調査結果	19
2.2 想定波源域の設定	23
2.3 基準波源モデルの設定	36
2.4 パラメータスタディの検討方針	57
2.5 今後の方針	70
参考文献	72
参考資料	75

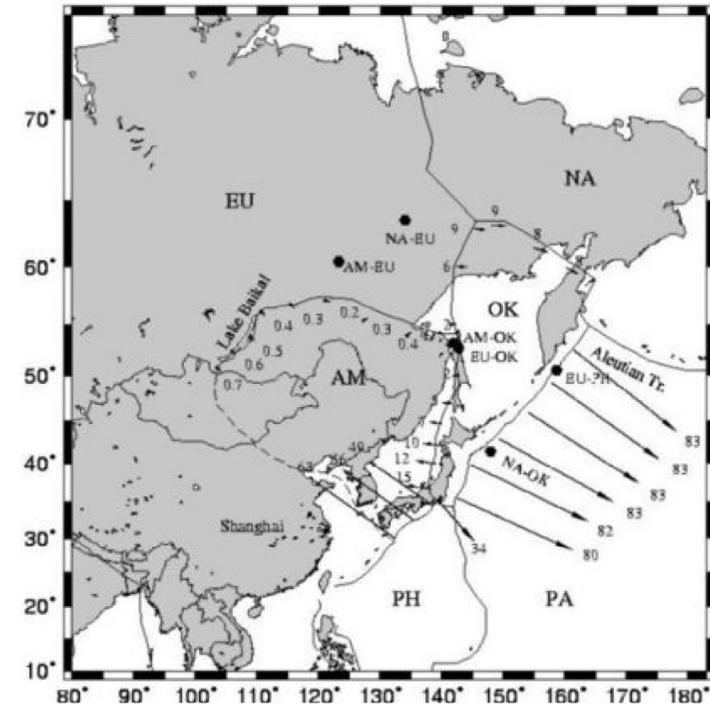
## 2.1.1 整理方針

### 整理方針

- 日本海東縁部は、明瞭なプレート境界が形成されていないことから地震メカニズムが複雑であるため、既往の知見を整理する。
- 当社の調査結果から敷地前面海域の地形的特徴を確認し、日本海東縁部に関する既往の知見と比較する。

## 既往の知見 (1/7) テクトニクスと地震メカニズム

- 岡村・加藤 (2002) では、現在の日本海の地形と地質構造は、3,000-1,500 万年前の日本海形成時に作られた構造 (日本列島の大陸からの分離, 日本海盆における海洋性地殻の形成等) と、約1,000万年前より以降の変動によって形成された構造 (日本列島に沿った縁辺部の地殻変動) が重なりあっているとされている。
- 国交省ほか (2014) では、ひずみ集中帯について以下のとおりとされている。
  - 日本海東縁部の北海道西方沖から新潟県沖には、多くの断層・褶曲が分布したひずみ集中帯とよばれる領域がある。
  - ひずみ集中帯は、西に位置するユーラシアプレート (もしくはアムールプレート) と東に位置する北米プレート (もしくはオホーツクプレート) の幅の広いプレート境界と考えられている。
- 地震本部 (2003) では、日本海東縁部で発生する地震について以下のとおりとされている。
  - 主としてプレート相対運動に伴う東西方向からの圧縮力を受けて発生する。
  - 明瞭なプレート境界が存在する太平洋側の海溝沿いとは異なり、プレート境界が南北方向に分布する何条かの断層・褶曲帯 (ひずみ集中帯) より成り、幅をもった領域全体で圧縮力によるひずみを解消する。
- 岡村 (2019) では、日本海においてマグニチュード7前後からそれ以上の大地震が繰返し発生してきたが、それらは活断層の破壊によって発生したと推定されている。
- 国交省ほか (2014) では、日本海東縁部で発生する地震は、内陸の活断層タイプの地震と同様の発生メカニズムを持つと考えられている。



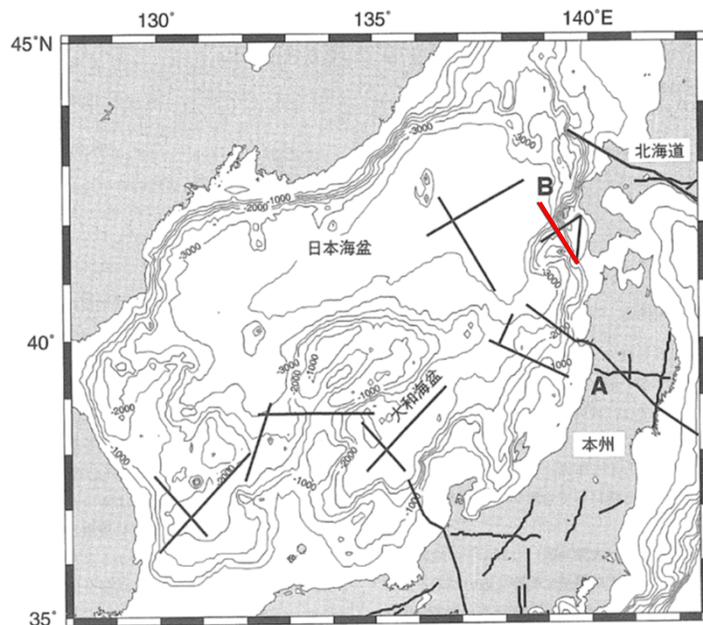
EU:ユーラシアプレート, NA:北米プレート, OK:オホーツクプレート  
AM:アムールプレート, PA:太平洋プレート, PH:フィリピン海プレート

日本列島周辺のプレート運動  
(国交省ほか (2014) より引用)

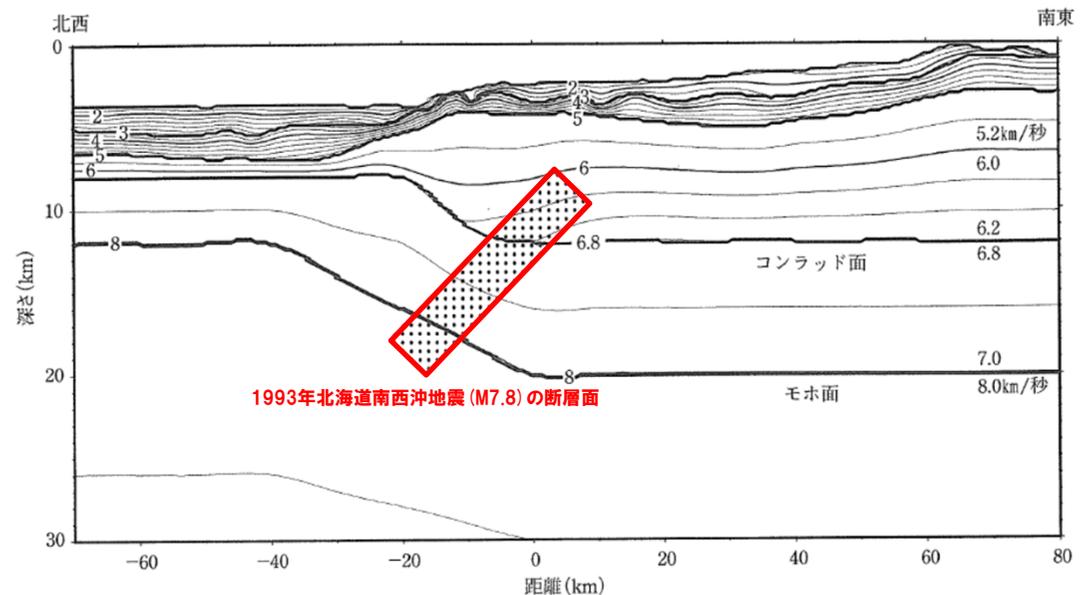
## 既往の知見 (2/7) 地殻構造

○長谷川 (2002) では、日本海東縁部の地殻構造と地震の発生域の関係について以下のとおりとされている。

- 固体地球は核・マントル・地殻で構成されており、一番外側が地殻であり、地殻とマントルの境界はモホ面と呼ばれる。
- 日本海盆下の地殻厚さは8km程度と薄く、日本海沿岸付近の地殻厚さは20km程度と厚くなる (測線B)。
- 地殻厚さと地形との対応関係 (地殻が急激に厚くなる地点は、水深も急激に浅くなる) が明瞭にみられ、1993年北海道南西沖地震及び1983年日本海中部地震は、地殻厚さが急変する場所で発生している。
- 日本海東縁部は地殻厚さが急変する場所にあたり、応力集中が起きやすいので、大地震が発生し、結果としてプレート収束の主たる部分を担っていると考えられる。



これまでに実施された地殻構造探査の測線位置  
(長谷川 (2002) に一部加筆)

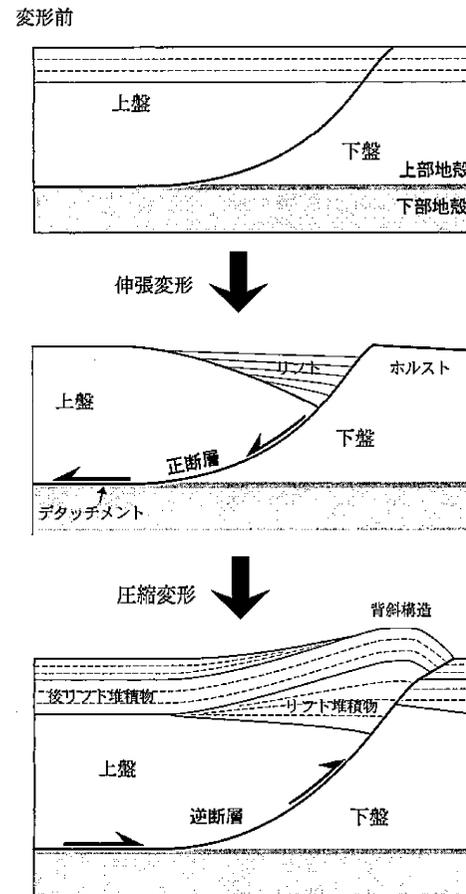


P波速度を0.1km/秒ごとのコンターで示す。ハッチは1993年北海道南西沖地震 (M7.8) の断層面

測線Bに沿った地殻構造  
(長谷川 (2002) に一部加筆)

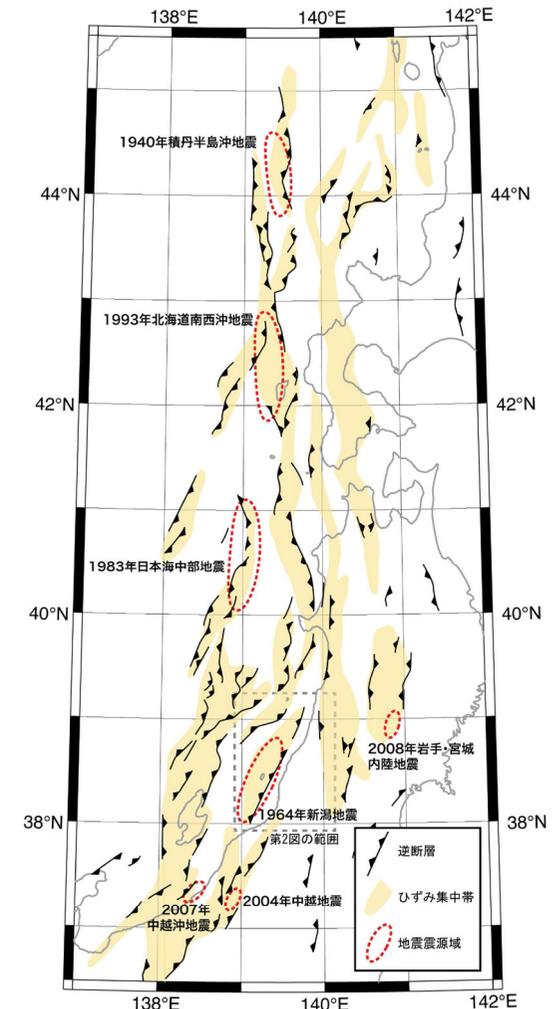
## 既往の知見 (3/7) 地質構造に基づいたひずみ集中帯

- 岡村・加藤 (2002) では、日本海東縁部の活断層について以下のとおりとされている。
  - 日本海東縁部は、1,500年以上前の日本海の拡大時に、正断層が発達しリフトが多数形成され、その後、約300万年前以降の東西圧縮応力により、それらの古い正断層が逆断層として再活動している。
  - 東西圧縮応力によって発達した逆断層はその上盤に非対象な断面を呈する背斜構造を必ず伴う。
- 岡村 (2019) では、背斜構造の幅はおよそ15km程度で、急傾斜する前翼と緩傾斜する後翼からなる非対象な断面をもち、前翼基部に断層が観察される場合があるとされている。
- 岡村 (2002) では、ひずみ集中帯について以下のとおりとされている。
  - 日本海東縁部には、背斜構造と逆断層が連続する断層、褶曲帯がいくつも発達するが、この間に断層や褶曲が全く見られないゾーンも分布することから、地殻のひずみは断層、褶曲帯に集中してきたことを示している。
  - 断層、褶曲帯は約300万年間に地殻の短縮ひずみが集中した場所であるといえる。
- 岡村ほか (2019) では、断層、褶曲帯の分布は、地下の断層の分布を推定することができることから、地質構造に基づいたひずみ集中帯であるとされている。



伸張応力場では上盤が沈降し、堆積盆地(リフト)が形成される。一方、断層の下盤はほとんど変動しないため、相対的な高まり(ホルスト)として残る。伸張応力場から圧縮応力場に転じた場合には、正断層が逆断層として再活動し、堆積盆地を含む上盤が隆起し、非対象な背斜構造が形成される。

圧縮応力場および伸張応力場で形成される模式的な断層とそれに伴う構造  
(岡村・加藤(2002)より引用)

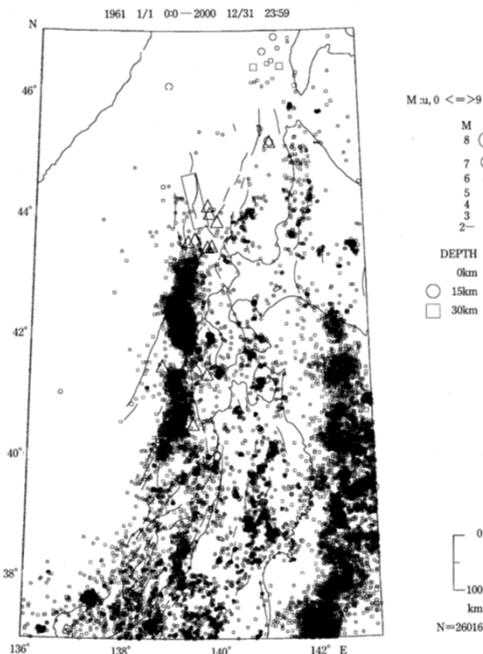


断層と褶曲の分布からおおよその領域を示しているため、境界の位置は厳密ではないし、過去約350万年間に形成された領域なので、すべてが活動的とは限らない。20世紀以降の主要な地震の震源域を赤の点線で示す(岡村(2002)などを基に一部修正)。

地質構造に基づいたひずみ集中帯  
(岡村ほか(2019)より引用)

### 既往の知見 (4/7) 地震活動からみたひずみ集中帯

- 石川 (2002) では、地震活動からみたひずみ集中帯について以下のとおりとされている。
- 積丹半島北西沖から男鹿半島沖では、東経139度に沿う南北方向の地震分布が顕著で、近年は北から1940年積丹半島沖地震 (M7.5), 1993年北海道南西沖地震 (M7.8), 1983年日本海中部地震 (M7.7) が発生している。
  - この南北走向の地震帯は、数十kmの幅をもつ1本の明瞭な帯で特徴づけられる。
  - 地震活動が集中的にみられる地震帯は、現在活動中のひずみ集中帯であり、最近約40年間の浅い地震の震源分布に基づいて、ひずみ集中帯の分布を右下図のとおり示している。



日本海東縁の浅い地震 (深さ30km以浅) の震源 (1961-2000年) と活断層の分布 (石川 (2002) より引用)

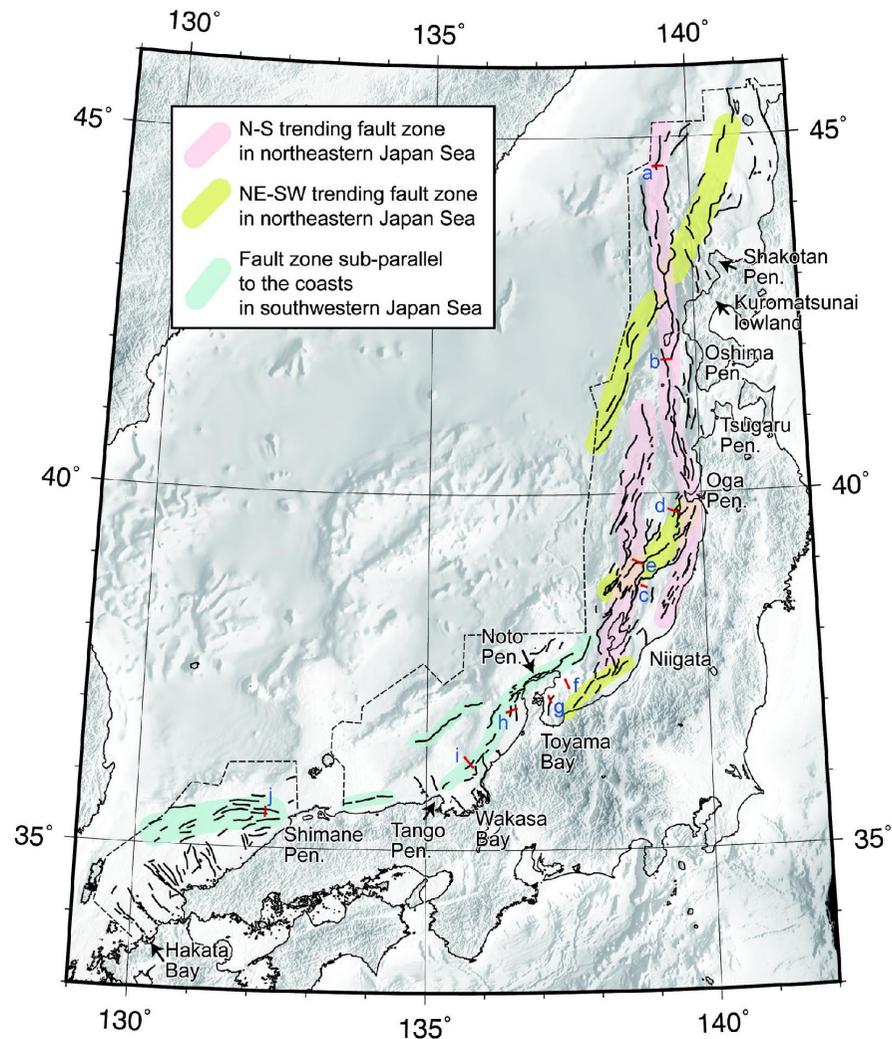


地震活動からみた日本海東縁のひずみ集中帯と地震空白域 (長円で囲んだ領域, AかA' とB, X) (石川 (2002) より引用)

## 既往の知見 (5/7) 活断層分布

○岡村 (2019) では、富山湾より北東側の日本海東縁部の活断層について以下のとおりとされている。

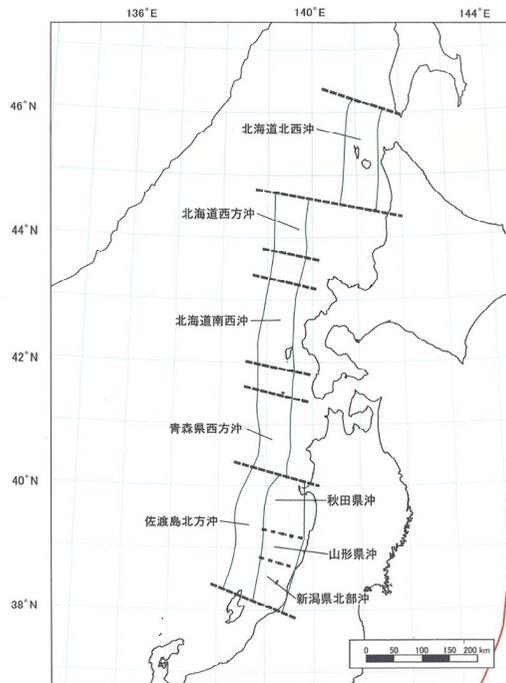
- ほぼ南北方向に伸びる断層の集中帯とそれに斜交する北東-南西方向の断層帯が認められる。
- 南北方向の断層集中帯は規模の大きな断層が重複して分布するのに対して、北東-南西方向の断層帯では断層規模はやや小さく、断層の集中度も低い。
- 過去に発生した規模の大きい地震は、南北方向の断層集中帯に沿って発生している。
- 断層面の傾斜は東傾斜と西傾斜が交互に現れる。



