

目 次

1. 既往津波の検討
 - 1-1. 既往津波の文献調査
 - 1-2. 津波堆積物調査条件
 - 1-3. 既往津波の計算条件
 - 1-4. 既往津波の再現計算
2. 地震による津波
 - 2-1. 地震による津波の計算条件
 - 2-2. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波
 - 2-3. 三陸沖から根室沖に想定される地震に伴う津波
 - 2-3-1. 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波
 - 2-3-2. 三陸沖の海洋プレート内地震に伴う津波
 - 2-4. 千り沖に想定される地震に伴う津波
 - 2-5. 海域活断層に想定される地震に伴う津波
 - 2-6. 行政機関が想定する波源モデルによる津波
 - 2-7. 地震による津波のまとめ
 - 2-8. 防波堤等の影響検討
3. 地震以外の要因による津波
 - 3-1. 地震以外の要因による津波の計算条件
 - 3-2. 陸上の斜面崩壊に起因する津波
 - 3-3. 海底地すべりに起因する津波
 - 3-4. 火山現象に起因する津波
 - 3-5. 地震以外の要因による津波のまとめ
 - 3-6. 防波堤等の影響検討
4. 津波発生要因の組合わせに関する検討
5. 基準津波の策定
 - 5-1. 基準津波の選定
 - 5-2. 基準津波選定結果の検証
 - 5-2-1. 既往津波との比較
 - 5-2-2. 行政機関による既往評価との比較
6. 基準津波

本章における変更点

- 本章では、2021年2月19日 第949回審査会合のコメント回答について説明する。
- なお、本コメント回答検討における資料構成の見直しに伴い、第962回審査会合まで提示していた基準波源モデルの呼称を以下のとおり変更することとした。

	第962回審査会合まで		今回	備考
テクトニクス的背景・地震学的見地に基づくモデル	基準波源モデル⑥	→	基準波源モデル①-1	—
	—	→	基準波源モデル①-2	十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の波源
	基準波源モデル⑤	→	基準波源モデル②	—
	基準波源モデル③	→	基準波源モデル③	変更なし
	基準波源モデル④	→	基準波源モデル④	変更なし
大間の立地特性を考慮したモデル	基準波源モデル①	→	基準波源モデル⑤	—
	基準波源モデル②	→	基準波源モデル⑥	—



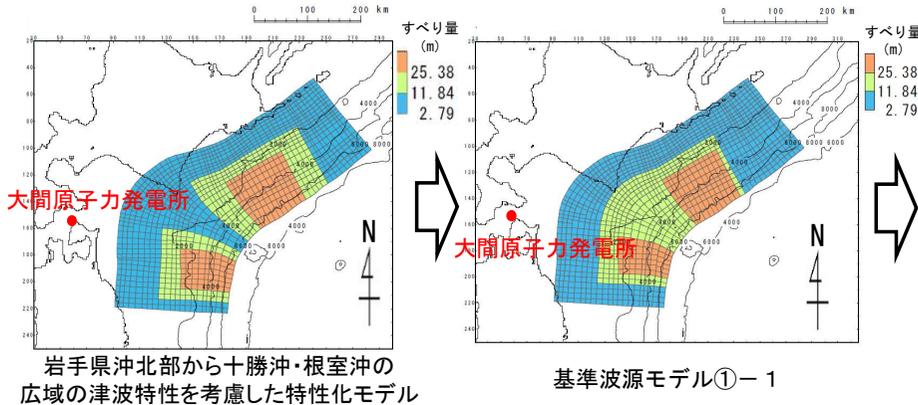
第949回審査会合
資料2-1 P. 2. 3. 1-2一部修正

三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波の検討フロー

- 三陸沖から根室沖のプレート間地震に伴う津波については、2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえて、破壊領域の連動やすべりの不均質性を考慮の上、以下のフローを基本として検討を実施した。

基準波源モデルの設定

広域津波痕跡高の再現性を考慮
(P. 2. 3. 1-6参照)



岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデル

基準波源モデル①-1

概略パラメータスタディ

変動パラメータ※

- アスペリティの位置
(青森県東方沖及び岩手県北部の超大すべり域、十勝沖及び根室沖のそれぞれ、基準配置を10km² ヲツで移動)

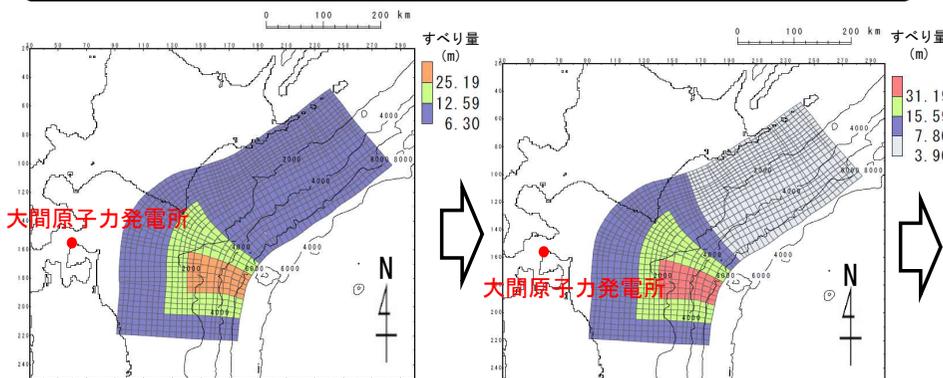
詳細パラメータスタディ

概略パラメータスタディにおいて最大水位上昇ケース及び最大水位下降ケースとなる2つの波源モデルを、詳細パラメータスタディの検討対象とする。

変動パラメータ※

- 破壊開始点
- 破壊伝播速度
- ライズタイム

沖合等の観測津波波形等の再現性を考慮 (P. 2. 3. 1-6参照)



3.11地震における宮城県沖の破壊特性を考慮した特性化モデルを参考に設定した特性化モデル

基準波源モデル②, ③, ④のうち基準波源モデル③を代表例として記載

変動パラメータ※

- アスペリティの位置
(日本海溝と千島海溝の島弧会合部を跨がないように基準配置を10km² ヲツで移動)

変動パラメータ※

- 破壊開始点
- 破壊伝播速度
- ライズタイム

概略パラメータスタディにおいて最大水位上昇ケース及び最大水位下降ケースとなる2つの波源モデルを、詳細パラメータスタディの検討対象とする。

※変動幅は敷地への影響及び科学的知見を考慮し設定。

三陸沖から根室沖のプレート間地震

- 東北地方太平洋沖地震津波の知見を参照し、プレート間地震と津波地震との連動型地震を考慮する。
- 津波地震の波源は本波源に包含される。

三陸沖から根室沖のプレート間について

- 日本海溝は、日本列島が位置する北米プレートの下方に、東方から太平洋プレートが沈み込んでいるプレート境界であるとされている。千島海溝は、日本列島が位置する北米プレートの下方に、南東方から太平洋プレートが沈み込んでいるプレート境界であるとされている。
- プレート境界が固着していることにより、沈み込みに伴って、両プレートの境界にはひずみが蓄積されており、過去にはM9クラスの2011年東北地方太平洋沖地震やM8クラスの1896年明治三陸地震、1968年十勝沖地震等このひずみを解放する巨大地震及び津波が発生しているとされている。