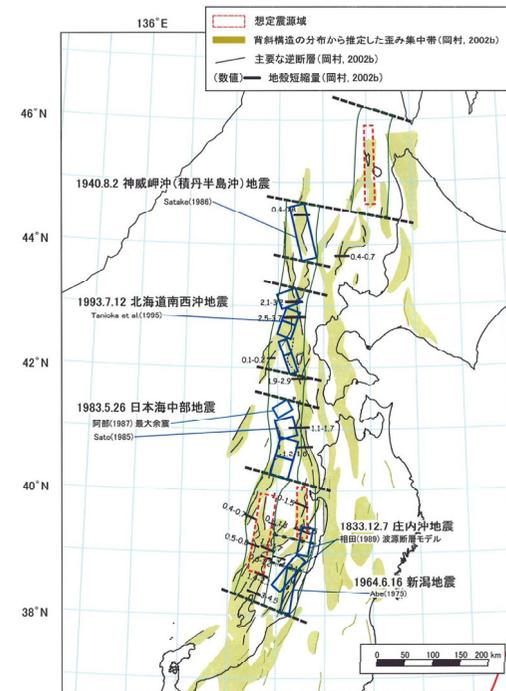
日本海における主要な活断層図  
(岡村 (2019) より引用)

## 既往の知見 (6/7) 地震活動の長期評価

- 地震本部 (2003) では、日本海東縁部における地震発生の可能性の取りまとめを行い、評価結果について以下のとおりとされている。
- 地震観測及び歴史記録からM7.5以上の大地震の発生が確認されている領域では、以下の地震を代表例と考え、将来も同様な地震が発生するものとしている。
    - ・ 1940年神威岬沖 (積丹半島沖) 地震
    - ・ 1993年北海道南西沖地震
    - ・ 1983年日本海中部地震 ほか
  - 地震観測記録、歴史地震の記録、津波の記録、深度分布、及び地震性堆積物・津波堆積物の解析結果に基づく既存研究に基づき、日本海東縁部の大地震を整理している。
  - 日本海東縁部における地震の発生位置及び震源域は、過去の大地震の震源モデル・余震域及びひずみ集中帯の空間的な分布を参照して推定している。



日本海東縁部の評価対象領域  
(地震本部 (2003) より引用)



過去の地震の震源モデル・想定震源域及びひずみ集中帯の分布  
(地震本部 (2003) より引用)

## 既往の知見（7/7）まとめ

○日本海東縁部は、明瞭なプレート境界が形成されていないことから地震メカニズムが複雑であるため、既往の知見を整理した。

## 【テクトニクスと地震メカニズム】

- アムールプレートとオホーツクプレートの間には、明瞭なプレート境界が存在せず、南北方向に伸びる東西方向に幅を持ったひずみ集中帯でマグニチュード7クラスの地震が発生している。
- 内陸の活断層タイプの地震と同様の発生メカニズムを持つ。
- プレートの相対運動に伴う東西方向圧縮力によるひずみを解消することで地震が発生する。

## 【地殻構造】

- 日本海東縁部は地殻厚さが急変する場所にあたり、応力集中が起きやすいので、大地震が発生し、結果としてプレート収束の主たる部分を担っていると考えられる。

## 【地質構造に基づいたひずみ集中帯】

- 日本海の拡大時に形成された古い正断層が逆断層として再活動している。
- 東西圧縮応力によって発達した逆断層はその上盤に非対象な断面を呈する背斜構造を伴う。
- 地殻のひずみは断層、褶曲帯に集中してきたことを示している。

## 【地震活動からみたひずみ集中帯】

- 南北走向の地震帯は、数十kmの幅をもつ1本の明瞭な帯で特徴づけられ、地震活動が集中的にみられる地震帯は、現在活動中のひずみ集中帯である。

## 【活断層分布】

- 南北方向の断層集中帯は規模の大きな断層が重複して分布し、規模の大きい地震が発生している。
- 断層面の傾斜は東傾斜と西傾斜が交互に現れる。

## 【地震活動の長期評価】

- M7.5以上の大地震の発生が確認されている領域では、将来も同様な地震が発生するものと考えられる。
- 評価対象領域（地震本部（2003））は、様々な既存研究（地震観測記録、歴史地震の記録、津波の記録、深度分布、地震性堆積物・津波堆積物）、過去の大地震の震源モデル、余震域及びひずみ集中帯の空間的な分布を参照して推定している。

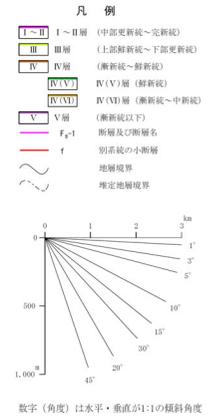
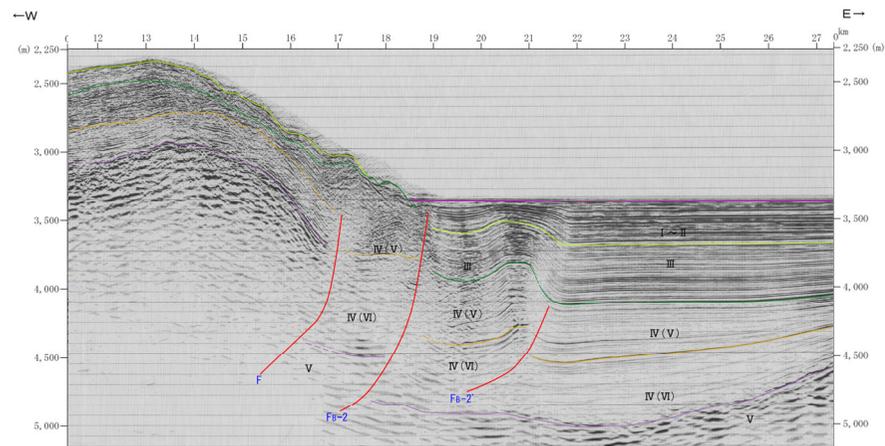
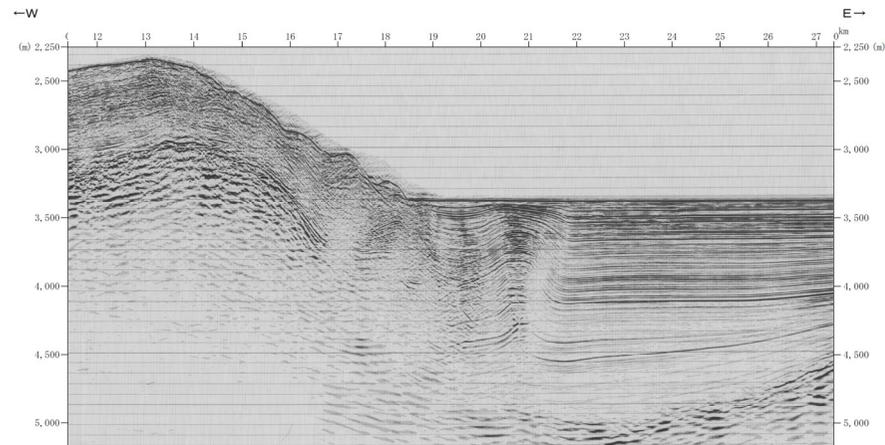
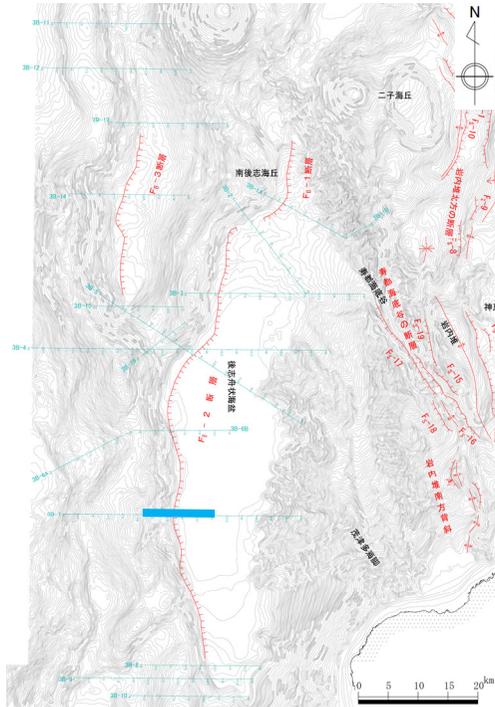


# 2. 1. 3 当社の調査結果

## 敷地前面海域の地形的特徴 (2/4) F<sub>B</sub>-2断層 (測線3B-7)

一部加筆 (H25/10/16審査会合)

- 背斜構造の東側が急傾斜となる非対称な形状から西傾斜の逆断層が推定される。
- 断層の上下変位量は、V層上面で2km程度とみられる。
- F<sub>B</sub>-2断層の東側のIII層以降の堆積物には変位・変形は認められない。

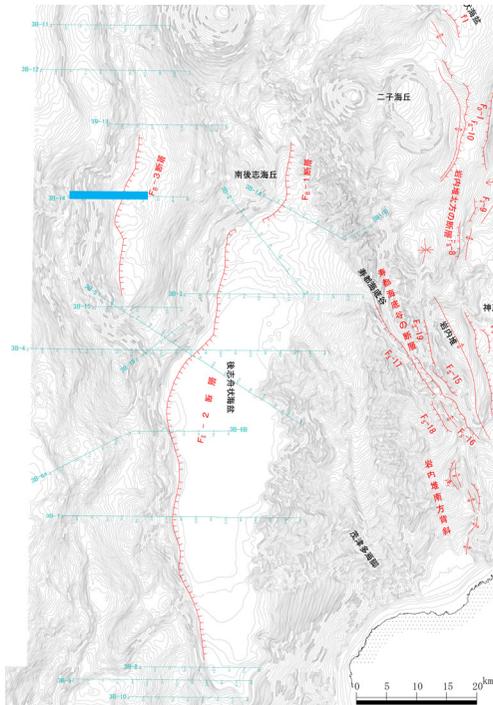
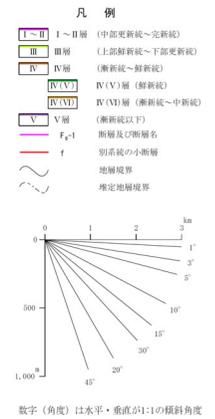
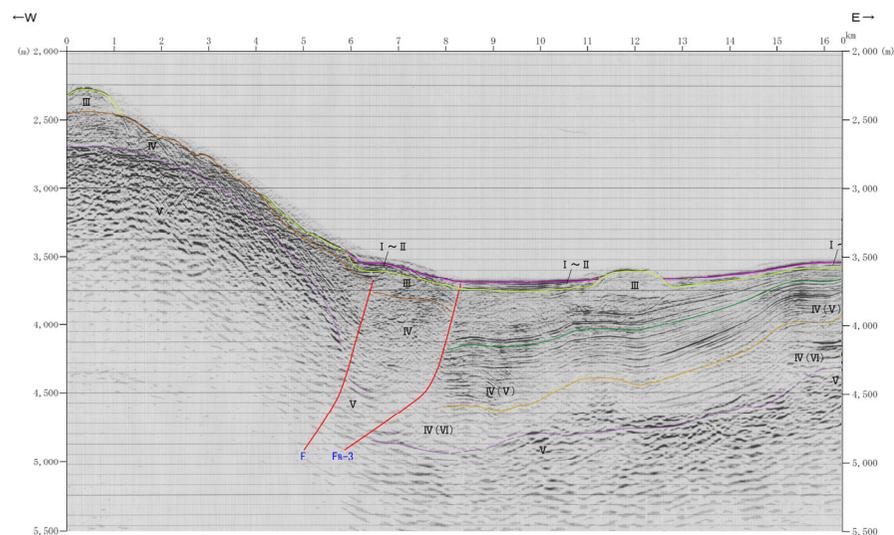
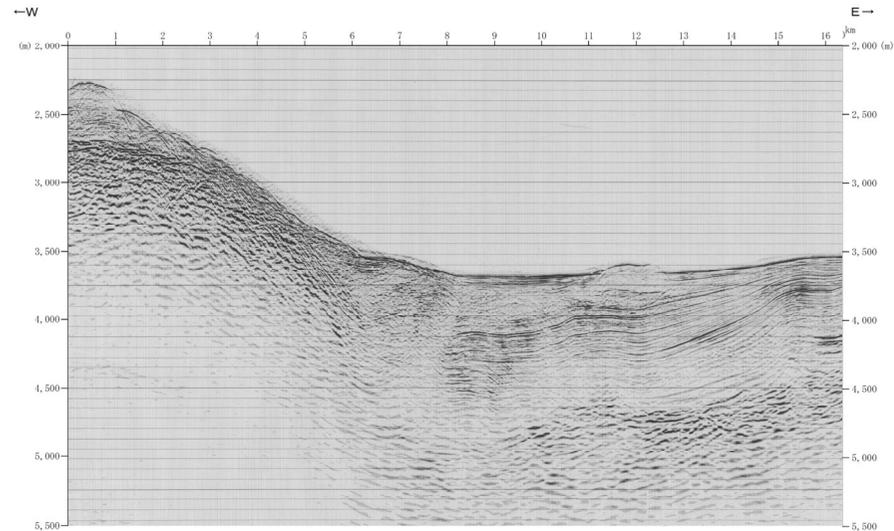


# 2. 1. 3 当社の調査結果

## 敷地前面海域の地形的特徴 (3/4) F<sub>B</sub>-3断層 (測線3B-14)

一部加筆 (H25/10/16審査会合)

- 背斜構造の東側が急傾斜となる非対称な形状から西傾斜の逆断層が推定される。
- 断層の上下変位量は、V層上面で2km程度とみられる。
- F<sub>B</sub>-3断層の東側のIII層以降の堆積物には変位・変形は認められない。



## 2. 1. 3 当社の調査結果

### 敷地前面海域の地形的特徴 (4/4) まとめ

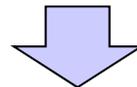
○当社の調査結果から敷地前面海域の地形的特徴を確認し、日本海東縁部に関する既往の知見と比較した。

#### 【当社の調査結果に基づく敷地前面海域の地形的特徴】

- 背斜構造の基部に西傾斜の逆断層 ( $F_B-2$ 断層,  $F_B-3$ 断層) が確認される。
- その東側には活断層を示唆する変位・変形は認められない。

#### 【日本海東縁部に関する既往の知見】

- 東西圧縮応力によって発達した逆断層はその上盤に非対象な断面を呈する背斜構造を伴う。



○以上から、当社の調査結果から確認した敷地前面海域の地形的特徴と日本海東縁部に関する既往の知見は整合する。

## 2.2 想定波源域の設定

1. コメント回答方針	4
1.1 指摘事項	4
1.2 指摘事項に関する回答方針	6
2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波	8
2.1 日本海東縁部の特性整理	10
2.1.1 整理方針	11
2.1.2 文献レビュー	12
2.1.3 当社の調査結果	19
<b>2.2 想定波源域の設定</b>	<b>23</b>
2.3 基準波源モデルの設定	36
2.4 パラメータスタディの検討方針	57
2.5 今後の方針	70
参考文献	72
参考資料	75

## 2.2 想定波源域の設定

### 整理方針

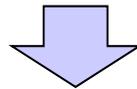
- 既往の知見を踏まえて、想定波源域の南北方向、東西方向及び深度方向の設定根拠について再整理する。

## 2.2 想定波源域の設定

### 南北方向位置の設定方法 (1/2)

#### 【平成25年8月14日審査会合】

- 断層長さは、1993年北海道南西沖地震の津波を再現する波源モデルのMw7.84を下回らないように、Mw7.85となる断層長さ131.1kmに設定した。

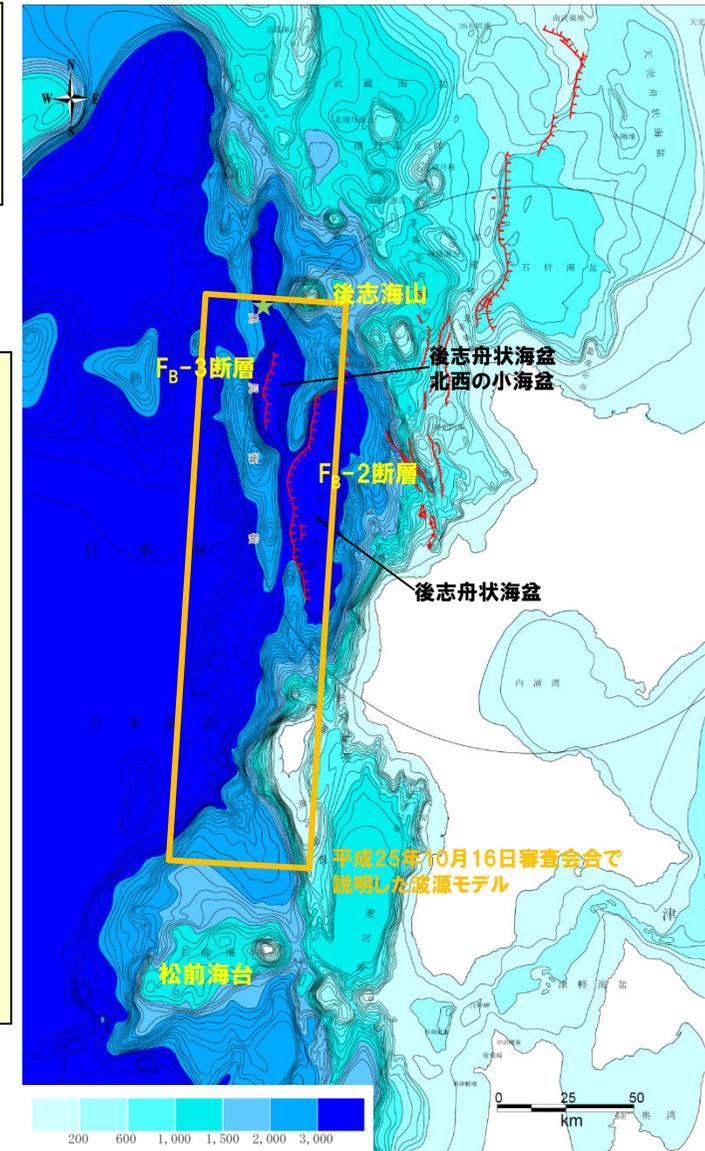


#### 【平成25年10月16日審査会合】

- 想定波源域(南北方向)は、奥尻海嶺沿いに基盤構造が急変または不連続になると推定され、かつ震源分布などから「後志海山～松前海台付近」※1までを考慮する。
- 想定波源域(南北方向)は、以下の端部間距離(約192km)を包絡するよう200kmに設定した。
  - 後志舟状海盆西側に認められ、後志海山に規制される断層(F<sub>B</sub>-2断層及びF<sub>B</sub>-3断層)のうち、相対的に北側に位置するF<sub>B</sub>-3断層が分布する小海盆(以下、「後志舟状海盆北西の小海盆」という)の北端(図中★)。
  - 青柳ほか(2000)による震源モデル※2の南端。

※1:北海道南西沖地震に関する知見(日野ほか(1994),岡村ほか(1998))を踏まえて設定。

※2:北海道南西沖地震の震源モデル(Tanioka et al.(1995),久家ほか(1994),青柳ほか(2000))のうち最も南側に位置するモデル。



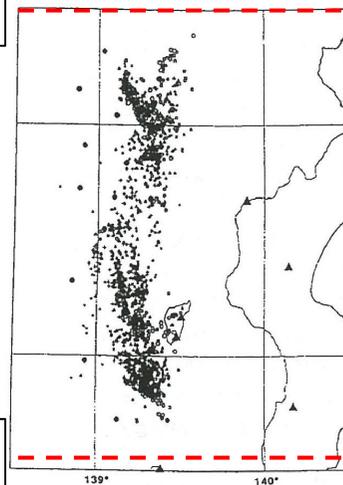
### 補足：北海道南西沖地震の余震分布に関する知見

- 日野ほか(1994)では、北海道南西沖地震の余震分布を下図のとおり示している。
- 岡村ほか(1998)では、日野ほか(1994)の研究成果より、1993年北海道南西沖地震の余震域は、後志トラフ(舟状海盆)西方から奥尻島南方の松前海台まで達するとされている。
- 海上保安庁水路部(2001)では、1940年積丹半島沖地震、1993年北海道南西沖地震及び1983年日本海中部地震について、震源域の間に、後志海山、渡島大島、渡島小島等の火山体や日本海拡大時のホルストである松前海台が分布することから、震源域は、このような周辺とは地殻構造が異なると予測される海底で区分けされるとされている。
- 岡村・倉本(1999)では、1993年北海道南西沖地震について以下のとおりとされている。
  - 北海道南西沖地震の破壊域と積丹半島沖地震の破壊域の間には、後志海山が分布する。
  - 北海道南西沖地震の破壊域と日本海中部地震の破壊域の間には、渡島大島・渡島小島などの活火山が分布している。
  - これらの火山周辺では活断層の規模が小さくなっており、火山の存在が断層破壊領域を規制している可能性がある。

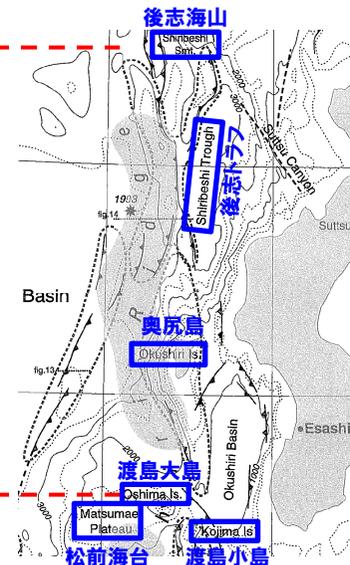
後志海山を超えて  
北側に余震活動が連続して分布しない。

渡島大島、渡島小島及び松前海台を超えて  
南側に余震活動が連続して分布しない。

OBS Network



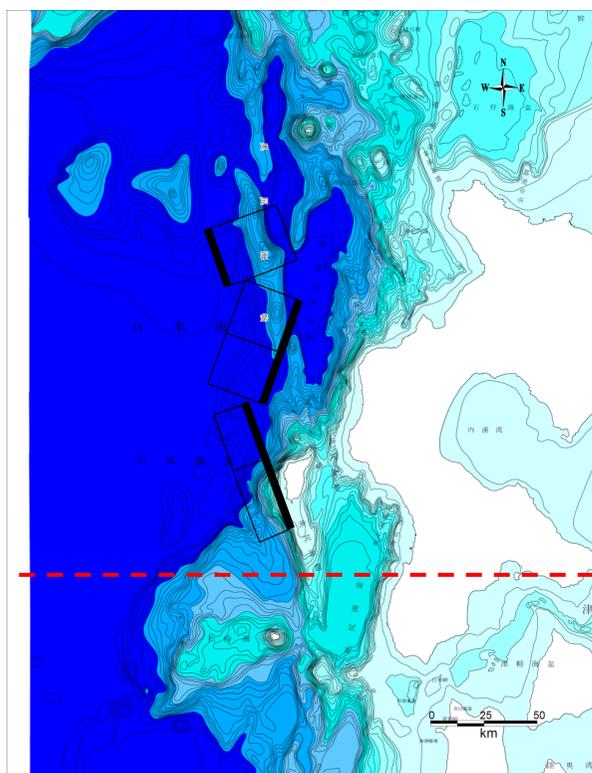
93. 7.21 12:00 - 93. 8.16 23:59  
1993年北海道南西沖地震の余震分布  
(日野ほか(1994)に一部加筆)



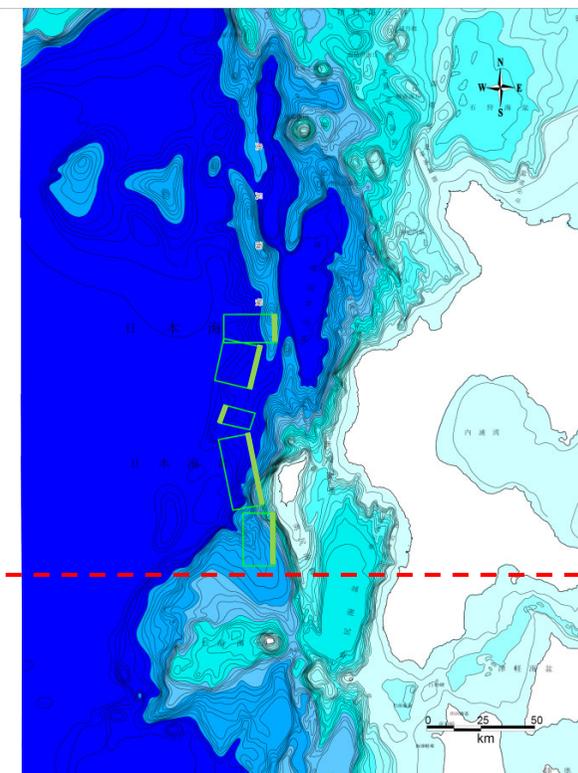
北海道南西沖の活構造  
(岡村ほか(1998)に一部加筆)

### 補足：北海道南西沖地震の震源モデルの位置

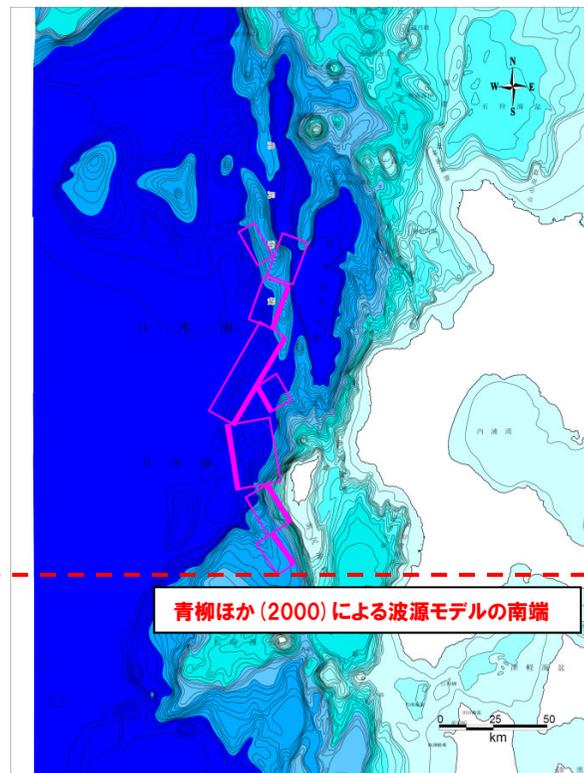
- 北海道南西沖地震の震源モデルとしては、Tanioka et al. (1995), 久家ほか (1994), 青柳ほか (2000) 等のモデルがこれまで示されている。
- これらは、震源推定の方法や、断層面の設定方法に違いがあるものの、ともに後志舟状海盆中央部の西方から奥尻海脚付近に震源位置を設定しており、波源モデル位置に差は認められない。
- 上記のモデルのうち青柳ほか (2000) のモデルの南端が最も南側に位置する。



Tanioka et al. (1995)



久家ほか (1994)



青柳ほか (2000)

## 2.2 想定波源域の設定

### 南北方向位置の設定方法 (2/2)

【平成26年1月29日審査会合】

《①基盤構造等を考慮した想定波源域(南北方向):230km》

○後志舟状海盆北西の小海盆の北端(図中★)の北方に、水深3,000m以上の小海盆(以下「海洋海山南東の海盆」という)が分布し、この2つの海盆西側のN-S方向の高まりは、約300万年前以降の東西圧縮応力場で成長した短縮変形の一部と考えられる。

○これらの海盆は、構造的に類似していることを踏まえ、海洋海山南東の海盆の北端(図中★)まで考慮すると想定波源域(南北方向)は230kmとなる。

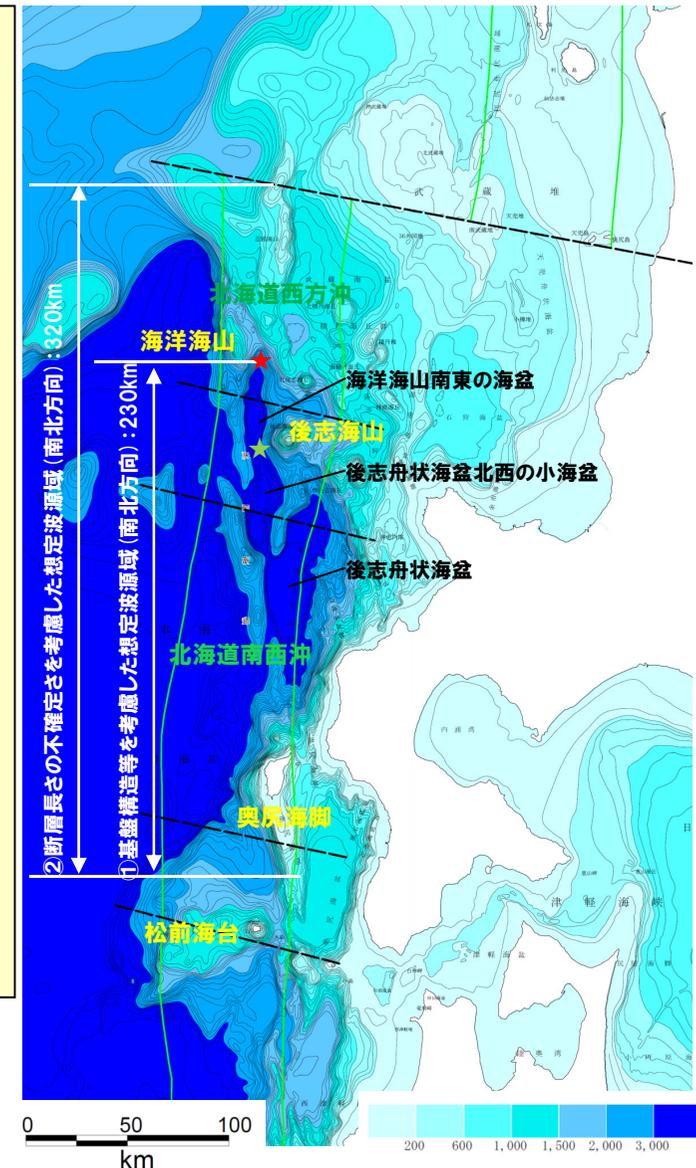
《②波源長さの不確定さを考慮した想定波源域(南北方向):320km》

○波源長さの不確定さを念頭に置き、以下の理由から、北海道南西沖から北海道西方沖までの連動を考慮する。

- 海洋海山南東の海盆の北端(図中★)は、地震本部(2003)における北海道西方沖の地震の発生領域と一部重複すること。
- 日本海盆東縁部に接する奥尻海嶺の一部(海洋海山)が、北海道西方沖の地震の発生領域の中央部付近に認められること。

○想定波源域(南北方向)は、以下の端部間距離(約313km)を包絡するよう320kmに設定した。

- 地震本部(2003)における北海道西方沖の震源断層面の北端。
- 青柳ほか(2000)における北海道南西沖地震の震源モデルの南端。



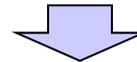
評価範囲周辺の地形図

## 2.2 想定波源域の設定

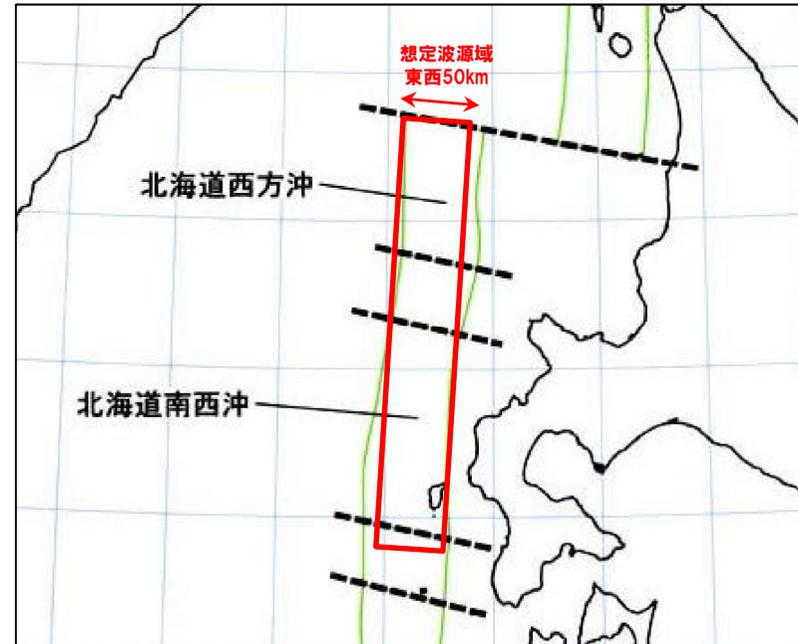
### 東西方向位置の設定方法

- 平(2002)では、日本海東縁部の変形帯について、海底探査記録から、日本海盆の縁辺に東方に傾斜した逆断層からなる変形フロントが認められ、その変形帯は東西幅で50km程度の範囲を占めるとされている。
- 評価対象領域(地震本部(2003))は、様々な既存研究(地震観測記録、歴史地震の記録、津波の記録、深度分布、地震性堆積物・津波堆積物)、過去の大地震の震源モデル、余震域及びひずみ集中帯の空間的な分布を参照して推定している\*。

※「2.1 日本海東縁部の特性整理」を参照



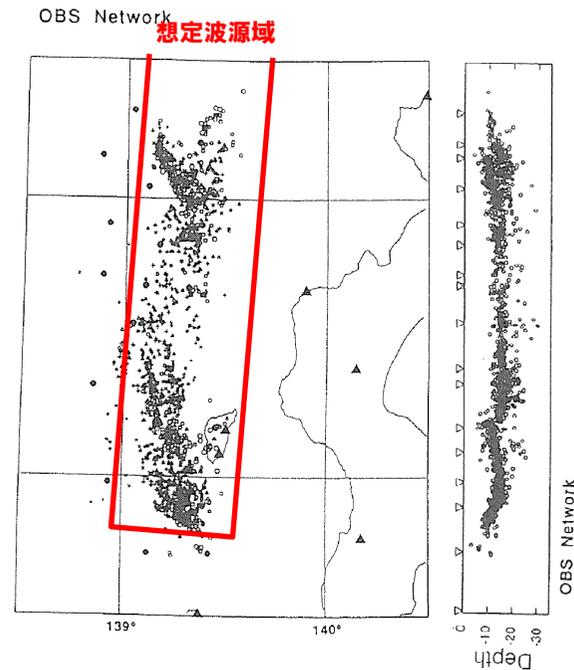
- 以上から、想定波源域(東西方向)は50kmと設定し、位置は概ね評価対象領域(地震本部(2003))内となるよう設定した。



日本海東縁部の評価対象領域  
(地震本部(2003)に一部加筆)

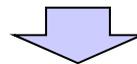
## 補足:東西方向の設定方法(余震分布との比較)

○日野ほか(1994)では、余震の震源が集中しているそれぞれの面は、本震を構成するいくつかのサブイベントの破壊面に対応するものであり、得られた余震分布はこうした破壊群の詳細な空間分布を示すものである可能性が高いとされている。



93. 7.21 12:00 – 93. 8.16 23:59

1993年北海道南西沖地震の余震分布  
(日野ほか(1994)に一部加筆)



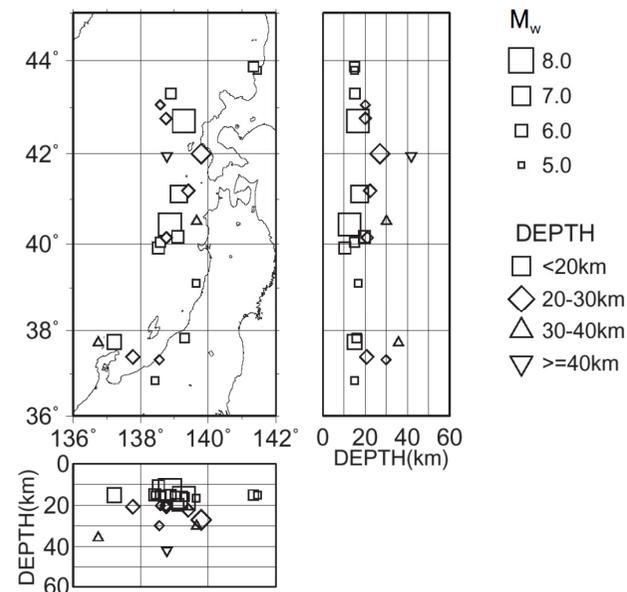
○以上から、1993年北海道南西沖地震の余震分布域(深さ方向も含む3次的分布域)は、概ね想定波源域の範囲に包含されることが確認できた。

## 2.2 想定波源域の設定

### 深度方向の設定方法 (1/4)

○土木学会 (2016) では、地震発生層厚さについて以下のとおりとされている。

- ハーバードCMT解より、1976年1月～2000年1月に発生したMw5.0以上、深さ60km以下の地震を抽出し、深さをプロットすると下図のようになる。
- これらは、概ね15～20kmの浅い位置に集中しており、地震発生層の厚さに上限があるとみられる。
- また、既往津波の痕跡高を説明できる波源モデルに示しているように、断層幅が30km以下のモデルで既往津波を説明できることから、地震発生層厚さは15～20km程度と考えられる。

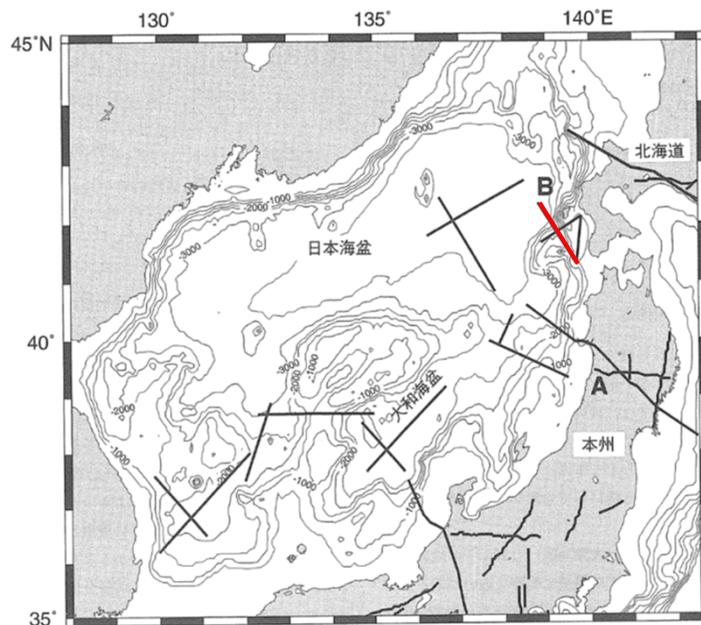


ハーバードCMT解の深さ分布  
(土木学会 (2016) より引用)

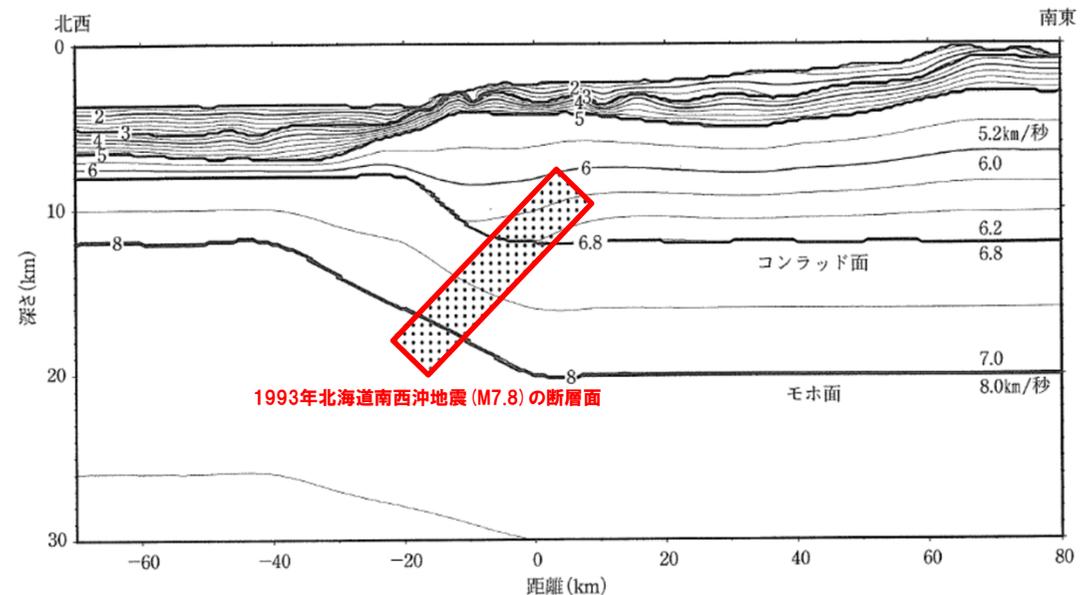
## 2.2 想定波源域の設定

### 深度方向の設定方法 (2/4)

- 長谷川 (2002) では、日本海東縁部の地殻構造が示されている。
- 地震本部 (2003) では、長谷川 (2002) の研究成果から、1993年北海道南西沖地震が海洋性地殻から大陸性地殻へと地殻の厚さが急変する場所を破壊するように発生しており、断層面の深さは20km程度以浅に位置するとされている。