地震調査研究推進本部 (2019, 2017) ⁽⁴¹⁾, ⁽⁴²⁾ 等による

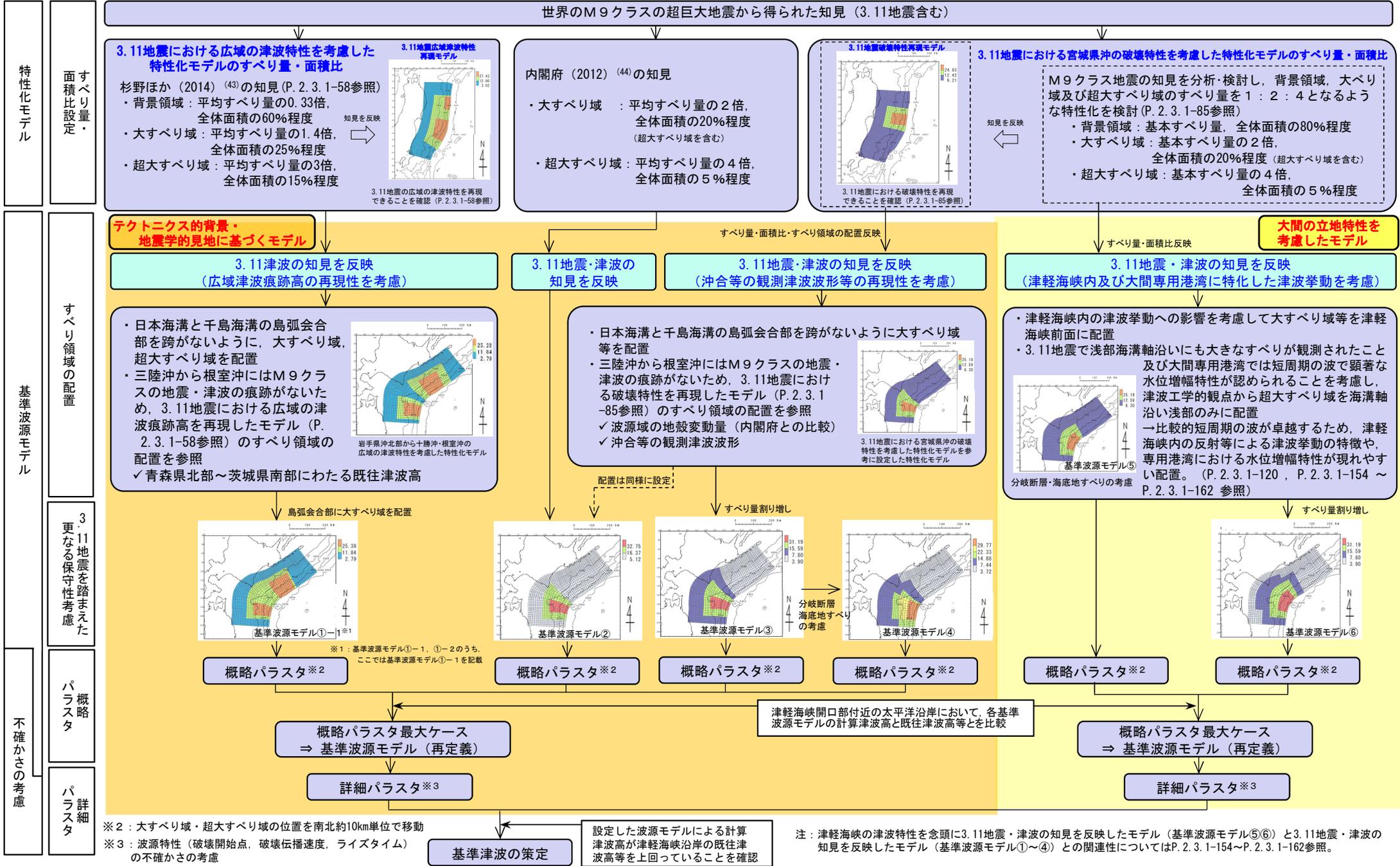
基準波源モデルの設定（基本方針）

- 2011年東北地方太平洋沖地震（以下「3.11地震」という。）や世界のM9クラスの超巨大地震に関する科学的知見を検討※¹の上、すべりの不均質性を考慮した「特性化波源モデル」※²を基準波源モデルとして設定する。
- 想定波源域については、地震調査研究推進本部（2019, 2017）⁽⁴¹⁾, ⁽⁴²⁾ の評価対象領域を基本とし、固着と蓄積されるひずみに関する分析、及び破壊伝播の検討を踏まえ、3.11地震を踏まえた破壊領域の連動を考慮して設定する。
- 基準波源モデルのパラメータに関しては、世界のM9クラスの超巨大地震を対象としたスケールリング則等の科学的知見を検討の上設定する。主な考え方は以下のとおり。
 - ✓ プレート境界が明瞭であるため、波源断層面はプレート境界面とする。
 - ✓ すべり量の設定については、3.11地震を含む世界のM9クラスの超巨大地震を参照して平均応力降下量を保守的に設定した上で、地震モーメントと波源断層面積の経験的關係を用いて地震モーメントを推定することで算定する。
 - ✓ すべりの不均質性の設定については、3.11地震を含む世界のM9クラスの超巨大地震のすべり量分布を参照して設定する。
- また、基準波源モデルは、「テクトニクスの背景・地震学的見地に基づくモデル」に加え、大間原子力発電所の立地特性を踏まえた保守的観点を考慮して「大間の立地特性を考慮したモデル」についても設定する。

※1：補足説明資料「3. 2011年東北地方太平洋沖地震を始めとするM9クラスの超巨大地震から得られた知見」参照。

※2：波源の特性を主要なパラメータで表したモデル

基準波源モデル策定の手順及び考え方





第949回審査会合
資料2-1 P.2.3.1-11一部修正

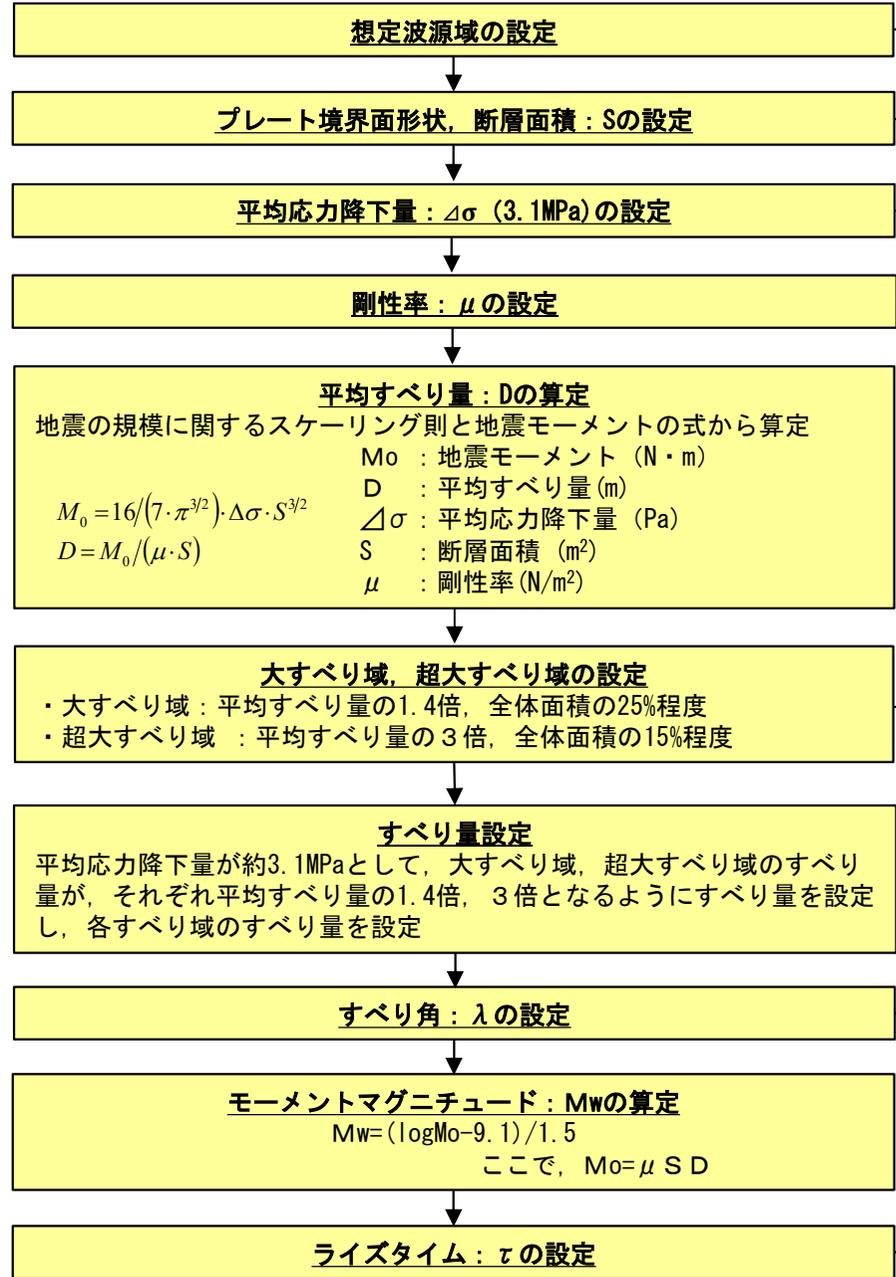
基準波源モデルの設定

(設定方法 その1)

<基準波源モデル①>

- 右のフロー及び設定根拠に基づき、3.11地震・津波の知見を反映（広域津波痕跡高の再現性を考慮）した岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の基準波源モデルを設定した。（基準波源モデル①-1）
- なお、十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の基準波源モデルについても同様に、右のフロー及び設定根拠に基づき設定した。（基準波源モデル①-2）

3.11地震・津波の知見を反映（広域津波痕跡高の再現性を考慮）した基準波源モデル（P.2.3.1-6参照）の設定フロー



設定根拠
→ 既往地震，固着及び破壊伝播に関する検討に基づき，青森県東方沖及び岩手県沖北部から根室沖に設定
→ 後述P.2.3.1-11～P.2.3.1-38

→ 地震調査研究推進本部（2004，2012）(45)，(46)の微小地震の震源分布に基づくプレート境界面の推定等深線より，地震発生域の深さの下限（60km）から海溝軸までを考慮
→ 後述P.2.3.1-45， P.2.3.1-46