これまでに実施された地殻構造探査の測線位置  
(長谷川 (2002) に一部加筆)



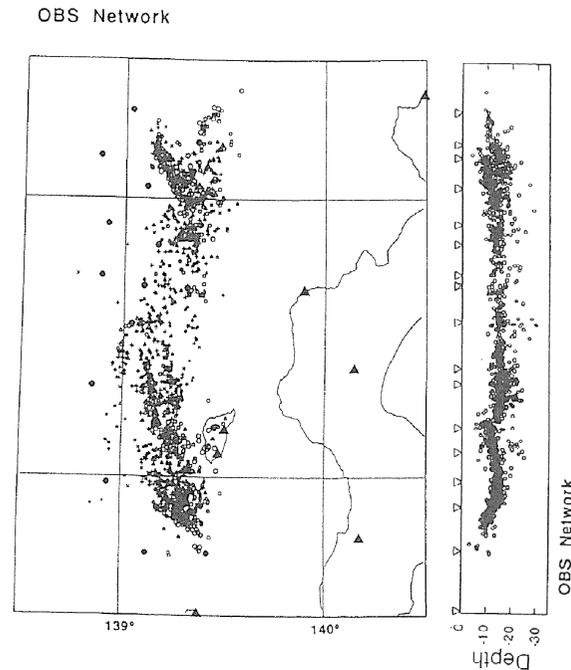
P波速度を0.1km/秒ごとのコンターで示す。ハッチは1993年北海道南西沖地震 (M7.8) の断層面

測線Bに沿った地殻構造  
(長谷川 (2002) に一部加筆)

## 2.2 想定波源域の設定

### 深度方向の設定方法 (3/4)

- 日野ほか (1994) では、北海道南西沖地震の余震分布を下図のとおり示している。
- 地震本部 (2003) では、日野ほか (1994) の1993年北海道南西沖地震の余震分布を見ると、一部の断層セグメントでは深い余震活動がみられるものの、ほとんどの余震は20km以浅の領域で発生しているとされている。



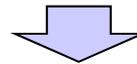
93. 7.21 12:00 – 93. 8.16 23:59

海底地震観測網により決定された  
1993年北海道南西沖地震の余震分布  
(日野ほか (1994) より引用)

## 2.2 想定波源域の設定

### 深度方向の設定方法 (4/4)

- 土木学会 (2016) によると、ハーバードCMT解より得られた震源深さは概ね15~20kmに集中し、地震発生層厚さに上限があると考えられる。
- また、既往津波の痕跡高を説明できる波源モデルより、地震発生層厚さは15~20km程度と考えられる。
- 長谷川 (2002) の研究成果から、1993年北海道南西沖地震の断層面の深さは20km程度以浅に位置すると考えられる。
- 日野ほか (1994) の1993年北海道南西沖地震の余震分布を見ると、ほとんどの余震は20km以浅の領域で発生していると考えられる。



- 以上から、想定波源域 (深度方向) は、海底面から20kmまでの範囲に設定した。

## 2.2 想定波源域の設定

### まとめ

○既往の知見を踏まえて、想定波源域について、南北方向、東西方向及び深度方向の設定根拠を再整理した。

#### 【南北方向】

○想定波源域（南北方向）は、以下の端部間距離（約313km）を包絡するよう320kmに設定した。

- 地震本部（2003）における北海道西方沖の評価対象領域の北端
- 青柳ほか（2000）における北海道南西沖地震の震源モデルの南端

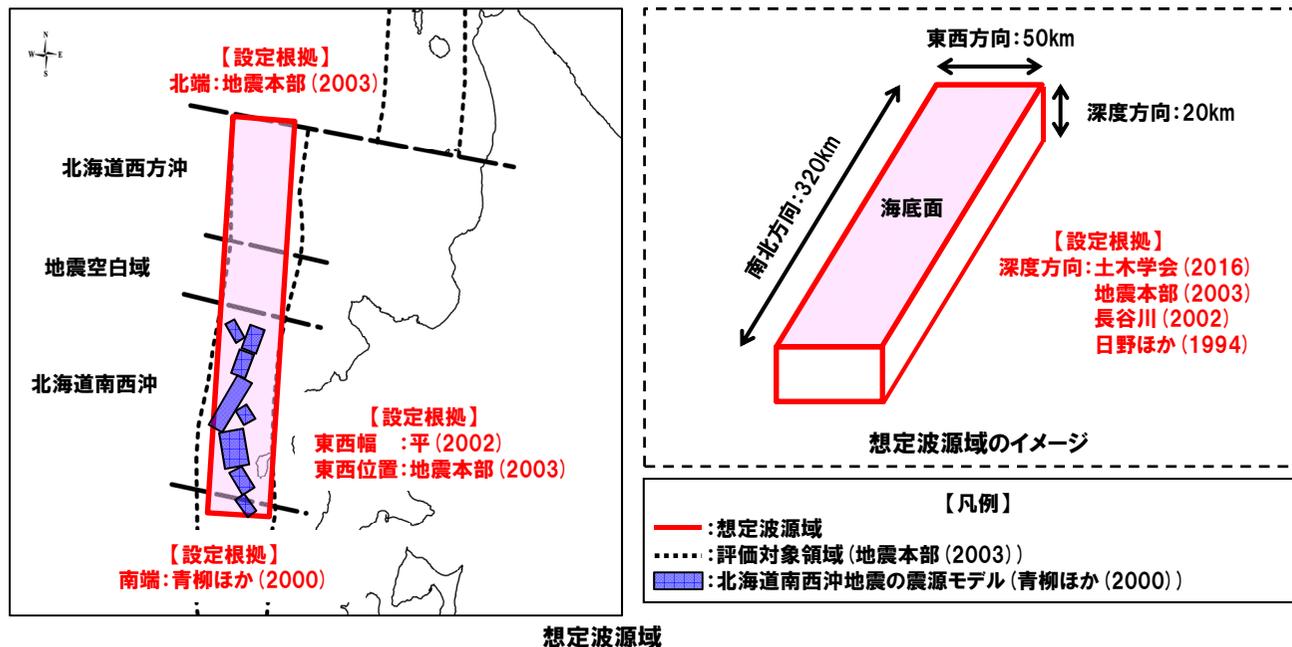
#### 【東西方向】

○想定波源域（東西方向）は、平（2002）より、50kmに設定した。

○想定波源域（東西方向）の位置は、概ね評価対象領域（地震本部（2003））内となるよう設定した。

#### 【深度方向】

○想定波源域（深度方向）は、土木学会（2016）、地震本部（2003）、長谷川（2002）及び日野ほか（1994）より、海底面から20kmまでの範囲に設定した。



1. コメント回答方針	4
1.1 指摘事項	4
1.2 指摘事項に関する回答方針	6
2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波	8
2.1 日本海東縁部の特性整理	10
2.1.1 整理方針	11
2.1.2 文献レビュー	12
2.1.3 当社の調査結果	19
2.2 想定波源域の設定	23
<b>2.3 基準波源モデルの設定</b>	<b>36</b>
2.4 パラメータスタディの検討方針	57
2.5 今後の方針	70
参考文献	72
参考資料	75

## 2.3 基準波源モデルの設定

### 整理方針

○既往の知見を踏まえて、基準波源モデルの断層パラメータの設定根拠について再整理する。

#### 【基準波源モデルの設定フロー】

①断層長さ、地震発生層厚さの設定



②傾斜角、傾斜方向の設定



③断層幅の設定



④走向の設定



⑤すべり角の設定



⑥断層面上縁深さの設定



⑦最大すべり量の設定



⑧すべりの不均質性設定



⑨剛性率の設定



⑩ライズタイムの設定

## 2.3 基準波源モデルの設定

### ①断層長さ, 地震発生層厚さの設定

#### 【断層長さ】

○断層長さは, 想定波源域(南北方向)より, 320kmに設定した。

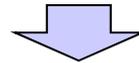
#### 【地震発生層厚さ】

○地震発生層厚さは, 想定波源域(深度方向)より, 20kmに設定した。

## 2.3 基準波源モデルの設定

### ②傾斜角, 傾斜方向の設定

- 土木学会 (2016) では, 傾斜角及び傾斜方向について以下のとおりとされている。
  - 既往津波の波源モデルの傾斜角は, 概ね $30^{\circ}$  ~  $60^{\circ}$  の範囲で痕跡高を説明することができる。
  - 日本海東縁部では, 既往地震の断層傾斜方向が一定でなく, 西傾斜・東傾斜の双方が発生している。
- 既往津波の再現が確認されている波源モデルでは, 発震機構解や余震分布, 海底地形から傾斜角及び傾斜方向を推定している。



- 以上から, 傾斜角は, 既往津波の波源モデルより概ね $30^{\circ}$  ~  $60^{\circ}$  の範囲であると考えられるが, 以下の考えに基づき,  $30^{\circ}$  及び $60^{\circ}$  に設定した。
  - 初期水位 (鉛直地盤変動量) が最も高くなるのは, 高角ケース ( $60^{\circ}$ ) である。
  - 地殻変動により移動する水の量が最も多くなるのは, 低角ケース ( $30^{\circ}$ ) である。
- 傾斜方向は, 東傾斜及び西傾斜に設定した。

## 2.3 基準波源モデルの設定

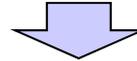
### ③断層幅の設定

- 断層幅は、地震発生層厚さ(20km)を考慮し、傾斜角に応じて以下のとおり設定した。
  - 傾斜角 $30^\circ$ の場合: 40km
  - 傾斜角 $60^\circ$ の場合: 23.1km

## 2.3 基準波源モデルの設定

### ④ 走向の設定

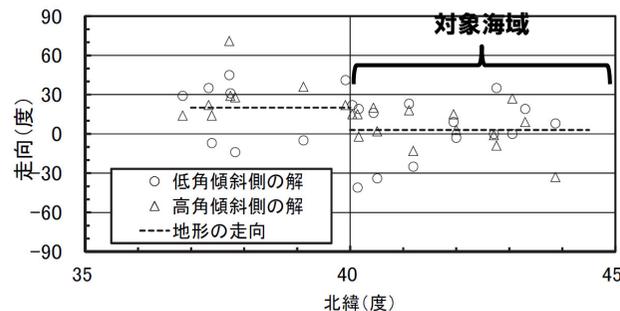
○土木学会(2016)では、ハーバードCMT解より得た走向をプロットしており、発震機構解は「地形の走向(活断層の走向を併せて考慮した等水深線の向きの近似的値)」を中心に分布している。



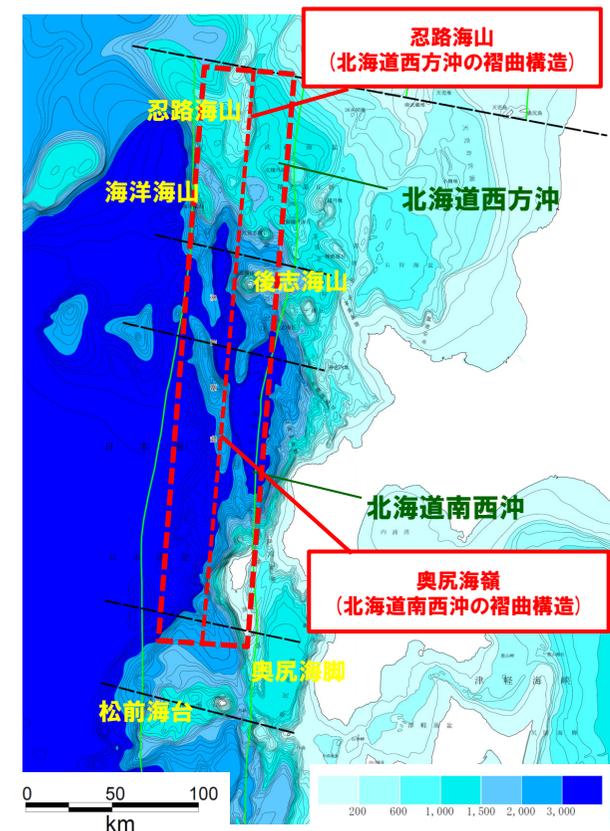
○以上から、走向は、既往地震のハーバードCMT解及び対象海域における「地形の走向」より、以下のとおり設定した。

- 東傾斜の場合： $3^{\circ}$
- 西傾斜の場合： $183^{\circ}$

○なお、設定した走向は、北海道南西沖の褶曲構造である奥尻海嶺と北海道西方沖の褶曲構造である忍路海山を通る走向と概ね整合する。



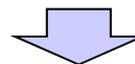
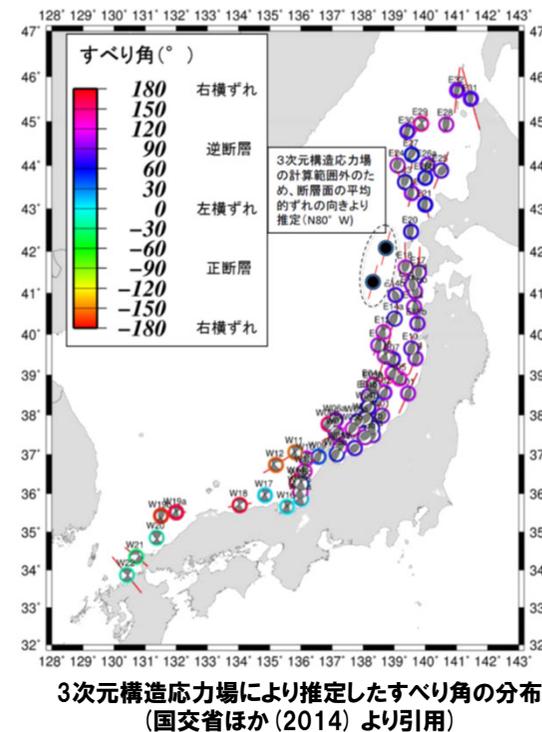
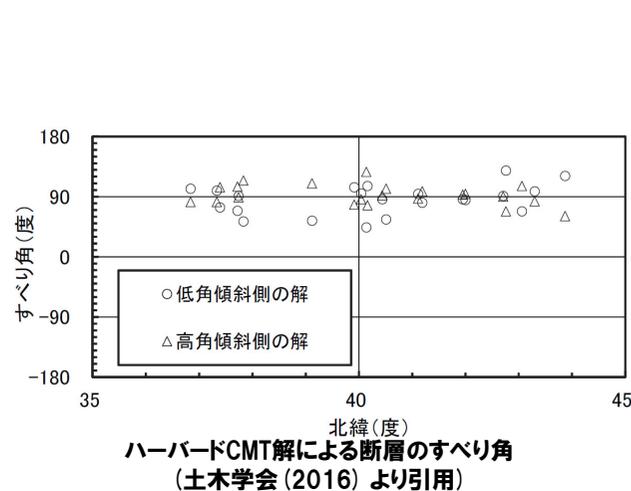
ハーバードCMT解による断層走向と地形走向  
(土木学会(2016)に一部加筆)



## 2.3 基準波源モデルの設定

### ⑤すべり角の設定

- 土木学会 (2016) では、ハーバードCMT解より得たすべり角をプロットしており、既往津波の波源モデルのすべり角はいずれも $90^\circ$  に近く、発震機構解のすべり角データもこれを裏付けているとされている。
- 国交省ほか (2014) では、東北地方から北海道地方の沿岸にかけては、 $90^\circ$  に近い断層すべり角となったとされている。

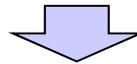


- 以上から、すべり角は、既往地震のハーバードCMT解及び東北地方から北海道地方の沿岸におけるすべり角の分布より $90^\circ$  に設定した。

## 2.3 基準波源モデルの設定

### ⑥断層面上縁深さの設定

○根本ほか(2009)では、日本海東縁部の既往地震のアスペリティモデルについて、断層面上縁深さは日本海東縁部の地震発生層の上限深度を考慮して海底面より深さ1kmに設定したとされている。

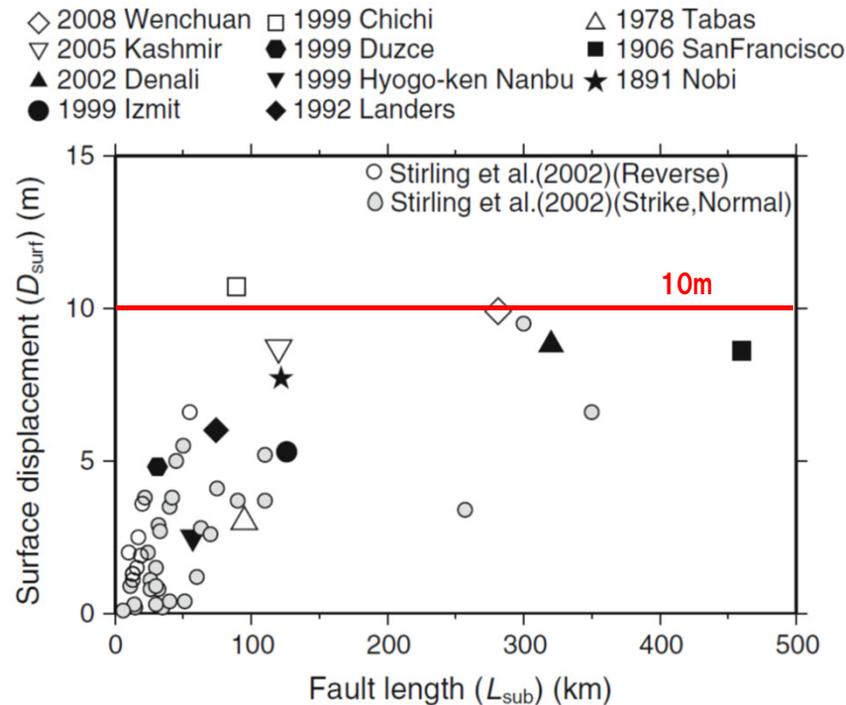


○以上から、断層面上縁深さは海底面より、深さ1kmに設定した。

## 2.3 基準波源モデルの設定

### ⑦最大すべり量の設定 (1/8)

○Murotani et al. (2015) では、世界の内陸で発生した地震を分析した結果、地表で観測された最大変位量は震源断層での最大すべり量と1:1の比例関係にあり、震源断層長さが約100km以上の場合、地表最大変位量は10m程度で飽和するとされている。



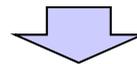
断層長さと最大地表変位量との比較  
(Murotani et al. (2015) に一部加筆)

## 2.3 基準波源モデルの設定

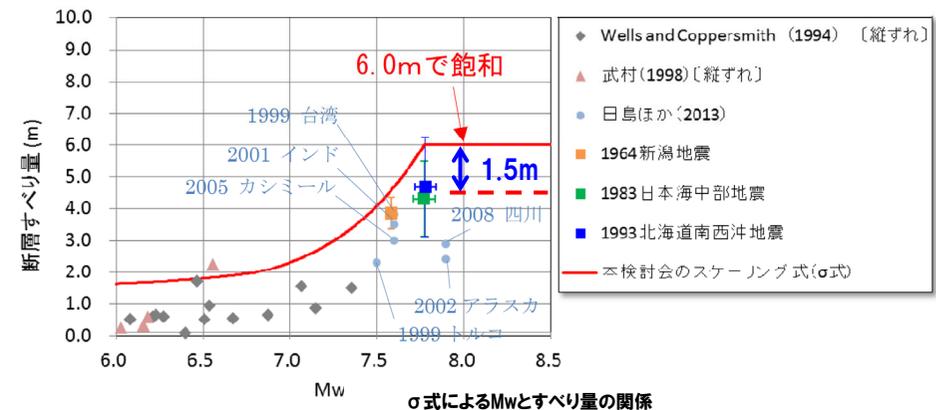
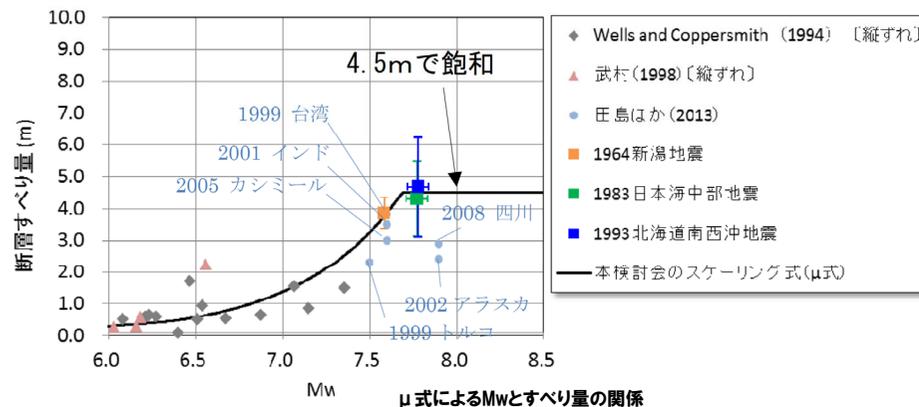
### ⑦最大すべり量の設定 (2/8)

○国交省ほか (2014) では、すべり量の設定について以下のとおりとされている。

- 日本海東縁部で発生した1964年新潟地震, 1983年日本海中部地震及び1993年北海道南西沖地震の既存の解析結果による平均すべり量が4.5m程度となったため, 内陸地震の関係式を同様に地震規模が大きくなると断層すべり量が飽和するとして, 日本海東縁部で発生した既往地震の平均すべり量4.5mで頭打ちとなる関係式 ( $\mu$ 式) を設定した。
- 既往研究による過去の地震の平均すべり量にはばらつきがみられ, 防災上の観点からはより大きなすべり量の波源モデルを想定対象とすることが重要であるため, 日本海側で解析結果のある最大規模の地震 (1983年日本海中部地震, 1993年北海道南西沖地震) の既往波源モデルのすべり量のばらつきを考慮し, 平均すべり量 ( $D_\mu$ ) にばらつきの標準偏差 ( $\sigma$ ) 1.5mを加えたモデルも検討した。
- 大すべり域のすべり量は平均すべり量の2倍とする。



○以上から,  $\sigma$ 式における平均すべり量は6mで飽和するため, 大すべり域のすべり量は最大12mとなる。



地震規模とすべり量の関係  
(国交省ほか (2014) に一部加筆)

## 2.3 基準波源モデルの設定

### ⑦最大すべり量の設定 (3/8)

- 地震本部 (2016) では、活断層で発生する地震の地震規模 (地震モーメント  $M_o$  (N・m)) を震源断層の面積  $S$  (km<sup>2</sup>) との経験的關係より算出するとし、地震の規模に応じて3段階で  $S$ - $M_o$  關係式を使い分けるとされている。
- 日本海東縁部に想定した基準波源モデルは  $M_w=8.22$ ,  $8.06$  であり、地震規模 ( $7.4 < M_w$ ) の關係式が適用される。
- この關係式から算出される平均すべり量は  $2.86\text{m}$  となる。
- また、アスペリティのすべり量は、震源断層全体の平均すべり量の2倍とされており  $5.72\text{m}$  となる。

#### 【地震本部 (2016) の $S$ - $M_o$ 關係式】

$M_o = (S / 2.23 \times 10^{15})^{3/2} \times 10^{-7}$	( $M_w < 6.5$ )	Somerville et al. (1999) の式
$M_o = (S / 4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7}$	( $6.5 \leq M_w \leq 7.4$ )	入倉・三宅 (2001) の式
$M_o = S \times 10^{17}$	( $7.4 < M_w$ )	Murotani et al. (2015) の式

$M_o$  : 地震モーメント (N・m)  
 $S$  : 断層面積 (km<sup>2</sup>)  
 $M_w$  : モーメントマグニチュード

上記  $S$ - $M_o$  關係式に以下を代入して算出した平均すべり量  $D$  は、 $2.86\text{m}$  (面積によらず一定) となる。

- ・平均すべり量:  $D = M_o / \mu S$
- ・基準波源モデルの面積:  $S = 12.8 \times 10^3 \text{km}^2$ ,  $7.392 \times 10^3 \text{km}^2$
- ・剛性率:  $\mu = 3.5 \times 10^{10} \text{N/m}^2$  (土木学会 (2016))

**【アスペリティのすべり量】**  
 $D_a = 5.72\text{m}$  (平均すべり量の2倍)

## 2.3 基準波源モデルの設定

### ⑦最大すべり量の設定 (4/8)

- 土木学会 (2016) では、国交省ほか (2014) を参照して、日本海東縁部の地震規模 (地震モーメント  $M_o$  (N・m)) を震源断層の面積  $S$  (km<sup>2</sup>) との経験的關係より算出するとし、地震の規模に応じて3段階で  $S$ - $M_o$  關係式を使い分ける検討例が示されている。
- 日本海東縁部に想定した基準波源モデルは  $M_w=8.22$ ,  $8.06$  であり、地震規模 ( $7.7 < M_w$ ) の關係式が適用される。
- この關係式から算出される平均すべり量は  $4.5\text{m}$  となる。
- また、アスペリティのすべり量は、震源断層全体の平均すべり量の2倍とされており  $9.0\text{m}$  となる。

#### 【土木学会 (2016) の $S$ - $M_o$ 關係式】

$$M_o = (S / 2.23 \times 10^{15})^{3/2} \times 10^{-7} \quad (M_w < 6.5)$$

(Mw &lt; 6.5)

Somerville et al. (1999) の式

$$M_o = (S / 4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7} \quad (6.5 \leq M_w \leq 7.7)$$

(6.5 ≤ Mw ≤ 7.7)

入倉・三宅 (2001) の式

$$M_o = 1.575 \times S \times 10^{17} \quad (7.7 < M_w^*)$$

(7.7 &lt; Mw\*)

日本海東縁部の既往地震の平均すべり量  $4.5\text{m}$  で飽和する關係式 (剛性率  $\mu: 3.5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ ) $M_o$  : 地震モーメント (N・m) $S$  : 断層面積 (km<sup>2</sup>) $M_w$  : モーメントマグニチュード

※世界の地殻内地震の地震規模と地殻厚さを検討した結果、地殻厚さが  $40\text{km}$  未満の領域では  $M_w 8.0$  を超える地震が発生していないことを踏まえ、 $M_w$  の上限は  $8.0$  とされている。

上記  $S$ - $M_o$  關係式に以下を代入して算出した平均すべり量  $D$  は、 $4.5\text{m}$  (面積によらず一定) となる。

- 平均すべり量:  $D = M_o / \mu S$

- 基準波源モデルの面積:  $S = 12.8 \times 10^3 \text{ km}^2$ ,  $7.392 \times 10^3 \text{ km}^2$

- 剛性率:  $\mu = 3.5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$  (土木学会 (2016))

#### 【アスペリティのすべり量】

$D_a = 9.0\text{m}$  (平均すべり量の2倍)

## 2.3 基準波源モデルの設定

### ⑦最大すべり量の設定 (5/8)

○国交省ほか (2014), 地震本部 (2016) 及び土木学会 (2016) のそれぞれのスケーリング則に基づき設定される最大すべり量は下表のとおりであり, その最大値は12mである。

スケーリング則に基づく最大すべり量

	国交省ほか (2014)	地震本部 (2016)	土木学会 (2016)
最大すべり量	12.0m	5.72m	9.0m

## 2.3 基準波源モデルの設定

### ⑦最大すべり量の設定 (6/8)

○土木学会 (2016) の既往津波の痕跡高を説明できる波源モデルのうち、すべり量の最大値は、1993年北海道南西沖地震津波の再現モデル (高橋ほか (1995) のDCRC-26モデル) の12mである。

既往津波の再現性が確認されている波源モデル

対象津波	モデル $M_w$	面積 ( $\text{km}^2$ )	$L$ (km)	$W$ (km)	$D$ (m)	$d$ (km)	$\theta$ (度)	$\delta$ (度)	$\lambda$ (度)	データ 数	$K$	$\kappa$	備考
1833年天保山形沖 (A)	7.82	1250	50	25	6.4	0	10	60	90	27	1.04	1.42	土木学会(2002) (相田(1989)を修正;陸岸近く)
		1750	70	25	6.4	0	40	60	120				
1833年天保山形沖 (B)	7.76	3960	132	30	4.0	0	208	45	90	27	1.17	1.28	土木学会(2002)(沖合)
1940年積丹沖	7.70	4050	135	30	3.2	0	347	40	90	20	1.02	1.42	土木学会(2002) (Satake(1986)を修正)
1964年新潟	7.35	900	45	20	3.3	1	202	60	90	検潮	—	—	Noguera and Ku,Abe(1992)
		300	20	15	3.0	1	189	60	90				
同上	7.51	813	32.5	25	5.3	0	200	60	52	検潮	—	—	加藤・安藤(1995)
		813	32.5	25	2.9	0	200	60	90				
1983年日本海中部	7.74	1200	40	30	7.6	2	22	40	90	218	1.12	1.46	相田(1984) Model-10
		1800	60	30	3.05	3	355	25	80				
1993年北海道南西沖	7.84	2250	90	25	5.71	10	188	35	80	249	0.96	1.51	高橋武之ら(1995) DCRC-26モデル
		650	26	25	4.00	5	175	60	105				
		458	30.5	15	12	5	150	60	105				

(土木学会 (2016) に一部加筆)

## 2.3 基準波源モデルの設定

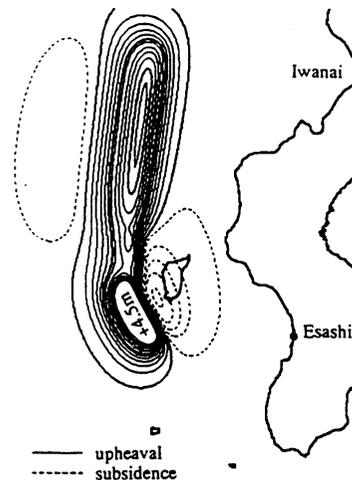
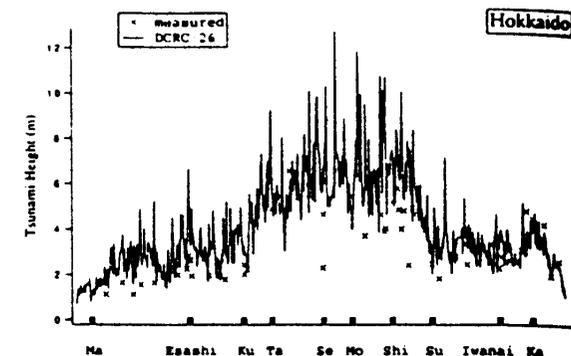
### ⑦最大すべり量の設定 (7/8)

- 高橋ほか (1994) では、DCRC-17aモデル (最大すべり量12m) の構築で重視した考え方について、奥尻島初松前での20mにも達する高い打ち上げ高を再現できなくてはならないとされている。  
※DCRC-17aモデルは、高橋ほか (1995) のDCRC-26モデルの先行モデルであり、どちらも最大すべり量を12mに設定している。
- 高橋ほか (1995) によると、DCRC-26モデルによる北海道南西岸の津波打ち上げ高分布によると、江差以南では、津波痕跡高に比べて計算津波高さが高い (右図)。

DCRC-26モデルの断層パラメータ

Fault	north	central	south
Width (km)	25.0	25.0	15.0
Length (km)	90.0	26.0	30.5
Strike (°)	188	175	150
Dip Angle (°)	35	60	60
Slip Angle (°)	80	105	105
Depth (km)	10	5	5
Dislocation (m)	5.71	4.00	12.00
$M_0$ ( $\times 10^{27}$ dyne $\cdot$ cm)	3.85	0.78	1.65

(高橋ほか (1995) に一部加筆)

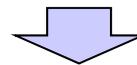
DCRC-26モデルにおける地盤変位  
(高橋ほか (1995) より引用)DCRC-26モデルにおける津波打ち上げ高分布  
(高橋ほか (1995) より引用)

- 以上から、DCRC-26モデルの最大すべり量12mは、奥尻島の特定地点で観測された津波の高い打ち上げ高さの再現を目的として設定された値であると考えられる。
- また、北海道本島に対して計算津波高さが大きくなる傾向であることから、泊発電所の津波評価に対しては適切な設定であると考えられる。

## 2.3 基準波源モデルの設定

### ⑦最大すべり量の設定 (8/8)

- Murotani et al. (2015) によると、世界の内陸で発生した地震の最大地表変位量は、約10mで飽和する。
- 国交省ほか (2014)、地震本部 (2016) 及び土木学会 (2016) のそれぞれのスケーリング則における最大すべり量を比較した結果、その最大値は12mである。
- 土木学会 (2016) の既往津波の再現性が確認されている波源モデルにおける最大すべり量の最大値は12mであり、北海道南西沖地震津波の局所的に大きな津波を再現するように設定された値であると考えられる。



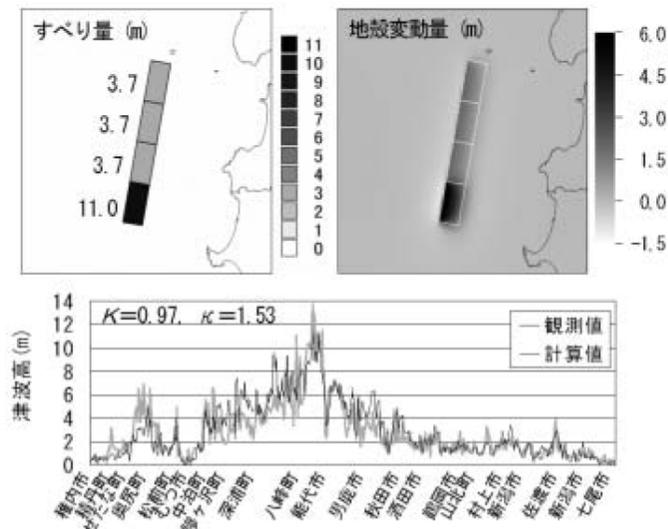
- 以上から、最大すべり量は、12mに設定した。

## 2.3 基準波源モデルの設定

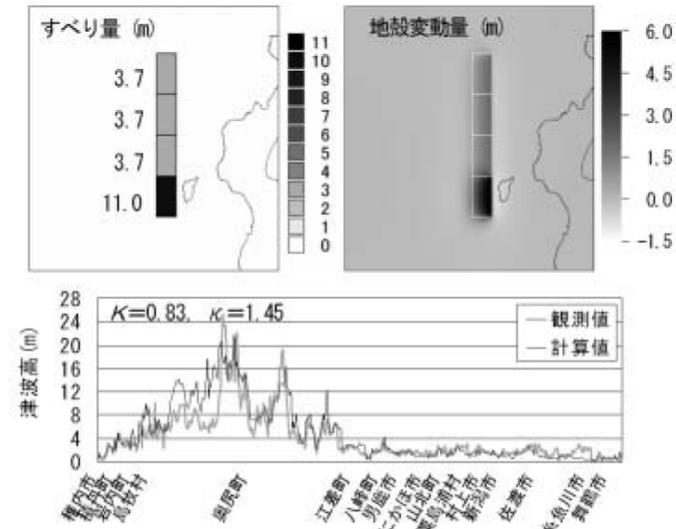
### ⑧すべりの不均質性の設定

○根本ほか(2009)では、日本海東縁部のアスペリティモデルのすべり量の設定方法について以下のとおりとされている。

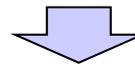
- アスペリティモデルでは4つのセグメントのいずれかがアスペリティに相当するセグメントと考えるので、アスペリティの位置が想定できない場合でも4ケースの計算を行えば良い。
- 最終的な予測値は、その4ケースの最大値を採用することが防災上の見地から適当と考えられる。
- 断層面を4セグメントに分割して、そのうち1セグメントをアスペリティ領域、残りの3セグメントを背景領域とみなして、次のようにすべり量を与えている。
  - ・  $D_a = 2 \times D$
  - ・  $D_b = 2/3 \times D$
- ここで、 $D$ :平均すべり量,  $D_a$ :アスペリティ領域のすべり量(最大すべり量),  $D_b$ :背景領域のすべり量



アスペリティモデルの波源モデルと計算津波高  
【1983年日本海中部地震】  
(根本ほか(2009)より引用)



アスペリティモデルの波源モデルと計算津波高  
【1993年北海道南西沖地震】  
(根本ほか(2009)より引用)



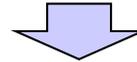
○以上から、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の評価にすべりの不均質性を考慮する。

○また、背景領域のすべり量は、最大すべり量(12m)を基に日本海東縁部のアスペリティモデルのすべり量の設定方法より4mに設定した。

## 2.3 基準波源モデルの設定

### 補足:すべりの不均質性の設定

- 根本ほか(2009)のアスペリティモデルのスケーリング則の妥当性を確認するため、大すべり域の面積比及びすべり量比について、根本ほか(2009)と国交省ほか(2014)やSomerville et al.(1999)を比較した。
- その結果、根本ほか(2009)と国交省ほか(2014)やSomerville et al.(1999)のスケーリング則は概ね整合的であることが確認できた。



- 以上から、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の波源モデルの設定に根本ほか(2009)のスケーリング則を適用することは妥当と考えられる。

根本ほか(2009)と国交省ほか(2014)やSomerville et al.(1999)のスケーリング則の比較

文献	大すべり面積/全体面積	大すべり量/平均すべり量	備考
根本ほか(2009)	0.25	2.0	-
国交省ほか(2014)	0.20	2.0	中央防災会議(2006)による設定
Somerville et al.(1999)	0.22	2.01	世界で発生した15の地殻内地震の震源パラメータの統計により設定

## 2.3 基準波源モデルの設定

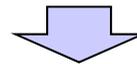
### ⑨剛性率の設定

○土木学会 (2016) では、地震波速度や密度に関する既往研究に基づき、海域毎に剛性率が示されている。

震源付近の媒質の剛性率

海 域	根 拠	剛性率
<ul style="list-style-type: none"> <li>・西南日本陸側プレート内</li> <li>・日本海東縁部</li> <li>・プレート境界浅部（断層面全体が深さ 20km 以浅に存在する場合）</li> </ul>	$V_p=6.0\text{km/s}$ $V_p/V_s=1.6\sim 1.7$ $\rho=2.7\sim 2.8\text{g/cm}^3$ とすれば、 $\mu=3.36\times 10^{10}\sim 3.94\times 10^{10}\text{N/m}^2$ となる。この中間的値とする。	$3.5\times 10^{10}\text{N/m}^2$ $(3.5\times 10^{11}\text{dyne/cm}^2)$
<ul style="list-style-type: none"> <li>・海洋プレート内</li> <li>・プレート境界深部（断層面全体が深さ 20km 以深に存在する場合）</li> </ul>	$V_p=8.0\sim 8.1\text{km/s}$ $V_p/V_s=1.75\sim 1.80$ $\rho=3.2\sim 3.5\text{g/cm}^3$ とすれば、 $\mu=6.31\times 10^{10}\sim 7.50\times 10^{10}\text{N/m}^2$ となる。この中間的値とする。	$7.0\times 10^{10}\text{N/m}^2$ $(7.0\times 10^{11}\text{dyne/cm}^2)$
<ul style="list-style-type: none"> <li>・プレート境界中央部（断層面が深さ 20km 以浅と以深にまたがって存在する場合）</li> </ul>	浅部と深部の中間的値とする。	$5.0\times 10^{10}\text{N/m}^2$ $(5.0\times 10^{11}\text{dyne/cm}^2)$

(土木学会 (2016) に一部加筆)



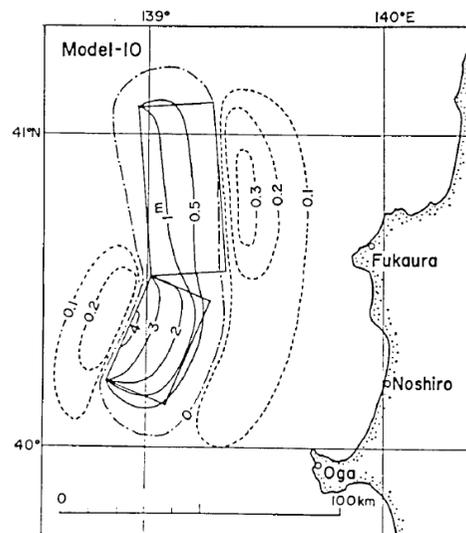
○以上から、剛性率は、日本海東縁部における震源付近の媒質の剛性率より、 $3.5\times 10^{10}\text{N/m}^2$  に設定した。