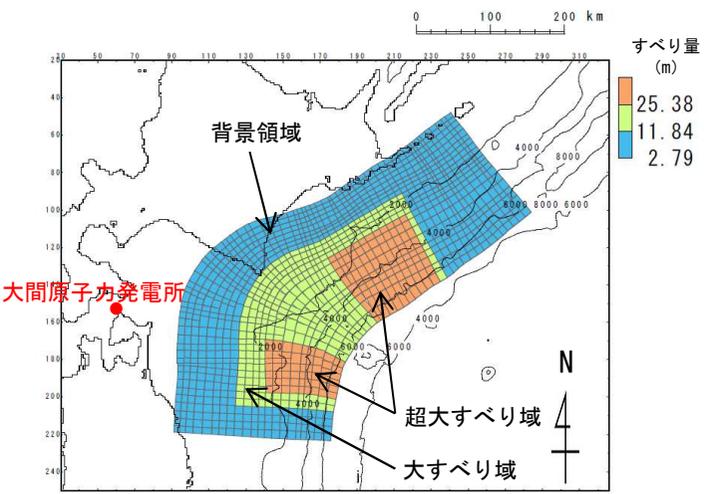
→ 杉野ほか(2014) (43)に基づき，平均応力降下量3.1MPaを考慮

→ 地震波速度や密度に関する既往研究に基づき $5.0 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ に設定（土木学会(2016) (3)等）
→ 後述P.2.3.1-47， P.2.3.1-48

→ 杉野ほか(2014) (43)に基づき設定
→ 後述P.2.3.1-58

→ すべり角は，陸側プレートのずれの向きに基づいて設定（中央防災会議(2006) (47)）
→ 後述P.2.3.1-49

→ 平均的に利用されている値を参考に3.11地震の解析結果も踏まえ60sに設定（内閣府(2012) (44)）
→ 後述P.2.3.1-50



3.11地震・津波の知見を反映（広域津波痕跡高の再現性を考慮）した基準波源モデル



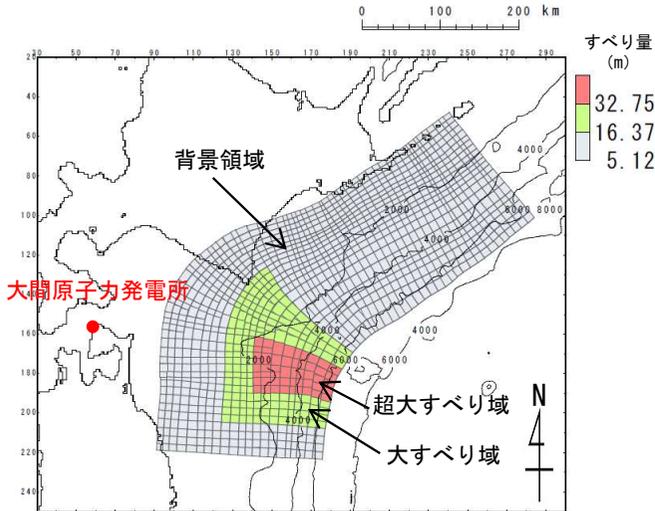
第949回審査会合
資料2-1 P. 2. 3. 1-10再掲

基準波源モデルの設定

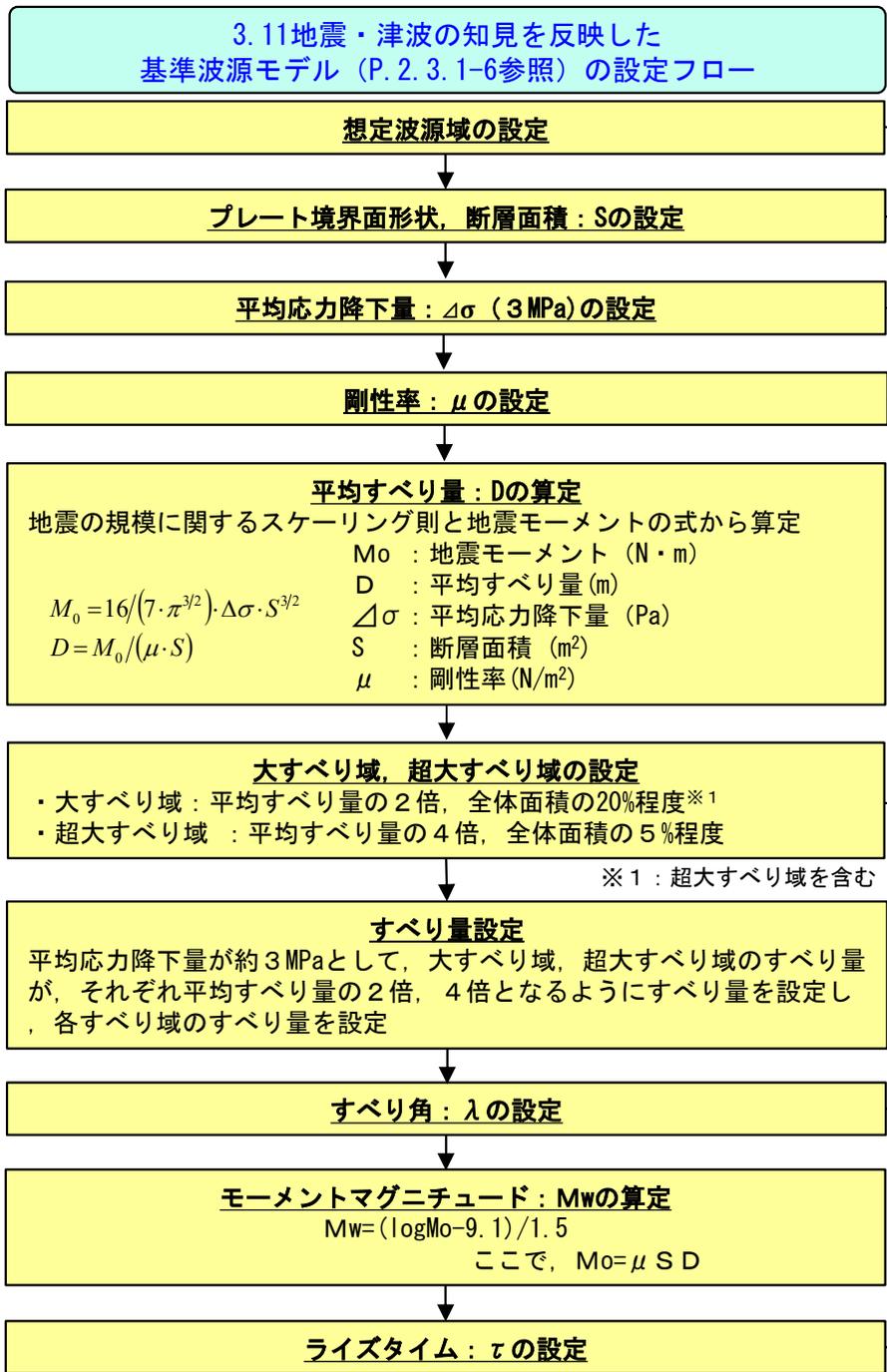
(設定方法 その2)

<基準波源モデル②>

右のフロー及び設定根拠に基づき、3.11地震・津波の知見を反映した基準波源モデルを設定した。



3.11地震・津波の知見を反映した基準波源モデル



- 設定根拠
- 既往地震, 固着及び破壊伝播に関する検討に基づき, 青森県東方沖及び岩手県沖北部から根室沖に設定
→後述P. 2. 3. 1-11~P. 2. 3. 1-38
 - 地震調査研究推進本部 (2004, 2012) (45), (46)の微小地震の震源分布に基づくプレート境界面の推定等深線より, 地震発生域の深さの下限 (60km) から海溝軸までを考慮
→後述P. 2. 3. 1-45, P. 2. 3. 1-46
 - 3.11地震を含む世界の巨大地震のばらつきを考慮した平均応力降下量 3 MPaを考慮 (内閣府 (2012) (44)等)
→後述P. 2. 3. 1-90, P. 2. 3. 1-91
 - 地震波速度や密度に関する既往研究に基づき $5.0 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ に設定 (土木学会 (2016) (3)等)
→後述P. 2. 3. 1-47, P. 2. 3. 1-48
 - 3.11地震を含む世界の巨大地震の大すべり域を参照して設定 (内閣府 (2012) (44))
→補足説明資料P. 3. 1-18, P. 3. 2-21参照
 - すべり角は, 陸側プレートのずれの向きに基づいて設定 (中央防災会議 (2006) (47))
→後述P. 2. 3. 1-49
 - 平均的に利用されている値を参考に 3.11地震の解析結果も踏まえ 60s に設定 (内閣府 (2012) (44))
→後述P. 2. 3. 1-50