## 2.3 基準波源モデルの設定

### ⑩ライズタイムの設定

○土木学会(2016)では、1983年日本海中部地震及び1993年北海道南西沖地震の津波痕跡高を説明できる波源モデルとして、それぞれ、相田(1984)、高橋ほか(1995)が示されており、これらのモデルでは、波源モデルから計算された地盤変位を初期条件としていることからライズタイムは考慮していない(0s)と推定される。

また波源としては断層モデルを仮定し、そのパラメータから MANSINHA and SMYLLIE (1971) の方法によって海底の鉛直変位を計算し、それを水位の初期条件として与えた。



1983年日本海中部地震津波波源モデル  
(相田(1984)に一部加筆)

DCRC-26 による地盤変位を図1に示す。この初期波形は奥尻島での沈降水量(例えば、熊木ら,1993)を満足している。

この地盤変位を初期条件とし、線形長波理論により計算を行った。ただし、陸側境界としては最低水深10mの完全反射条件を用いた。また、空間格子間隔は450m、時間間隔は1秒とした。

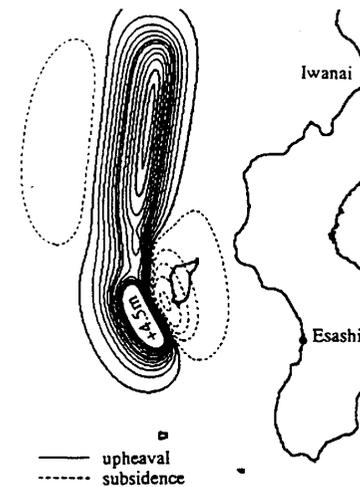
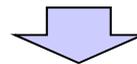


図1 地盤変位

1993年北海道南西沖地震津波波源モデル  
(高橋ほか(1995)に一部加筆)



○以上から、ライズタイムは、1983年日本海中部地震津波及び1993年北海道南西沖地震津波の再現性が高いモデルより0sに設定した。

## 2.3 基準波源モデルの設定

### まとめ

○既往の知見を踏まえて、基準波源モデルの断層パラメータの設定根拠について再整理した。

基準波源モデルの断層パラメータと設定根拠

断層パラメータ	日本海東縁部 (L=320km)		設定根拠
モーメント マグニチュード <sup>*</sup> Mw	8.22	8.06	$M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$
断層長さ L	320km		想定波源域(南北方向)より設定
断層幅 W	40km	23.1km	地震発生層厚さ(20km) <sup>*</sup> を考慮し傾斜角に応じて設定 <sup>*</sup> 地震発生層厚さは想定波源域(深度方向)より設定
すべり量 D	アスぺリティ領域 $D_a = 12\text{m}$ 背景領域 $D_b = 4\text{m}$		$D_a$ :以下の知見より設定 <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 世界の内陸で発生した地震の最大地表変位量 (Murotani et al. (2015))</li> <li>➢ スケーリング則における最大すべり量 (国交省ほか(2014), 地震本部(2016), 土木学会(2016))</li> <li>➢ 既往津波の再現性が確認されている波源モデルにおける最大すべり量の最大値 (土木学会(2016))</li> </ul> $D_b$ :日本海東縁部のアスぺリティモデルのすべり量の設定方法より設定(根本ほか(2009))
剛性率 $\mu$	$3.5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$		日本海東縁部における震源付近の媒質の剛性率より設定(土木学会(2016))
地震モーメント $M_0$	$2.69 \times 10^{21} \text{ Nm}$	$1.55 \times 10^{21} \text{ Nm}$	$M_0 = \mu LWD$
断層面 上縁深さ d	1km		日本海東縁部のアスぺリティモデルより設定(根本ほか(2009))
走向 $\theta$	東傾斜: $3^\circ$ 西傾斜: $183^\circ$		既往地震のハーバードCMT解及び対象海域における「地形の走向」より設定(土木学会(2016))
傾斜角 $\delta$	$30^\circ$	$60^\circ$	既往津波の波源モデルより設定(土木学会(2016))
すべり角 $\lambda$	$90^\circ$		既往地震のハーバードCMT解及び東北地方から北海道地方の沿岸におけるすべり角の分布より設定(土木学会(2016), 国交省ほか(2014))
ライズタイム $\tau$	0s		1983年日本海中部地震津波及び1993年北海道南西沖地震津波の再現性が高いモデルより設定(相田(1984), 高橋ほか(1995))

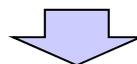
## 2.4 パラメータスタディの検討方針

1. コメント回答方針	4
1.1 指摘事項	4
1.2 指摘事項に関する回答方針	6
2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波	8
2.1 日本海東縁部の特性整理	10
2.1.1 整理方針	11
2.1.2 文献レビュー	12
2.1.3 当社の調査結果	19
2.2 想定波源域の設定	23
2.3 基準波源モデルの設定	36
<b>2.4 パラメータスタディの検討方針</b>	<b>57</b>
2.5 今後の方針	70
参考文献	72
参考資料	75

## 2.4 パラメータスタディの検討方針

### 整理方針

- 土木学会(2016)では、パラメータスタディについて以下のとおりとされている。
  - 不確定性を考慮する方法の一つとして、基本波源モデルに対するパラメータスタディが考えられ、パラメータスタディを実施する因子を適切に選定するとともに、その範囲を合理的に定めることが重要である。
  - 基本波源モデルのパラメータのうち、より支配的と考えられる因子に関するパラメータスタディを行った後、その中で敷地に最も影響を与えた波源モデルを用いてその他の従属的な因子に関するパラメータスタディを行うことを基本とする。



- 既往の知見を踏まえて、パラメータスタディ実施の要否と変動幅の設定根拠を再整理し、パラメータスタディフローを示す。

## 2.4 パラメータスタディの検討方針

### パラメータスタディ実施の要否 (1/2)

- 既往の知見を踏まえて、パラメータスタディ実施の要否と変動幅の設定根拠を再整理した。
- パラメータスタディを実施する因子として、東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向、アスペリティ位置、断層面上縁深さ、走向を選定する。

項目	基準波源モデル		パラメータスタディ	
	諸元ほか		パラメータスタディを実施する因子の選定	変動幅の根拠 or パラメータスタディを実施しない根拠
	低角断層	高角断層		
モーメント マグニチュード <sup>*</sup> Mw	8.22	8.06	-	他諸元からの算定値
断層長さ L	320km		-	想定波源域の上限を考慮
断層幅 W	40km	23.1km	-	想定波源域の上限を考慮
すべり量 D	アスペリティ領域: $D_a = 12\text{m}$ 背景領域: $D_b = 4\text{m}$		-	既往の知見に照らしてすべり量の上限を考慮
剛性率 $\mu$	$3.5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$		-	すべり量を最大で固定しているため、剛性率の値が津波評価に影響しない
地震モーメント $M_0$	$2.69 \times 10^{21} \text{ Nm}$	$1.55 \times 10^{21} \text{ Nm}$	-	他諸元からの算定値
断層面 上縁深さ d	1km		詳細パラメータスタディとして実施 変動幅: 0~5km	既往津波の波源モデルの変動幅 (土木学会 (2016))
波源位置 (走向 $\theta$ )	東傾斜: $3^\circ$ 西傾斜: $183^\circ$		詳細パラメータスタディとして実施 変動幅: $\pm 10^\circ$	既存断層パラメータの走向の標準偏差 (土木学会 (2002))
傾斜角 $\delta$	$30^\circ$	$60^\circ$	概略パラメータスタディとして実施 変動幅: $30^\circ, 60^\circ$	既往津波の波源モデルの変動幅 (土木学会 (2016))
すべり角 $\lambda$	$90^\circ$		-	初期水位が最大となる設定
ライズタイム $\tau$	0s		-	既往津波を再現する設定かつ津波高さが大きくなる設定
アスペリティ位置	-		概略パラメータスタディとして実施 変動幅: 40km, 10kmピッチ	網羅的に検討
傾斜方向	-		概略パラメータスタディとして実施 変動幅: 東傾斜, 西傾斜	網羅的に検討 (土木学会 (2016))
東西方向位置	-		概略パラメータスタディとして実施 変動幅: 西端, 中央, 東端	想定波源域を網羅する範囲 (土木学会 (2016))

## 2.4 パラメータスタディの検討方針

### パラメータスタディ実施の要否 (2/2)

○パラメータスタディを実施する因子は、土木学会(2016)におけるパラメータスタディを原則実施する因子とも整合する。

海域または地震のタイプ	静的パラメータ							動的パラメータ		
	位置	大すべり 領域位置	走向	傾斜角	傾斜方向	すべり角	上縁深さ	破壊開始点	破壊伝播 速度	ライズ タイム
プレート間逆断層地震と 津波地震の連動 プレート間逆断層地震 (不均質モデルの場合)	○*1	○	—	—	—	○**2	—	○	○	○
プレート間逆断層地震 (均質モデルの場合)	○*1	—	○	○	—	○**2	○	—	—	—
日本海溝沿い (プレート内正断層)	○	—	○	○	—	— (270度固定)	○	—	—	—
日本海溝沿い(津波地震) (均質モデルの場合)	○	—	○	○	—	○**2	○	—	—	—
日本海東縁部 (地殻内地震)	○	○	○	○	○*1	— (90度固定)	○	—	—	—
海域活断層 (上部地殻内地震)	—	○**5	—	○**5	○**6	○**3	○	—	—	—

パラメータスタディの因子  
(○:パラメータスタディを原則実施する因子)  
(土木学会(2016)に一部加筆)

## 2.4 パラメータスタディの検討方針

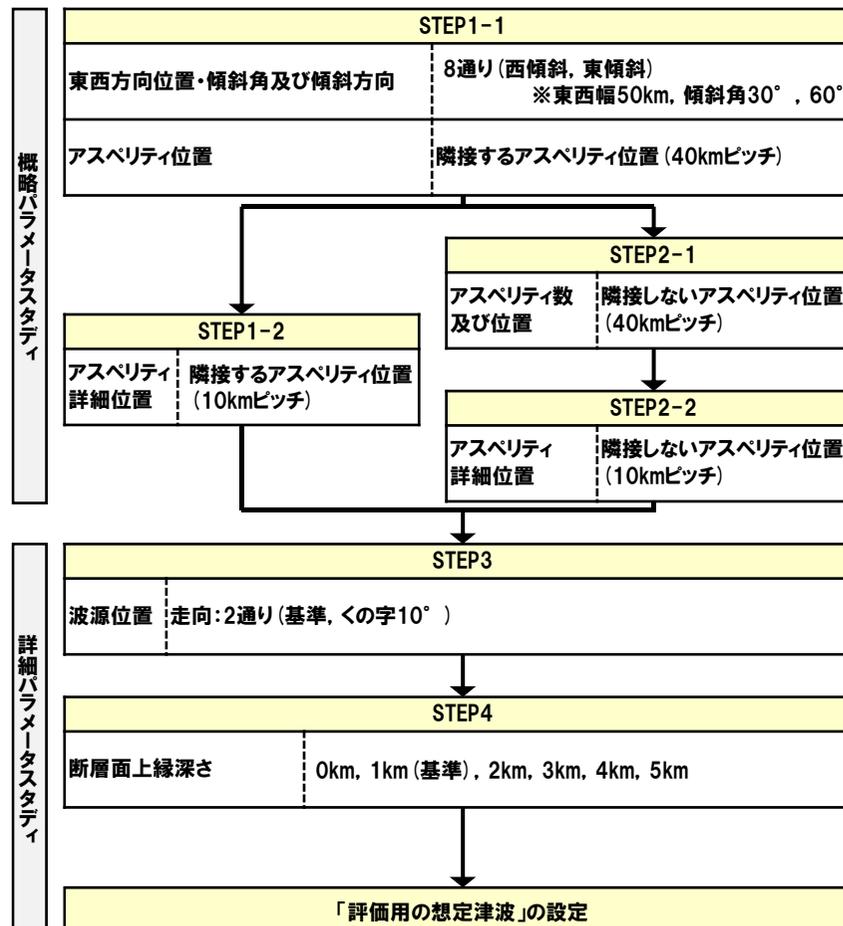
### パラメータスタディフロー

○パラメータスタディフローを以下に示す。

○なお、パラメータスタディフローの妥当性確認として、パラメータスタディの評価因子影響分析において、以下を確認する。

- 概略パラメータスタディ: 津波水位に対して支配的因子であること
- 詳細パラメータスタディ: 津波水位に対して従属的因子であること

※過去に実施した波源位置のパラメータスタディ(複数枚モデル, 東西南北5kmを移動, 走向一律 $\pm 2.5^\circ$ ,  $5^\circ$ に変動)については、「2.2 想定波源域の設定」にて、考慮する波源位置を設定したことから、パラメータスタディは実施しない。



## 2.4 パラメータスタディの検討方針

### STEP1-1 アスぺリティ位置・東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向 (1/2)

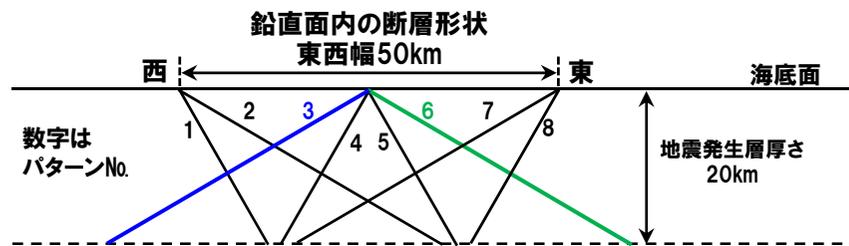
- 概略パラメータスタディのSTEP1-1では、東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向とアスぺリティ位置の不確定性を考慮する。
- 基準波源モデルを対象に、東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向と隣接するアスぺリティ位置 (40kmピッチ) を組合せたパラメータスタディを実施する。

#### 【東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向の変動幅】

- 土木学会 (2016) に基づく断層パターンを用いて検討する。

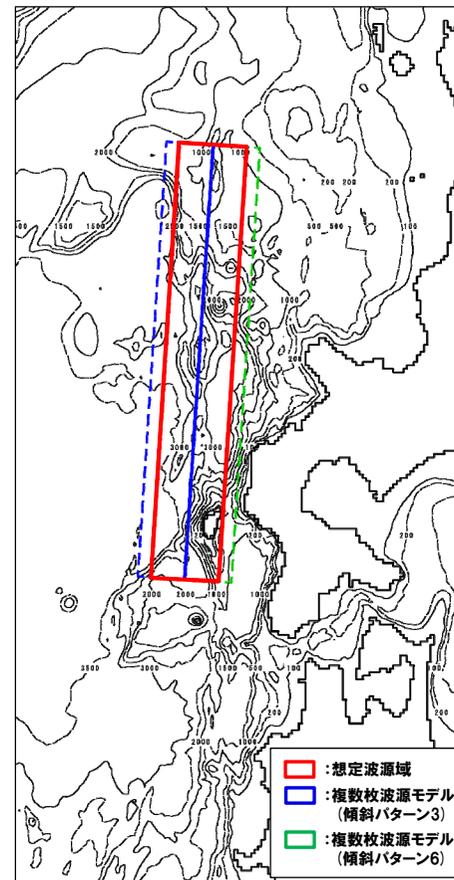
#### 【アスぺリティ位置の変動幅】

- 波源モデルを長さ方向に8分割し、隣接する2つのセグメントにアスぺリティを配置する。



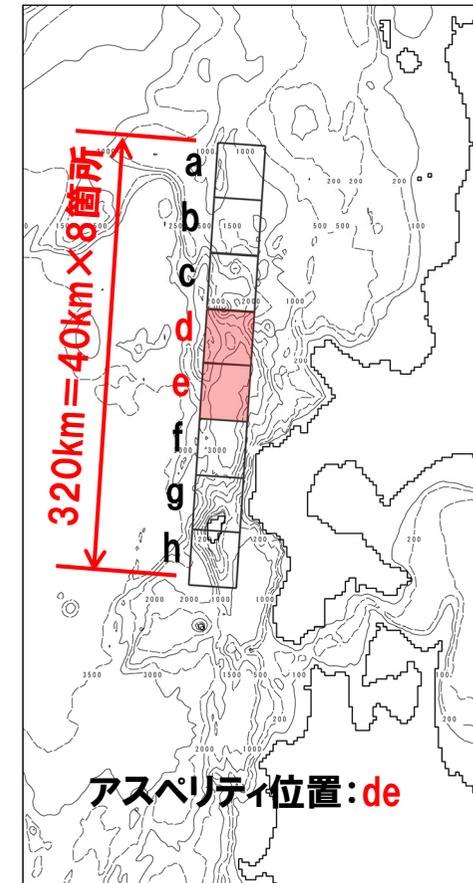
土木学会 (2016) に基づく断層パターン

#### 【東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向】



代表として傾斜パターン3, 6を示す

#### 【アスぺリティ位置】



## 2.4 パラメータスタディの検討方針

### STEP1-1 アスペリティ位置・東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向 (2/2)

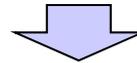
○日本海東縁部の特性は、以下のとおり整理している\*。

- アムールプレートとオホーツクプレートの間には、明瞭なプレート境界が存在せず、南北方向に伸びる東西方向に幅を持ったひずみ集中帯でマグニチュード7クラスの地震が発生している。
- 東西圧縮応力によって発達した逆断層はその上盤に非対象な断面を呈する背斜構造を伴う。
- 断層面の傾斜は東傾斜と西傾斜が交互に現れる。
- 地殻のひずみは断層、褶曲帯に集中してきたことを示している。

※「2.1 日本海東縁部の特性整理」を参照

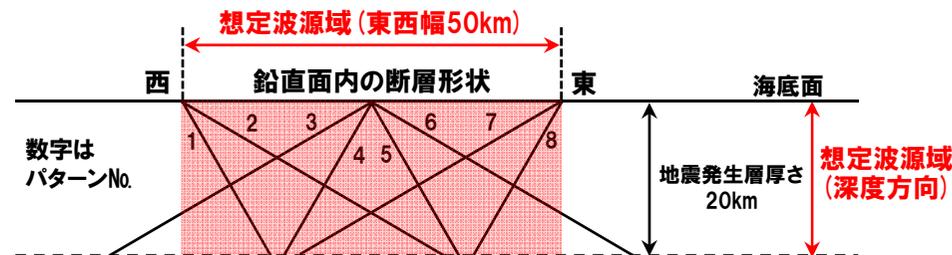
○土木学会(2016)では、日本海東縁部の東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向のパラメータスタディについて、以下のとおりとされている。

- 明確なプレート境界面が形成されていないことによる東西方向位置・傾斜角及び傾斜方向の不確定性を反映する方法として、鉛直面内の断層位置(断層パターン)を複数想定する方法が考えられる。
- ただし、断層下端部が領域範囲外となることは許容した。



○土木学会(2016)に基づく断層パターンは、東西方向に幅を持って分布する背斜構造の基部に、背斜構造側に伸びる逆断層として、空間的な想定波源域内に複数の断層パターンを設定しているものと考えられることから、これに準じて検討を行う。