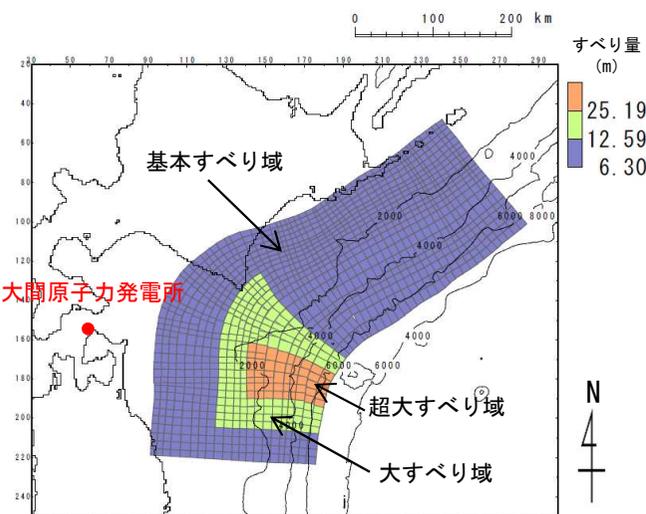
基準波源モデルの設定

(設定方法 その3)

<基準波源モデル③, ④>

右のフロー及び設定根拠に基づき、3.11地震・津波の知見を反映（沖合等の観測津波波形等の再現性を考慮）した波源モデルを設定した。

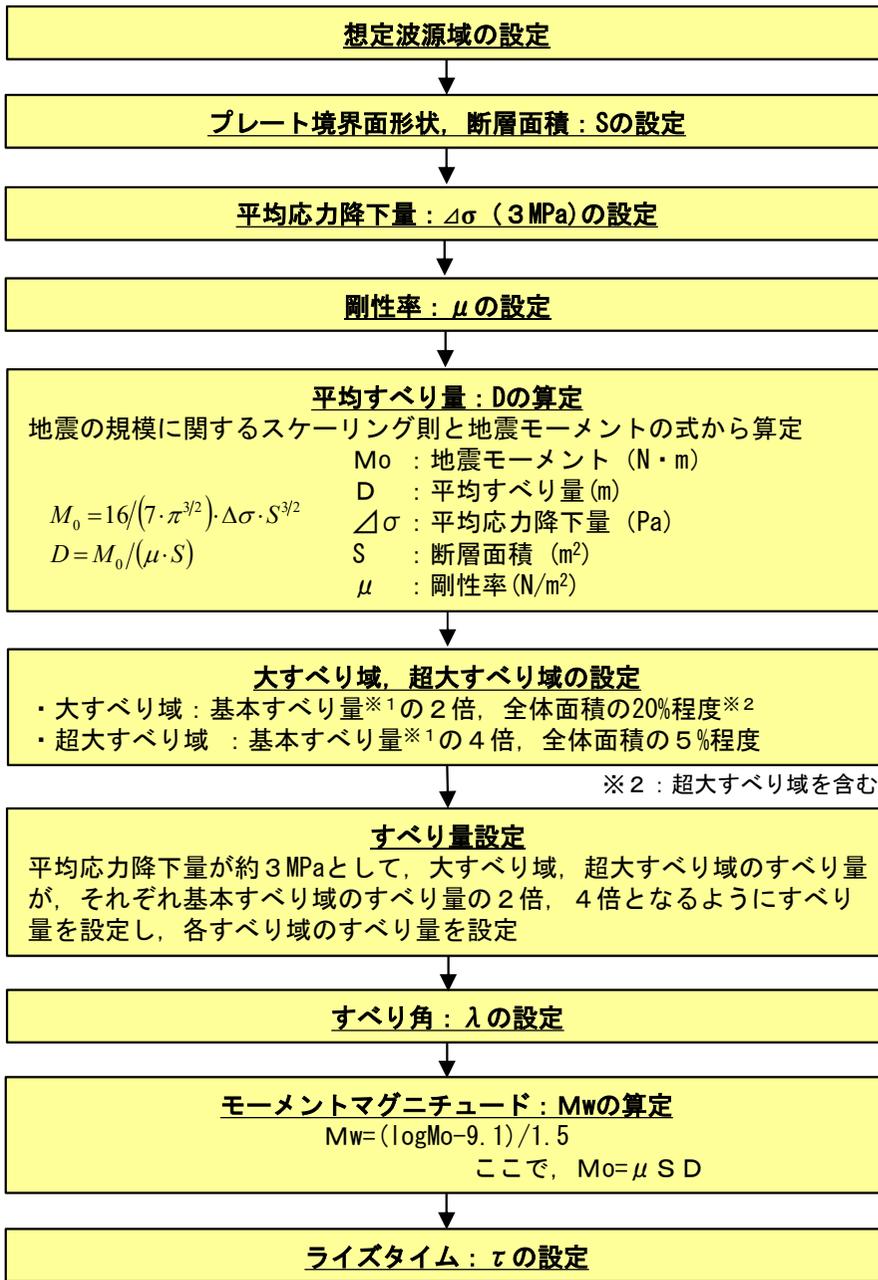
3.11地震・津波の知見を反映（沖合等の観測津波波形等の再現性を考慮）した波源モデル（P. 2. 3. 1-6参照）の設定フロー



3.11地震・津波の知見を反映（沖合等の観測津波波形等の再現性を考慮）した波源モデル

※1：基本すべり域、大すべり域及び超大すべり域のすべり量が1：2：4となるように設定した基本すべり域のすべり量 (D_1)
基本すべり量 (D_1)は、以下の関係式を満足する条件として設定した。

$M_0 = M_{01} + M_{02} + M_{04}$
 > 地震モーメント ($M_{01} = \mu \cdot S_1 \cdot D_1$, $M_{02} = \mu \cdot S_2 \cdot D_2$, $M_{04} = \mu \cdot S_4 \cdot D_4$)
 > 断層面積 (S_1 , S_2 , S_4)
 > すべり量 (D_1 , D_2 ($2 \cdot D_1$), D_4 ($4 \cdot D_1$))
 ここで、下付き数字1は基本すべり域、2は大すべり域、4は超大すべり域を表す。



- 設定根拠
- 既往地震、固着及び破壊伝播に関する検討に基づき、青森県東方沖及び岩手県沖北部から根室沖に設定
→後述P. 2. 3. 1-11～P. 2. 3. 1-38
 - 地震調査研究推進本部（2004, 2012）(45), (46)の微小地震の震源分布に基づくプレート境界面の推定等深線より、地震発生域の深さの下限（60km）から海溝軸までを考慮
→後述P. 2. 3. 1-45, P. 2. 3. 1-46
 - 3.11地震を含む世界の巨大地震のばらつきを考慮した平均応力降下量 3 MPaを考慮（内閣府(2012) (44)等）
→後述P. 2. 3. 1-90, P. 2. 3. 1-91
 - 地震波速度や密度に関する既往研究に基づき $5.0 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ に設定（土木学会(2016) (3)等）
→後述P. 2. 3. 1-47, P. 2. 3. 1-48
 - 3.11地震を含む世界の巨大地震の大すべり域を参照して設定（内閣府(2012) (44)ほか）
→補足説明資料P. 3. 1-18, P. 3. 2-21参照
 - すべり角は、陸側プレートのずれの向きに基づいて設定（中央防災会議(2006) (47)）
→後述P. 2. 3. 1-49
 - 平均的に利用されている値を参考に3.11地震の解析結果も踏まえ60sに設定（内閣府(2012) (44)）
→後述P. 2. 3. 1-50



第949回審査会合
資料2-1 P. 2. 3. 1-8再掲

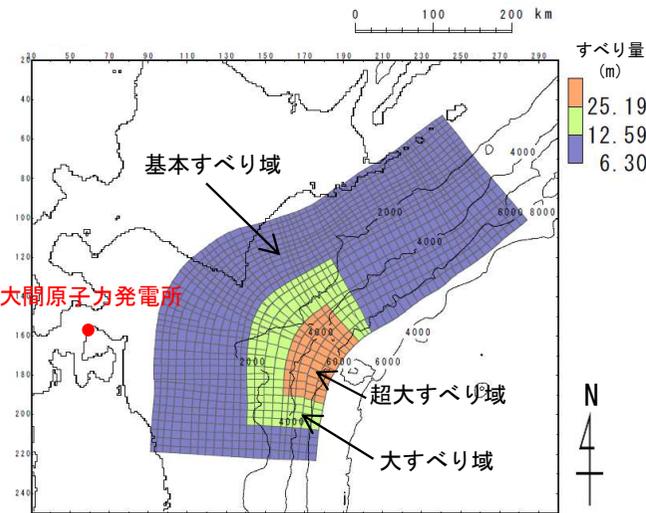
基準波源モデルの設定

(設定方法 その4)