○想定波源域内に断層を配置することを基本とし、断層パターン3及び断層パターン6の断層下端部が想定波源域外となることは許容する。

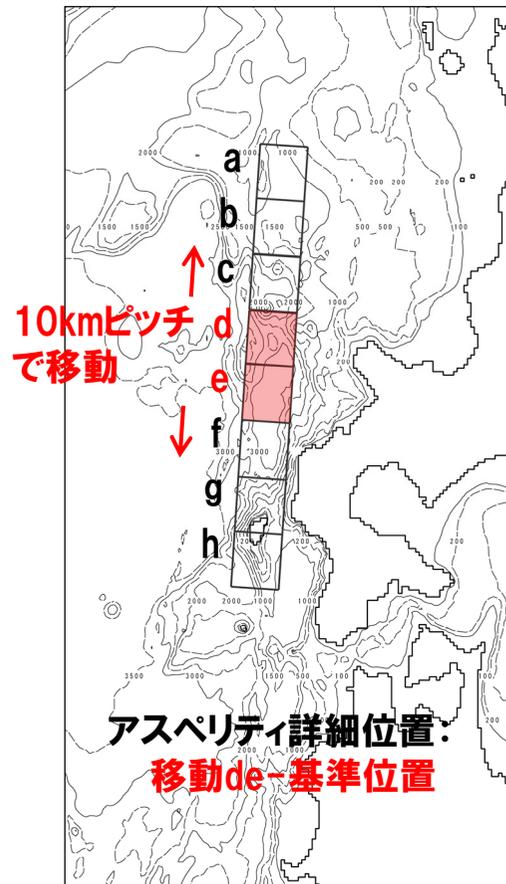


土木学会(2016)に基づく断層パターン及び想定波源域

## 2.4 パラメータスタディの検討方針

### STEP1-2 アスペリティ詳細位置

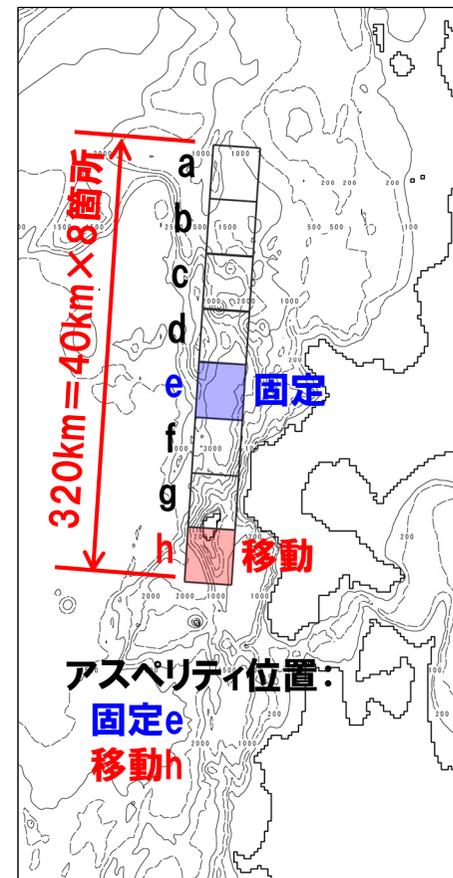
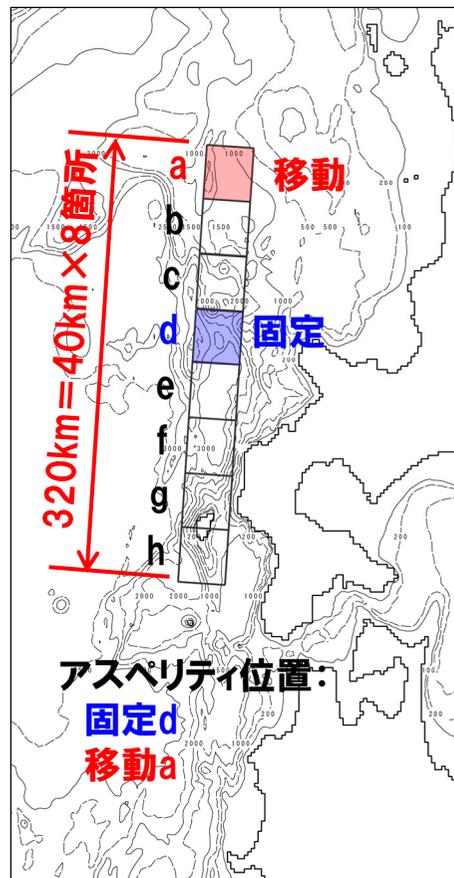
- 概略パラメータスタディのSTEP1-2ではアスペリティ詳細位置の不確定性を考慮する。
- STEP1-1における最大ケースの波源モデルを対象に、最大となったアスペリティ位置を北方及び南方へ10～30km (10kmピッチ:隣接セグメントをさらに4分割した距離) 移動させたパラメータスタディを実施する。



## 2.4 パラメータスタディの検討方針

### STEP2-1アスペリティ数及び位置

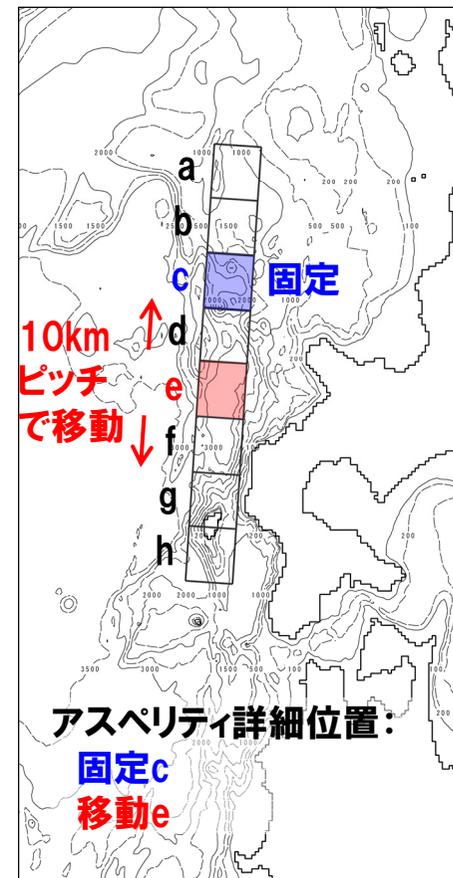
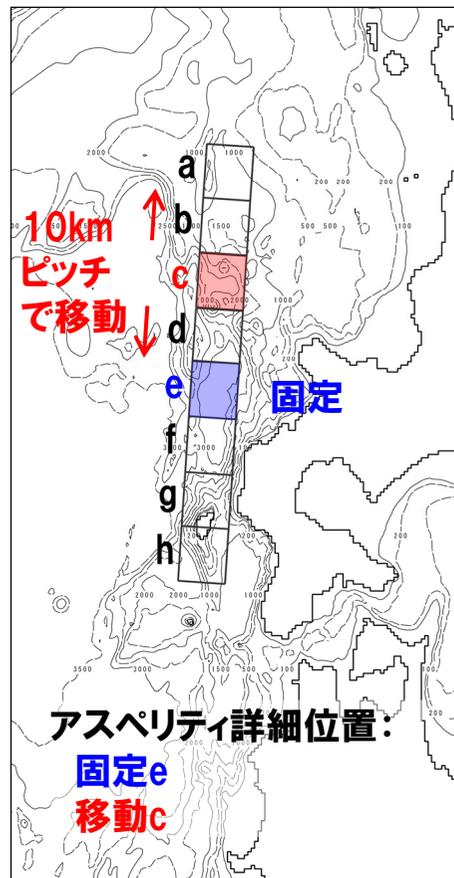
- 概略パラメータスタディのSTEP2-1では、アスペリティ数及び位置の不確定性を考慮する。
- STEP1-1における最大ケースの波源モデルを対象に、最大となったアスペリティを南北に2分割したうえで、片方のアスペリティ位置を固定し、もう片方を40kmピッチで移動させたパラメータスタディを実施する。



## 2.4 パラメータスタディの検討方針

### STEP2-2 アスペリティ詳細位置

- 概略パラメータスタディのSTEP2-2では、アスペリティ詳細位置の不確定性を考慮する。
- STEP2-1における最大ケースの波源モデルを対象に、アスペリティを南北に2分割したうえで、片方のアスペリティ位置を固定し、もう片方を北方及び南方へ10～30km (10kmピッチ:隣接セグメントをさらに4分割した距離) 移動させたパラメータスタディを実施する。

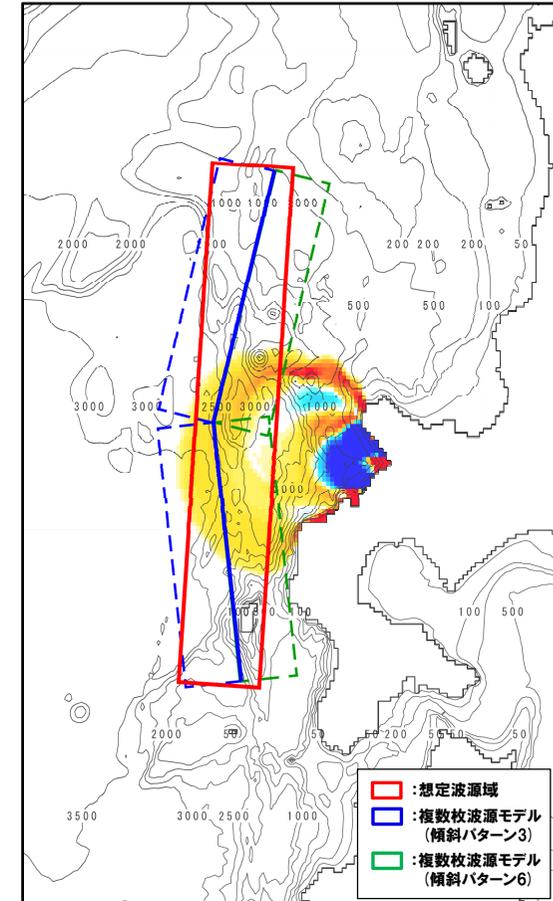


## STEP3 波源位置 (走向)

- 詳細パラメータスタディのSTEP3では、波源位置 (走向) の不確定性を考慮する。
- STEP1-2及びSTEP2-2のうち最大ケースの波源モデルを対象に、走向を  $\pm 10^\circ$  に変動させたパラメータスタディを実施する。

## 【走向の変動幅】

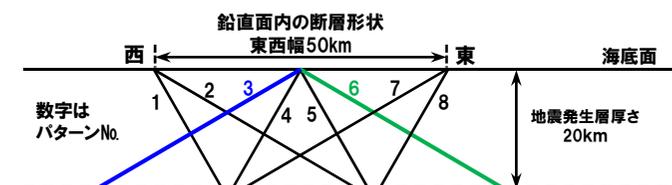
- 走向の変動幅は、土木学会 (2002) の既往の波源モデルにおける走向のばらつきに関する標準偏差に基づき、 $\pm 10^\circ$  とした。
- 断層長さが320kmと長大であり、既往地震においても走向は必ずしも一定ではないことを考慮して、北海道南西沖地震の震源域北端付近で南北に2分割 ( $L = 160\text{km} \times 2$ ) し、分割した断層がそれぞれ異なる走向を有しながら連動することを想定した。
- なお、過去に実施している発電所を波源とした場合の評価 (逆伝播解析) では、同心円状に津波が伝播し、これらの伝播経路上に波源モデルを配置した場合に津波水位が大きくなることが想定されるため、くの字 (北側断層を+方向, 南側断層を-方向) に折り曲げたモデルによる検討を実施する。
- なお、上記モデルは概ね想定波源域内に配置される。



既存断層パラメータのばらつきの評価結果

海域大区分	海域小区分	緯度	秋原マップ で対応する 海域区分	解析対象 データ	データ 数	走向( $^\circ$ )		すべり方向( $^\circ$ )		すべり角( $^\circ$ )		傾斜角( $^\circ$ )	
						平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
日本海溝 千島海溝 (南部)	千島海溝南部	41°N 以北	G1	プレート間 逆断層地震 のハーバード ド解	43	222.3	14.1	304.3	10.8			21.7	6.4
	日本海溝北部	38~41°N	G2		29	185.4	12.1	295.0	7.7			16.0	5.7
	日本海溝南部	35.3~38°N	G3		14	204.2	13.5	292.3	12.2			21.1	5.1
日本海 東縁部	北部	40°N 以北	F	断層モデル	6(3)	-2.7	9.6			91.7	11.3	43.3	14.0
	南部	40°N 以南 138°E 以東			5(3)	25.2	6.3			96.0	13.4	57.0	6.7

(土木学会 (2002) に一部加筆)



## 2.4 パラメータスタディの検討方針

### STEP4 断層面上縁深さ

- 詳細パラメータスタディのSTEP4では、断層面上縁深さの不確定性を考慮する。
- STEP3における最大ケースの波源モデルを対象に、断層面上縁深さ0km, 1km, 2km, 3km, 4km, 5kmに変動させたパラメータスタディを実施する。

#### 【断層面上縁深さの変動幅】

- 地震発生層厚さは、想定波源域（深度方向）より、20kmに設定した。
- そのため、断層下端を20km以深に設定する必要はないと考えられるが、断層面上縁深さを変動させるパラメータスタディを実施した。
- 断層面上縁深さの変動幅は、土木学会（2016）の既往津波の再現性が確認されている波源モデルを参照し、設定した。

既往津波の再現性が確認されている波源モデル

対象津波	モデル $M_w$	面積 ( $\text{km}^2$ )	$L$ (km)	$W$ (km)	$D$ (m)	$d$ (km)	$\theta$ (度)	$\delta$ (度)	$\lambda$ (度)	データ 数	$K$	$\kappa$	備考
1833年天保山形沖(A)	7.82	1250	50	25	6.4	0	10	60	90	27	1.04	1.42	土木学会(2002) (相田(1989)を修正;陸岸近く)
		1750	70	25	6.4	0	40	60	120				
1833年天保山形沖(B)	7.76	3960	132	30	4.0	0	208	45	90	27	1.17	1.28	土木学会(2002)(沖合)
1940年積丹沖	7.70	4050	135	30	3.2	0	347	40	90	20	1.02	1.42	土木学会(2002) (Satake(1986)を修正)
1964年新潟	7.35	900	45	20	3.3	1	202	60	90	検潮	—	—	Noguera and Ku.Abe(1992)
		300	20	15	3.0	1	189	60	90				
同上	7.51	813	32.5	25	5.3	0	200	60	52	検潮	—	—	加藤・安藤(1995)
		813	32.5	25	2.9	0	200	60	90				
1983年日本海中部	7.74	1200	40	30	7.6	2	22	40	90	218	1.12	1.46	相田(1984) Model-10
		1800	60	30	3.05	3	355	25	80				
1993年北海道南西沖	7.84	2250	90	25	5.71	10	188	35	80	249	0.96	1.51	高橋武之ら(1995) DCRC-26モデル
		650	26	25	4.00	5	175	60	105				
		458	30.5	15	12	5	150	60	105				

(土木学会 (2016) に一部加筆)

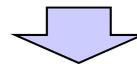
### 補足：高橋ほか（1995）の断層面上縁深さについて

- 土木学会（2016）の既往津波の再現性が確認されている波源モデルのうち、高橋ほか（1995）のDCRC-26モデル（北断層）では、断層面上縁深さを10kmに設定している。
- 断層面上縁深さの検討内容の妥当性を確認するため、上記モデルとの比較を行った。

	泊発電所の検討内容	高橋ほか（1995） DCRC-26モデル（北断層）
断層面上縁深さ	断層下端を20km以深に設定する必要はないと考えられるが、パラメータスタディとして0km, 1km, 2km, 3km, 4km, 5kmの変動を考慮	10kmに設定
地震発生層厚さ	想定波源域（深度方向）より、20kmに設定	14.34km※に設定 ※断層幅と傾斜角から算定
鉛直面内の断層概要図		

Fault	north
<u>Width (km)</u>	<u>25.0</u>
Length (km)	90.0
Strike (°)	188
<u>Dip Angle (°)</u>	<u>35</u>
Slip Angle (°)	80
<u>Depth (km)</u>	<u>10</u>
Dislocation (m)	5.71
$M_0 (\times 10^{27} \text{ dyne} \cdot \text{cm})$	3.85

DCRC-26の断層パラメータ（北断層）  
（高橋ほか（1995）に一部加筆）



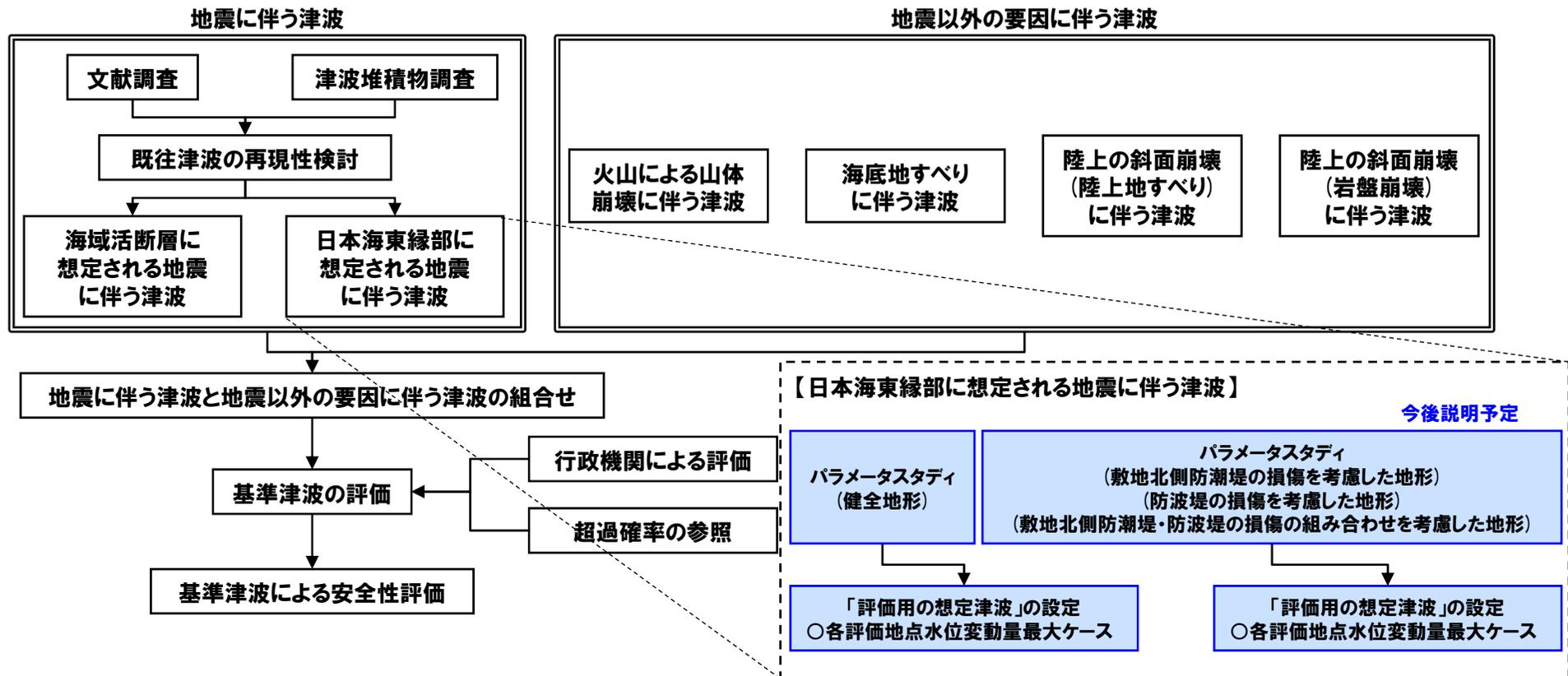
- 泊発電所の検討内容は、高橋ほか（1995）DCRC-26モデル（北断層）の断層下端深さと同等である。
- 以上から、断層面上縁深さの検討内容は、妥当であると考えられる。

1. コメント回答方針	4
1.1 指摘事項	4
1.2 指摘事項に関する回答方針	6
2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波	8
2.1 日本海東縁部の特性整理	10
2.1.1 整理方針	11
2.1.2 文献レビュー	12
2.1.3 当社の調査結果	19
2.2 想定波源域の設定	23
2.3 基準波源モデルの設定	36
2.4 パラメータスタディの検討方針	57
<b>2.5 今後の方針</b>	<b>70</b>
参考文献	72
参考資料	75

## 2.5 今後の方針

### 今後の予定

- 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波について、パラメータスタディを実施し、「評価用の想定津波」を設定する。
- なお、「評価用の想定津波」は、以下のパラメータスタディ結果から、2通り設定する。
  - 健全地形
  - 損傷を考慮した地形（敷地北側防潮堤の損傷、防波堤の損傷、敷地北側防潮堤・防波堤の損傷の組み合わせを考慮した地形）
- また、「評価用の想定津波」は、各評価地点における水位変動量最大ケースであり、地震に伴う津波と地震以外の要因に伴う津波の組み合わせに用いる波源とする。
- 令和元年9月27日審査会合における指摘事項のうち未回答のコメントについては、上記検討結果を踏まえ、今後説明を行う予定である。



1. コメント回答方針	4
1.1 指摘事項	4
1.2 指摘事項に関する回答方針	6
2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波	8
2.1 日本海東縁部の特性整理	10
2.1.1 整理方針	11
2.1.2 文献レビュー	12
2.1.3 当社の調査結果	19
2.2 想定波源域の設定	23
2.3 基準波源モデルの設定	36
2.4 パラメータスタディの検討方針	57
2.5 今後の方針	70
<b>参考文献</b>	<b>72</b>
参考資料	75

- (1) 岡村行信・加藤幸弘 (2002) : 海域の変動地形及び活断層, 日本海東縁の活断層とテクトニクス, 大竹政和・平朝彦・太田陽子編, 東京大学出版社, pp.47-69.
- (2) 国土交通省・内閣府・文部科学省 (2014) : 日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書, 平成26年9月, 日本海における大規模地震に関する調査検討会.
- (3) 地震本部 (2003) : 日本海東縁部の地震活動の長期評価について, 平成15年6月, 地震調査研究推進本部, 地震調査委員会.
- (4) 岡村行信 (2019) : 日本海における活断層の分布と今後の課題, 地震第2輯, 第71巻, pp.185-199.
- (5) 長谷川昭 (2002) : 東北日本の地殻構造と地震活動, 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス, 大竹政和・平朝彦・太田陽子編, 東大出版会, pp.27-43.
- (6) 岡村行信 (2002) : 新第三紀以降の歪み集中帯, 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス, 大竹政和・平朝彦・太田陽子編, 東大出版会, pp.111-121.
- (7) 岡村行信・宮下由香里・内出崇彦 (2019) : 令和元年 (2019年) 6月18日山形県沖の地震と日本海東縁ひずみ集中帯, GSJ地質ニュース, Vol.8, No.8, pp.199-203.
- (8) 石川有三 (2002) : 日本海東縁の地震活動からみた歪み集中帯, 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス, 大竹政和・平朝彦・太田陽子編, 東大出版会, pp.151-165.
- (9) 青柳恭平・阿部信太郎・田中寛好・井上大榮 (2000) : 詳細な海底地殻変動解析による津波波源域評価手法の提案 (その2), -1993年北海道南西沖地震震源域の地殻変動-, 電力中央研究所報告, U99077, pp.1-18.
- (10) 日野亮太・金沢敏彦・末広潔・佐藤利典・島村英紀 (1994) : 海底地震計群列による1993年北海道南西沖地震の余震分布, 月間海洋特集号「北海道南西沖地震と津波」, pp.35-42.
- (11) 岡村行信・倉本真一・佐藤幹夫 (1998) : 日本海東縁海域の活構造およびその地震との関係, 地質調査所月報, 第49巻, 第1号, pp.1-18.
- (12) 岡村行信・倉本真一 (1999) : 日本海東縁～北海道西方海域のネオテクトニクス, 地質ニュース, 541, pp.32-39.
- (13) Tanioka, Y., Satake, K. and Ruff, L. (1995) : Total analysis of the 1993 Hokkaido Nansei-oki earthquake using seismic wave, tsunami, and geodetic data, Geophysical Research Letters, Vol.22, No.1, pp.9-12.
- (14) 久家慶子・菊池正幸・Zhang, J. (1994) : 遠地実体波・表面波で見る北海道南西沖地震 (1993年7月12日) の複雑な震源過程, 月間海洋特集号「北海道南西沖地震と津波」, pp.21-28.
- (15) 海上保安庁水路部 (2001) : 日本海東縁部の海底地形と活構造, 地震予知連絡会会報, 第66巻, 2-8, pp.100-104.
- (16) 平朝彦 (2002) : 日本海東縁の変動と日本列島のテクトニクス, 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス, 大竹政和・平朝彦・太田陽子編, 東大出版会, pp.3-15.
- (17) 土木学会 (2016) : 原子力発電所の津波評価技術2016, 平成28年9月, 土木学会原子力土木委員会, 津波評価小委員会.
- (18) 根本信・高瀬嗣郎・長谷部大輔・横田崇 (2009) : 日本海におけるアスペリティを考慮した津波波源モデルの検討, 土木学会論文集B2 (海岸工学), Vol.B2-65, No.1, pp.346-350.

- (19) Murotani, S., Matsushima, S., Azuma, T., Irikura, K. and Kitagawa, S. (2015) :Scaling Relations of Source Parameters of Earthquakes Occurring on Inland Crustal Mega-Fault Systems, Pure and Applied Geophysics, Vol.172, pp.1371-1381.
- (20) 地震本部 (2016) :震源断層を特定した地震の強振動予測手法(「レシピ」), 平成28年6月, 地震調査研究推進本部, 地震調査委員会.
- (21) Somerville, P., Irikura, K., Graves, R., Sawada, S., Wald, D., Abrahamson, N., Iwasaki, Y., Kagawa, T., Smith, N. and Kowada, A. (1999) :Characterizing Crustal Earthquake Slip Models for the Prediction of Strong Ground Motion, Seismological Research Letters, Vol.70, No.1, pp.59-80.
- (22) 入倉孝次郎・三宅弘恵 (2001) :シナリオ地震の強振動予測, 地学雑誌, Vol.110, No.6, pp.849-875.
- (23) 高橋武之・高橋智幸・首藤伸夫 (1995) :津波数値計算による北海道南西沖地震の検討, 地球惑星科学関連学会1994年合同大会予稿集, F31-06, p.370.
- (24) 高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・Ortiz, M. (1994) :津波を説明するための北海道南西沖地震断層モデル, 海岸工学論文集第41巻, pp.251-255.
- (25) 中央防災会議 (2006) :東南海・南海沖地震等に関する専門調査会 (第26回), 平成18年12月, 参考資料2「断層のモデル化」.
- (26) 相田勇 (1984) :1983年日本海中部地震津波の波源数値モデル, 東京大学地震研究所彙報, Vol.59, pp.93-104.
- (27) 土木学会 (2002) :原子力発電所の津波評価技術, 平成14年2月, 土木学会原子力土木委員会, 津波評価部会.
- (28) Ioki, K., Tanioka, Y., Kawakami, G., Kase, Y., Nisina, K., Hirose, W., Hayashi, K. and Takahashi, R. (2019) :Fault model of the 12th century southwestern Hokkaido earthquake estimated from tsunami deposit distributions, Earth, Planets and Space, 71, 54.
- (29) 北海道 (2017) :日本海沿岸の津波浸水想定について, 平成29年2月, 北海道防災会議地震火山対策部会地震専門委員会, 北海道に津波被害をもたらす想定地震の再検討ワーキンググループ.
- (30) 大角恒雄・藤原広行・Hazarika, H. (2018) :1983年日本海中部地震の波源断層モデルの検証, 土木学会論文集A1 (構造・地震工学), Vol.74, No.4 (地震工学論文集第37巻), pp.L964-L974.

1. コメント回答方針	4
1.1 指摘事項	4
1.2 指摘事項に関する回答方針	6
2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波	8
2.1 日本海東縁部の特性整理	10
2.1.1 整理方針	11
2.1.2 文献レビュー	12
2.1.3 当社の調査結果	19
2.2 想定波源域の設定	23
2.3 基準波源モデルの設定	36
2.4 パラメータスタディの検討方針	57
2.5 今後の方針	70
参考文献	72
<b>参考資料</b>	<b>75</b>

## loki et al. (2019) について (1/2)

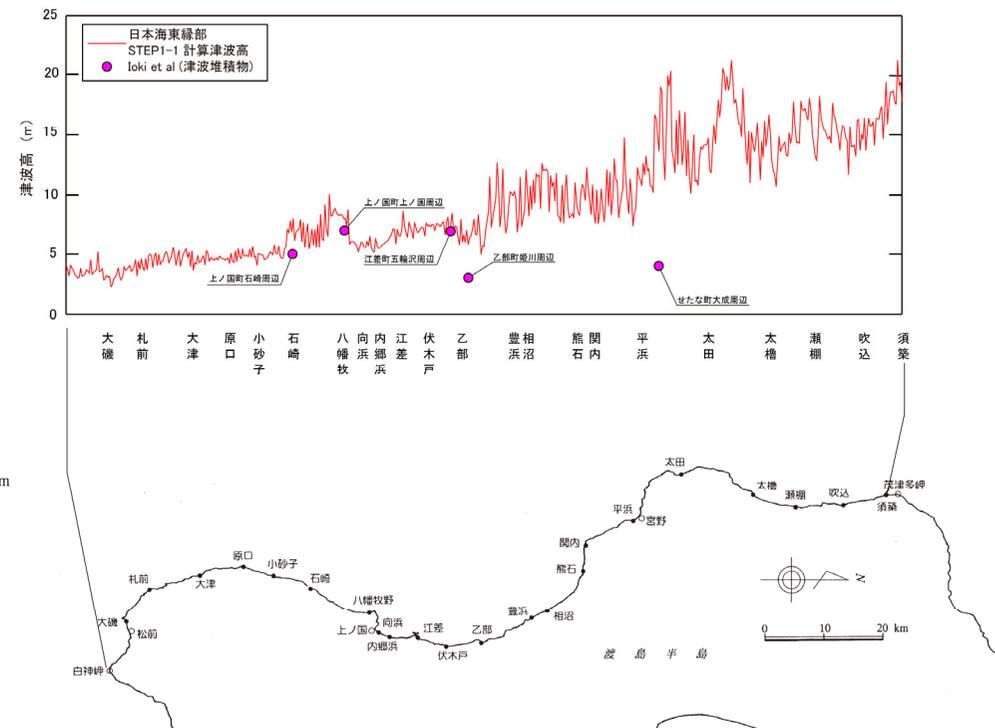
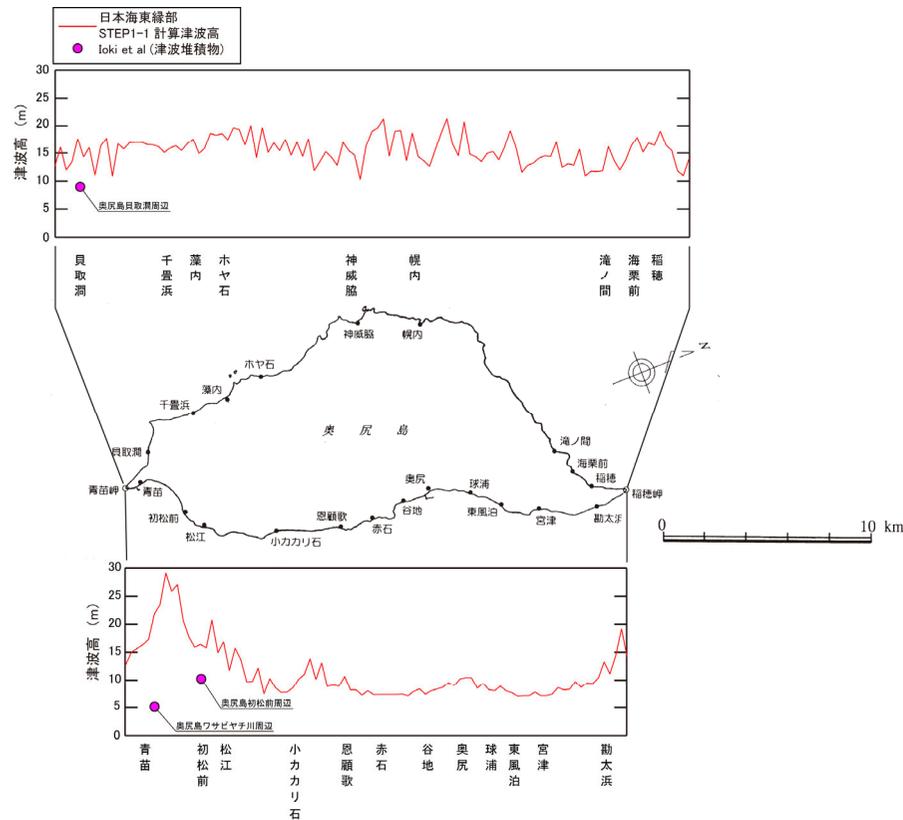
- loki et al. (2019) では、12世紀頃の津波の波源モデルを構築しており、モデル設定について以下のとおりとされている。
  - 奥尻島と北海道南西岸で津波堆積物が発見され、これは12世紀頃の津波によるものと推定されている。
  - 波源位置は渡島大島付近であると考えられ、北海道(2017)のF17断層の波源モデルを基に断層パラメータを変更した。
  - 津波堆積物の浸水範囲を説明するため、波源モデルの断層長さを104km, すべり量を18m, Mwを7.9に変更している。
- なお、すべり量18mの設定は、既往のスケーリング則等と比較して過大な設定である。
- 断層長さ及びすべり量のみを変動パラメータとして考慮されており、その他のパラメータが浸水範囲に与える影響が検討されていないことから、当該検討以外への適用性について確認できない。
- 以上から、すべり量18mを泊発電所の断層パラメータに適用しない。

	波源モデル位置と津波堆積物(図中の●)の位置	断層パラメータ																																																																						
北海道(2017)のF17断層の波源モデル		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Subfault number</th> <th>Length (km)</th> <th>Width (km)</th> <th>Strike (°)</th> <th>Dip (°)</th> <th>Rake (°)</th> <th>Depth (km)</th> <th>Slip (m)</th> <th>Longitude (°)</th> <th>Latitude (°)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>24</td><td>22</td><td>350</td><td>45</td><td>96</td><td>2.8</td><td>4.8</td><td>139.40094</td><td>42.00258</td></tr> <tr><td>2</td><td>57</td><td>22</td><td>350</td><td>45</td><td>96</td><td>2.8</td><td>4.4</td><td>139.51981</td><td>41.49980</td></tr> <tr><td>3</td><td>54</td><td>22</td><td>10</td><td>45</td><td>106</td><td>2.8</td><td>4.6</td><td>139.40581</td><td>41.02010</td></tr> <tr><td>4</td><td>24</td><td>11</td><td>350</td><td>45</td><td>96</td><td>4.3</td><td>7.2</td><td>139.41905</td><td>42.00498</td></tr> <tr><td>5</td><td>57</td><td>11</td><td>350</td><td>45</td><td>96</td><td>4.3</td><td>7.7</td><td>139.53778</td><td>41.50218</td></tr> <tr><td>6</td><td>54</td><td>11</td><td>10</td><td>45</td><td>106</td><td>4.3</td><td>7.4</td><td>139.42365</td><td>41.01771</td></tr> </tbody> </table>	Subfault number	Length (km)	Width (km)	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Depth (km)	Slip (m)	Longitude (°)	Latitude (°)	1	24	22	350	45	96	2.8	4.8	139.40094	42.00258	2	57	22	350	45	96	2.8	4.4	139.51981	41.49980	3	54	22	10	45	106	2.8	4.6	139.40581	41.02010	4	24	11	350	45	96	4.3	7.2	139.41905	42.00498	5	57	11	350	45	96	4.3	7.7	139.53778	41.50218	6	54	11	10	45	106	4.3	7.4	139.42365	41.01771
Subfault number	Length (km)	Width (km)	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Depth (km)	Slip (m)	Longitude (°)	Latitude (°)																																																															
1	24	22	350	45	96	2.8	4.8	139.40094	42.00258																																																															
2	57	22	350	45	96	2.8	4.4	139.51981	41.49980																																																															
3	54	22	10	45	106	2.8	4.6	139.40581	41.02010																																																															
4	24	11	350	45	96	4.3	7.2	139.41905	42.00498																																																															
5	57	11	350	45	96	4.3	7.7	139.53778	41.50218																																																															
6	54	11	10	45	106	4.3	7.4	139.42365	41.01771																																																															
loki et al. (2019)の波源モデル		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Subfault number</th> <th>Length (km)</th> <th>Width (km)</th> <th>Strike (°)</th> <th>Dip (°)</th> <th>Rake (°)</th> <th>Depth (km)</th> <th>Slip (m)</th> <th>Longitude (°)</th> <th>Latitude (°)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2'</td><td>50</td><td>22</td><td>350</td><td>45</td><td>96</td><td>2.8</td><td>18</td><td>139.51981</td><td>41.49980</td></tr> <tr><td>3</td><td>54</td><td>22</td><td>10</td><td>45</td><td>106</td><td>2.8</td><td>4.6</td><td>139.40581</td><td>41.02010</td></tr> <tr><td>6</td><td>54</td><td>11</td><td>10</td><td>45</td><td>106</td><td>4.3</td><td>7.4</td><td>139.42365</td><td>41.01771</td></tr> </tbody> </table>	Subfault number	Length (km)	Width (km)	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Depth (km)	Slip (m)	Longitude (°)	Latitude (°)	2'	50	22	350	45	96	2.8	18	139.51981	41.49980	3	54	22	10	45	106	2.8	4.6	139.40581	41.02010	6	54	11	10	45	106	4.3	7.4	139.42365	41.01771																														
Subfault number	Length (km)	Width (km)	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Depth (km)	Slip (m)	Longitude (°)	Latitude (°)																																																															
2'	50	22	350	45	96	2.8	18	139.51981	41.49980																																																															
3	54	22	10	45	106	2.8	4.6	139.40581	41.02010																																																															
6	54	11	10	45	106	4.3	7.4	139.42365	41.01771																																																															

(loki et al. (2019) に一部加筆)

## loki et al. (2019) について (2/2)

- loki et al. (2019) における12世紀頃の津波堆積物分布標高と泊発電所の津波評価水位を比較した結果、泊発電所の津波評価水位が上回る結果となった。
- 以上から、12世紀頃の津波に対しても日本海東縁部に想定される地震に伴う津波の検討は、保守的な設定であることを確認した。



※令和元年9月27日審査会合にて示した解析結果を基に整理した。  
今後実施予定の解析結果を用いて更新する。

## 大角ほか (2018) について

○大角ほか (2018) では、地質学的データや地形を参照して得られた断層データと、余震分布等の地震学的データを合わせて考慮することにより、過去の地震による津波痕跡高を説明できる可能性が示されたとされている。

○しかし、以下の理由により、本知見の泊発電所の津波評価への反映は実施しないものとする。

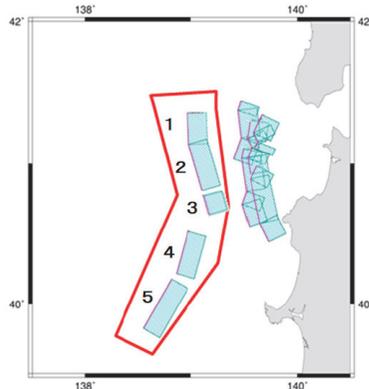
- 初期波源モデルのすべり量は、地震本部 (2016) に基づき6.12mと設定されているが、地震本部 (2016) によるとすべり量は3m程度で飽和するはずであり、すべり量6.12mの設定根拠が不明である。
- 提案されているモデルの再現性は、土木学会 (2016) における再現性の目安を満たさない。

初期波源モデルのパラメータ

	緯度	経度	上端深度 (km)	下端深度 (km)	走向°	傾斜°	すべり角°	長さ (km)	幅 (km)	平均すべり量 (km)	Mw
1	41.1372	138.981	0	15.00	354.60	45.00	90	24.46	21.21	6.12	7.87
2	40.8089	139.1081	0	15.00	341.00	45.00	90	38.04	21.21		
3	40.6331	139.1717	0	15.00	343.90	45.00	90	14.18	21.21		
4	40.2169	138.8645	0	15.00	12.90	45.00	90	34.88	21.21		
5	39.8240	138.7738	0	15.00	27.50	45.00	90	45.40	21.21		

(大角ほか (2018) に一部加筆)

設定根拠不明



日本海中部地震の震源域近傍の波源モデル  
(赤枠は対象とする断層群)  
(大角ほか (2018) より引用)

観測記録の信頼度A, Bを使って求めたK-κの値

断層モデル名	傾斜角	平均傾斜角	大すべり域	K	κ
1) Chubu-AIDA	40°, 25°		—	1.35	1.58
2) Chubu-3f_30deg	30°	30°	—	1.45	1.53
3) Chubu-3f-R	30°	30°	南断層北部浅部	0.97	1.53
4) Chubu-30deg-BLR	30°	30°	北断層南部深部 南断層北部深部	0.92	1.58
5) Chubu-30deg-BR	30°	30°	南断層北部深部	1.01	1.56
6) Chubu-30deg-2pt	69°, 22.6°	30°	—	0.98	1.60
7) Chubu-30deg-BR-2pt	69°, 22.6°	30°	南断層北部深部	0.89	1.62
8) Chubu-3f-2pt_45deg	69°, 37.4°	45°	—	1.51	1.59
9) Chubu-3f-R-2pt	69°, 37.4°	45°	南断層北部浅部	1.32	1.56
10) Chubu-45deg-BR-2pt	69°, 37.4°	45°	南断層北部深部	1.38	1.60

(大角ほか (2018) に一部加筆)

0.95 < K < 1.05  
κ < 1.45  
を満たさない