<基準波源モデル⑤, ⑥>

右のフロー及び設定根拠に基づき、3.11地震・津波の知見を反映（津軽海峡内及び大間専用港湾に特化した津波挙動を考慮）した基準波源モデルを設定した。

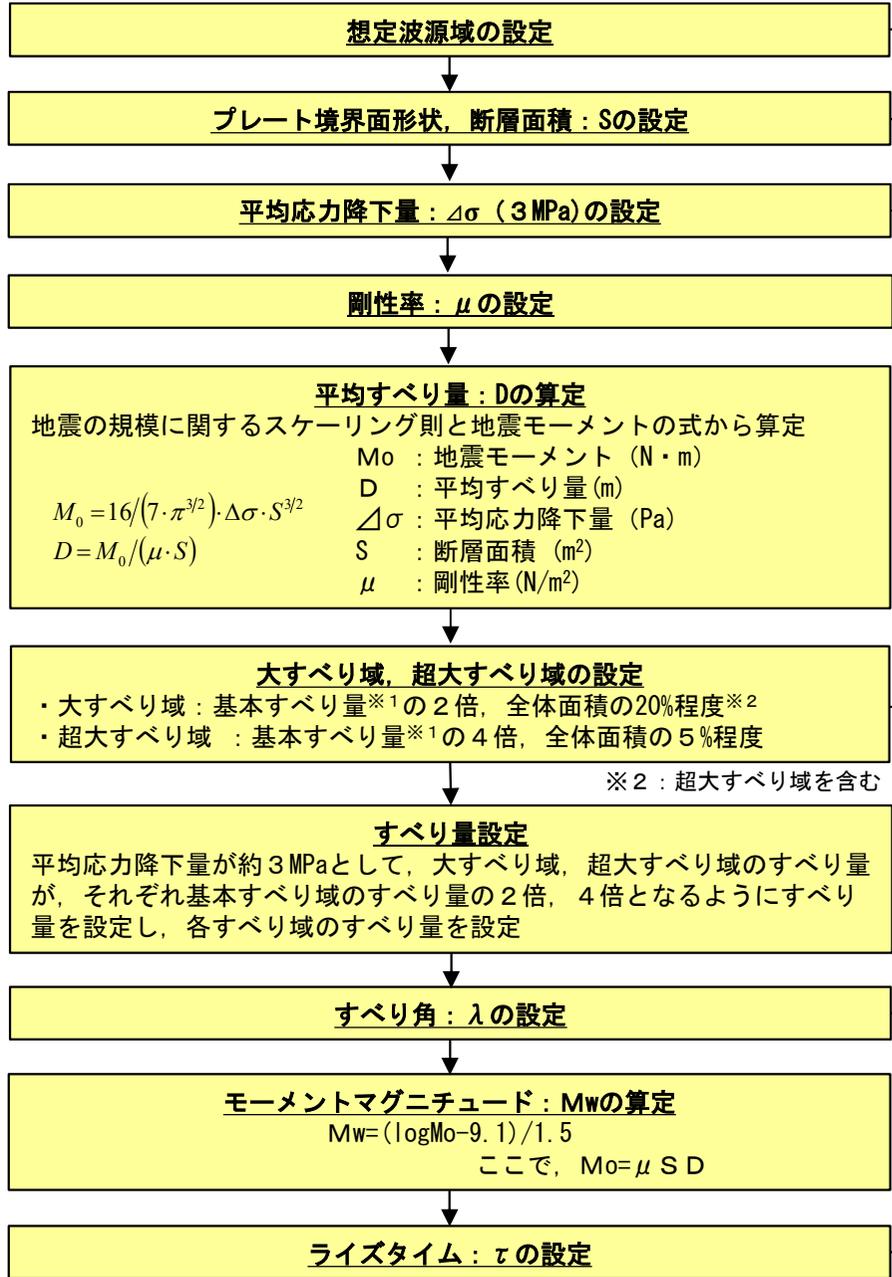
3.11地震・津波の知見を反映（津軽海峡内及び大間専用港湾に特化した津波挙動を考慮）した基準波源モデル (P. 2. 3. 1-6参照) の設定フロー



3.11地震・津波の知見を反映（津軽海峡内及び大間専用港湾に特化した津波挙動を考慮）した基準波源モデル

※1：基本すべり域、大すべり域及び超大すべり域のすべり量が1：2：4となるように設定した基本すべり域のすべり量 (D_1)
基本すべり量 (D_1)は、以下の関係式を満足する条件として設定した。

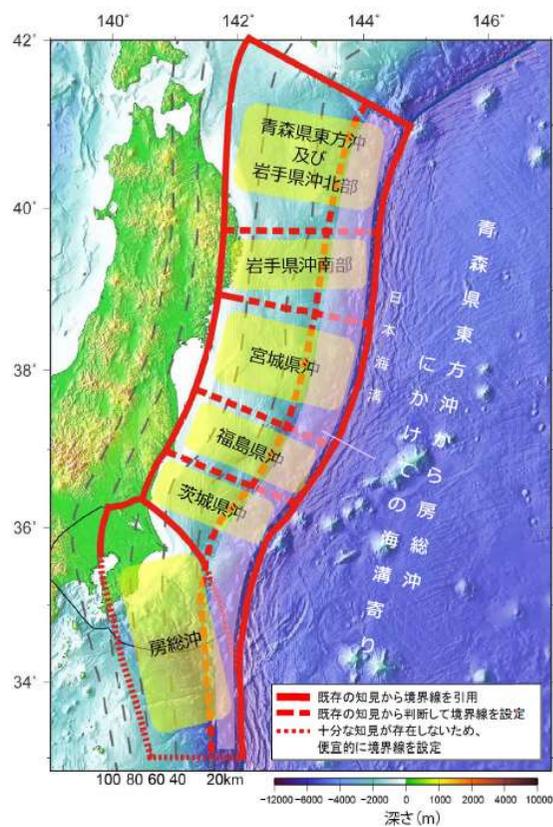
$M_0 = M_{01} + M_{02} + M_{04}$
 > 地震モーメント ($M_{01} = \mu \cdot S_1 \cdot D_1$, $M_{02} = \mu \cdot S_2 \cdot D_2$, $M_{04} = \mu \cdot S_4 \cdot D_4$)
 > 断層面積 (S_1 , S_2 , S_4)
 > すべり量 (D_1 , D_2 ($2 \cdot D_1$), D_4 ($4 \cdot D_1$))
 ここで、下付き数字1は基本すべり域、2は大すべり域、4は超大すべり域を表す。



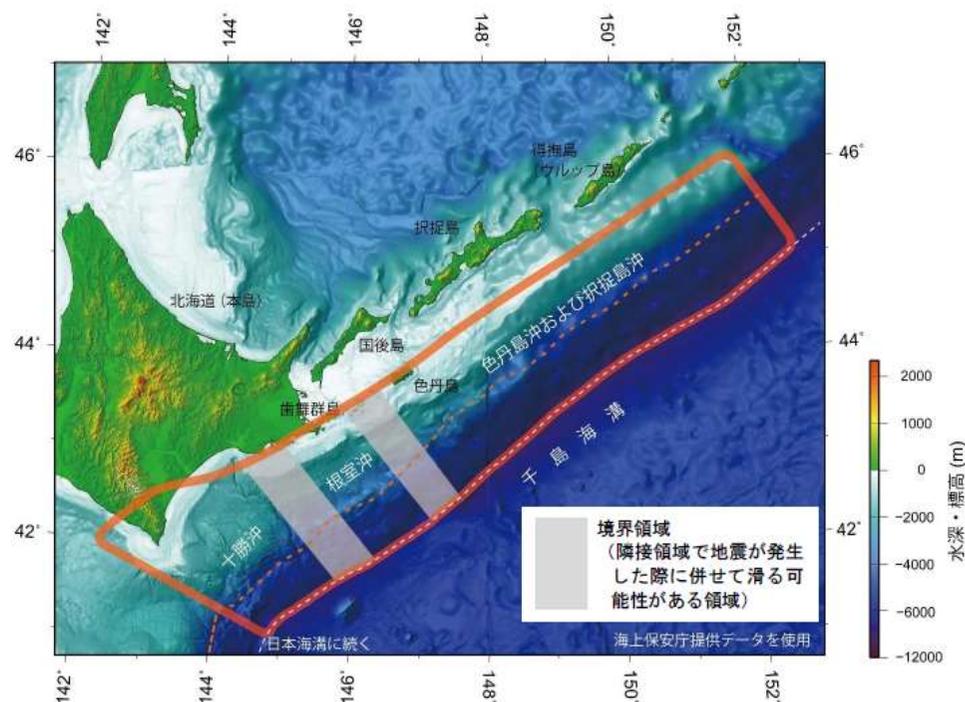
- 設定根拠
- 既往地震、固着及び破壊伝播に関する検討に基づき、青森県東方沖及び岩手県沖北部から根室沖に設定 → 後述P. 2. 3. 1-11~P. 2. 3. 1-38
 - 地震調査研究推進本部 (2004, 2012) (45), (46)の微小地震の震源分布に基づくプレート境界面の推定等深線より、地震発生域の深さの下限 (60km) から海溝軸までを考慮 → 後述P. 2. 3. 1-45, P. 2. 3. 1-46
 - 3.11地震を含む世界の巨大地震のばらつきを考慮した平均応力降下量 3 MPaを考慮 (内閣府 (2012) (44) 等) → 後述P. 2. 3. 1-90, P. 2. 3. 1-91
 - 地震波速度や密度に関する既往研究に基づき $5.0 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ に設定 (土木学会 (2016) (3) 等) → 後述P. 2. 3. 1-47, P. 2. 3. 1-48
 - 3.11地震を含む世界の巨大地震の大すべり域を参照して設定 (内閣府 (2012) (44) ほか) → 補足説明資料P. 3. 1-18, P. 3. 2-21参照
 - すべり角は、陸側プレートのずれの向きに基づいて設定 (中央防災会議 (2006) (47)) → 後述P. 2. 3. 1-49
 - 平均的に利用されている値を参考に3.11地震の解析結果も踏まえ60sに設定 (内閣府 (2012) (44)) → 後述P. 2. 3. 1-50

想定波源域の設定 (1/28) : 基本方針

想定波源域は、地震・津波に対する防災の観点から、地震に関する調査や研究を政府として一元的に推進するために設置された政府の特別機関である地震調査研究推進本部が整理した、地震調査研究推進本部 (2019, 2017) ⁽⁴¹⁾, ⁽⁴²⁾ の評価対象領域を基本とし、この評価対象領域に係る既往研究を参照 (次ページ参照) して設定する。



三陸沖から房総沖にかけての評価対象領域の分け
地震調査研究推進本部 (2019) ⁽⁴¹⁾

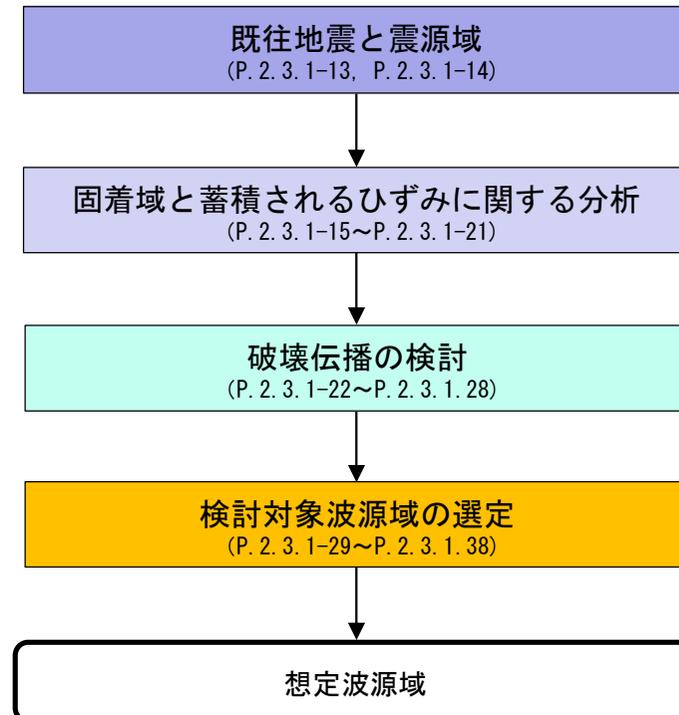


千島海溝沿いの評価対象領域
地震調査研究推進本部 (2017) ⁽⁴²⁾

想定波源域の設定 (2/28) : 既往研究

想定波源域の設定に関わり参照する既往研究に関する内容、考え方及び検討イメージは以下のとおり。

- ✓ 既往地震と震源域 (P. 2. 3. 1-13, P. 2. 3. 1-14) : 既往地震発生範囲, 地震調査研究推進本部の評価対象領域等の確認
- ✓ 固着域と蓄積されるひずみに関する分析 (P. 2. 3. 1-15~P. 2. 3. 1-21) : 地震発生箇所及び地震規模に係るひずみの蓄積状況の確認
- ✓ 破壊伝播の検討 (P. 2. 3. 1-22~P. 2. 3. 1-28) : 地震発生範囲に係る破壊の境界に関する情報の確認
- ✓ 検討対象波源域の選定 (P. 2. 3. 1-29~P. 2. 3. 1-38) : 敷地への影響を考慮した破壊領域の連動を考慮



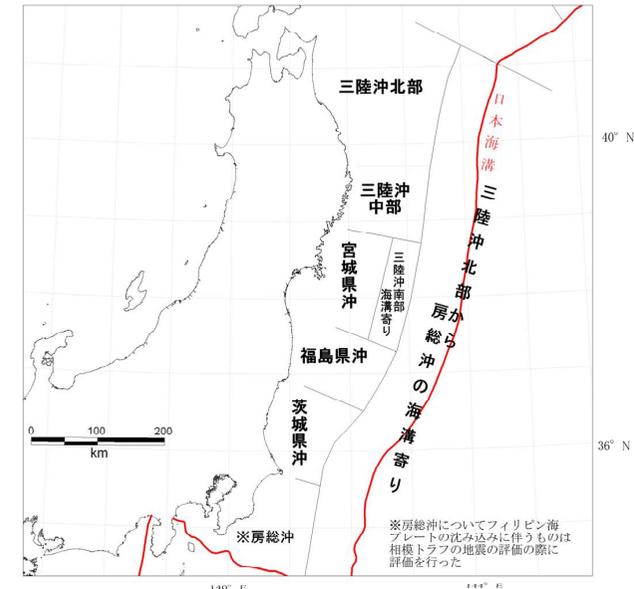
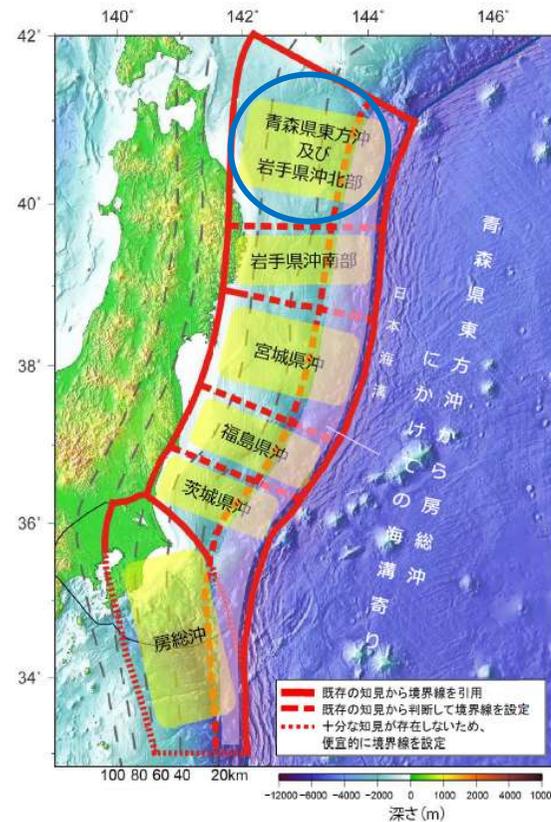
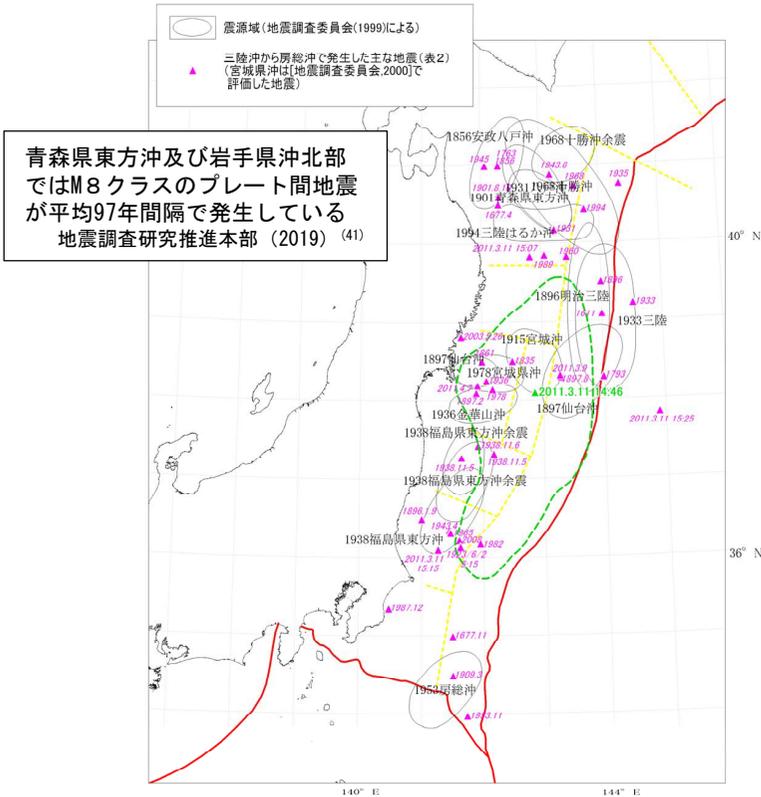
想定波源域設定の検討イメージ



想定波源域の設定 (3/28) : 既往地震と震源域 (1/2)

第949回審査会合
資料2-1 P. 2. 3. 1-12一部修正

三陸沖から房総沖



(参考) 三陸沖から房総沖にかけての評価対象領域の分け
地震調査研究推進本部 (2012) (46)

三陸沖から房総沖にかけての主な地震と主な震源域
地震調査研究推進本部 (2012) (46)

三陸沖から房総沖にかけての評価対象領域の分け※
地震調査研究推進本部 (2019) (41)に一部加筆

- 地震調査研究推進本部 (2019) (41)では、既往地震の震源域等を根拠とし、三陸沖から房総沖の震源域を上図(中央)のような領域に分けて設定されており、青森県東方沖及び岩手県沖北部では、M8クラスの地震が平均97年間隔で発生しているとされている。
- 2011年東北地方太平洋沖地震は、岩手県沖南部～茨城県沖にかけての領域が連動したM9クラスの地震であり、おおむねその震源域は青森県東方沖及び岩手県沖北部には達していない。

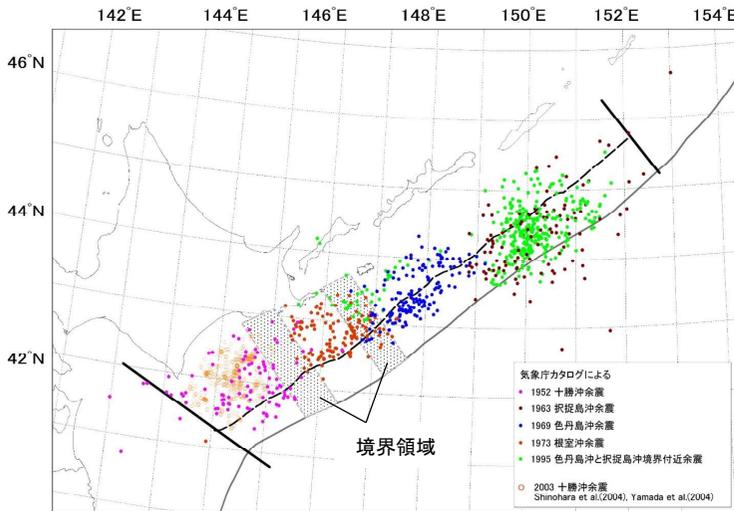


想定波源域の設定 (4/28) : 既往地震と震源域 (2/2)

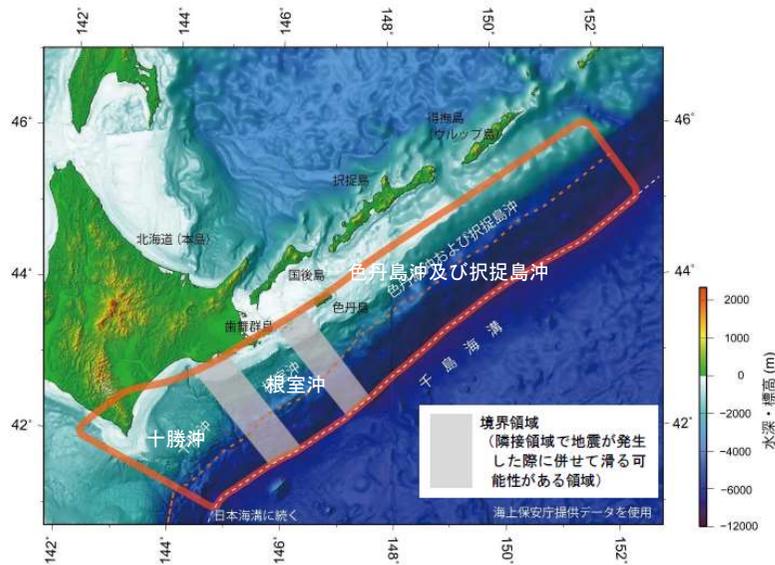
第949回審査会合
資料2-1 P. 2. 3. 1-13一部修正

十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖

プレート間巨大地震の発生間隔
 十勝沖 : 80.3年
 根室沖 : 65.1年
 色丹島沖及び択捉島沖 : 35.5年
 地震調査研究推進本部 (2017) (42)

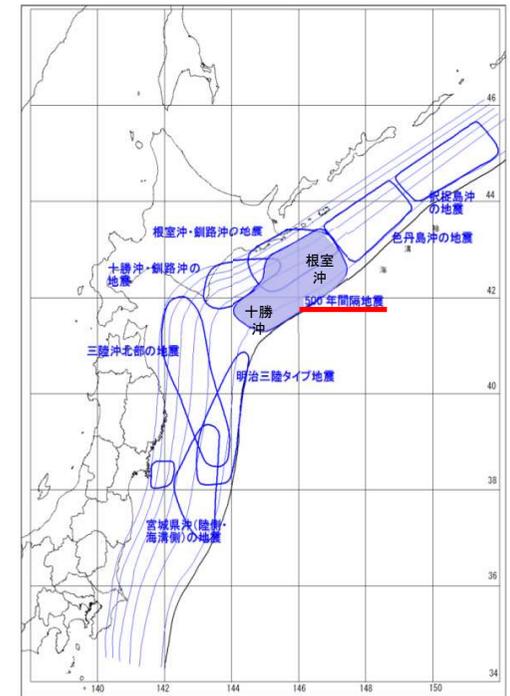


近年のプレート間巨大地震の余震分布
地震調査研究推進本部 (2017) (42) に一部加筆



千島海溝沿いの評価対象領域※
地震調査研究推進本部 (2017) (42) に一部加筆

※地震調査研究推進本部 (2017) (42) では、過去の地震の震源域の多様性を考慮し、十勝沖・根室沖・色丹島沖及び択捉島沖が連動する「超巨大地震(17世紀型)」を評価している。



津波を発生させる断層領域の模式図
中央防災会議 (2006) (47) に一部加筆

・地震調査研究推進本部 (2017) (42) では、既往地震の巨大地震の震源域等を根拠とし、十勝沖、根室沖、及び色丹島沖及び択捉島沖の震源域を上図(中央)のような領域に分けて設定されており、M8程度の地震が十勝沖・根室沖では約65年~80年間隔で発生しており、色丹島沖及び択捉島沖では約35年間隔で発生しているとされている。

以上から、十勝沖・根室沖では、連動型地震である“500年間隔地震”の間で、M8程度の地震が約65年~80年間隔で発生しており、中央防災会議 (2006) (47) に示されるような“500年間隔地震”規模の地震を引き起こす連動型地震が存在すると考えられる。

想定波源域の設定 (5/28) : 固着域と蓄積されるひずみに関する分析 (1/7)

青森県東方沖及び岩手県沖北部 (固着度)

- アスペリティ分布の解析から、青森県東方沖及び岩手県沖北部のアスペリティ (右図: AとB) のうち、1968年の地震と1994年の地震の共通アスペリティ (右図: B) のカップリング率はほぼ100%であるとされている。また、個々のアスペリティが単独で動けばM7クラスの地震 (=1994年) を、連動するとM8クラスの地震 (=1968年) を引き起こすとされている。
Yamanaka and Kikuchi (2004) ⁽⁴⁸⁾, 永井ほか (2001) ⁽⁴⁹⁾による
- 上記知見を引用し、3.11地震が青森県東方沖及び岩手県沖北部の手前で破壊が止まったのは、この領域では過去の大地震でひずみをほとんど解放してしまったためと考えれば説明可能とされている。
地震調査研究推進本部 (2012) ⁽⁴⁶⁾による

以上から、M9クラスの巨大地震を発生させる宮城県沖の固着度と比較して、青森県東方沖及び岩手県沖北部の固着度は大きくないと考えられる。

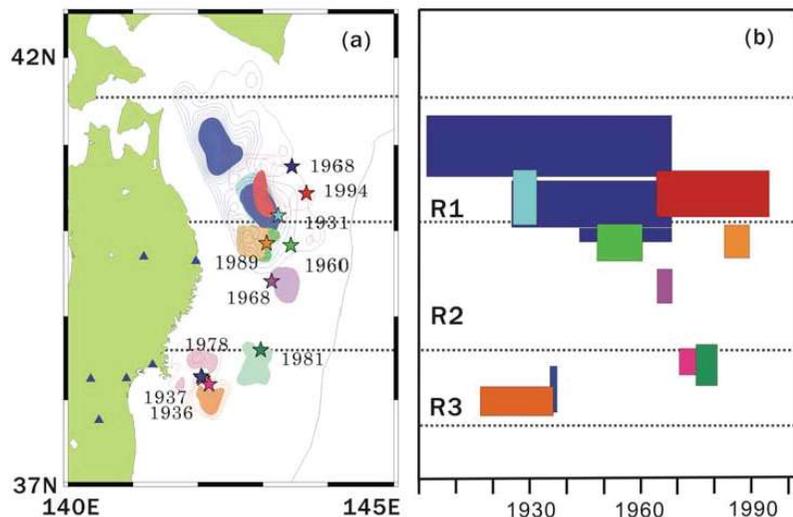


Figure 10. (a) Asperity map. (b) Space-time distribution of the seismic moment release based on the slip-predictable model. The width of the rectangle indicates the moment accumulation given by time D_a/V_{plate} , where D_a is the average seismic slip in asperities and $V_{plate} = 0.1 \text{ m yr}^{-1}$.

(a) アスペリティ位置

(b) プレートの沈み込み速度から推定される地震モーメント解放量
Yamanaka and Kikuchi (2004) ⁽⁴⁸⁾

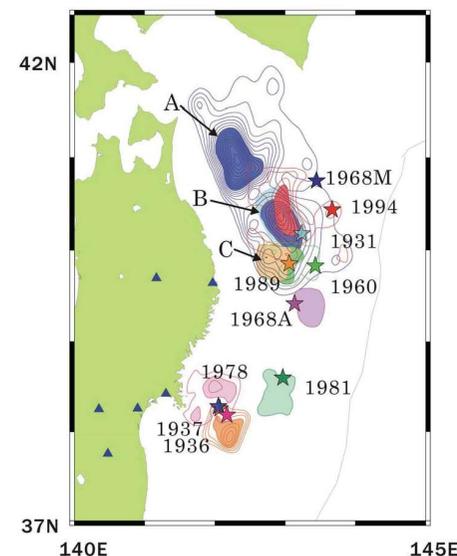


Figure 6. Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan. Stars show the main shock epicenters. Contour lines show the moment release distribution. The interval of the contour lines is 0.5 m. Each earthquake is distinguished by color. We painted the area within the value of half the maximum slip as an asperity.

アスペリティの活動パターンと地震規模の関係
Yamanaka and Kikuchi (2004) ⁽⁴⁸⁾, 永井ほか (2001) ⁽⁴⁹⁾



想定波源域の設定 (6/28) : 固着域と蓄積されるひずみに関する分析 (2/7)

第949回審査会合
資料2-1 P. 2. 3. 1-14一部修正

青森県東方沖及び岩手県沖北部 (蓄積されるひずみの量・すべり量)

【平均発生間隔】

- 青森県東方沖及び岩手県沖北部の M8 クラスのプレート間地震

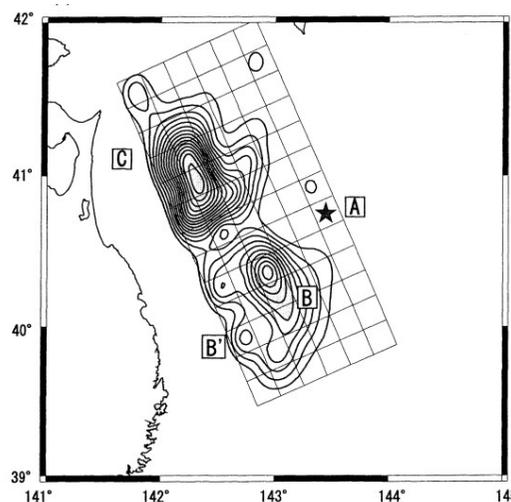
対象地震及び発生領域	地震発生日時	地震の平均発生間隔等	地震規模 ^{注1}		
			M	Mt	Mw
青森県東方沖及び岩手県沖北部のプレート間巨大地震	1677/ 4/13	平均発生間隔は97.0年	7.9	7.7	
	1763/ 1/29		(7.3/4~8.0) ^{注9}	7.9	
	1856/ 8/23		(7.9) ^{注9}		
	1968/ 5/16 09:48		7.5	7.6	
			(7.8~8.0) ^{注9}		
			7.9	8.2	8.2

注9: 宇佐美・他(2013)によれば、津波の記録等から、1677年、1763年、1856年のいずれの地震も1968年十勝沖地震に似ており、○内のMとなる可能性があることを指摘している。

※注1の解説については省略 地震調査研究推進本部 (2019) (41)に一部加筆

【1968年地震のすべり量】

- 最大すべり量6.5~9.3m



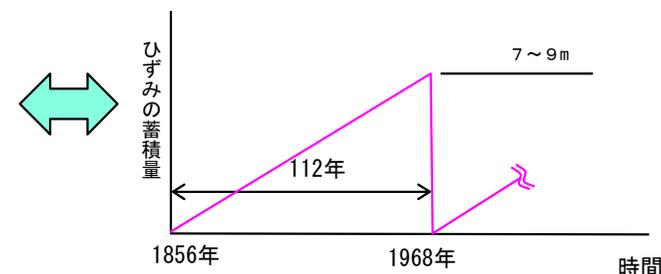
Contour of the moment release. The contour increment is 3×10^{16} Nm/km². The source mainly consists of two asperities, the southwestern region B, and the northwestern region C.

1968年地震の応力解放量分布

永井ほか (2001) (49)

【ひずみの蓄積量】

- ①プレートの沈み込み速度: 6.2-8.1cm/年 (McCaffrey, 2008) (50)
- ②カップリング係数: 1.0 (地震学的) (Yamanaka et al. (2004)) (48)
- ③ひずみの蓄積量: ① (6.2-8.1cm/年) × 112年 (1968-1856) × ② (1.0) = **7~9m**



P. 2. 3. 1-22で当該領域で蓄積されるひずみの量を中程度としているのは、カップリング係数が大きくても、プレートの沈み込み速度と地震の発生間隔との関係で、蓄積されるひずみの量が中程度になるためと考えられる。

- 青森県東方沖及び岩手県沖北部の領域におけるプレート間巨大地震のうち最大規模の地震は、1968年の地震Mw8.2であるため、当該地震を検討対象とするとされている。
地震調査研究推進本部 (2019) (41)による
- 1968年地震のインバージョン解析結果から、1968年地震の北側のアスペリティの最大すべり量は9.3m、南側のアスペリティの最大すべり量は6.5mであるとされている。
永井ほか (2001) (49)による

以上から、平均発生間隔・既往地震の最大すべり量の関係と、地震のプレートの沈み込み速度・カップリング係数・既往地震の発生間隔から算定されるひずみの蓄積量 (7~9m) には調和的な関係があると考えられる。



想定波源域の設定 (7/28) : 固着域と蓄積されるひずみに関する分析 (3/7)

青森県東方沖及び岩手県沖北部 (付加体の幅とすべり量)

- 3.11地震ではプレート境界浅部でもすべりが発生したことに着目し、地震探査で得られた宮城県沖の地震波速度構造を模した沈み込みプレート境界モデルを用いた2次元動的破壊シミュレーションを実施して、付加体の幅の違いがプレート境界浅部のすべり量に与える影響を検討し、付加体の幅が小さいほどプレート境界浅部のすべり量が増大する傾向があるとされている。
Kozdon and Dunham(2013) (51)による
- 日本海溝の沈み込み帯におけるマルチチャネル反射法地震探査結果から、青森県東方沖及び岩手県沖北部の付加体 (P波速度: 3~4km/s以下の領域) の幅は宮城県沖よりも広いとされている。
Tsuru et al. (2002) (52)による

以上から、青森県東方沖及び岩手県沖北部においてダイナミックオーバーシュート (補足説明資料P. 3.1-6, P. 3.1-7参照) が発生したとしても、そのすべり量は3.11地震のすべり量よりも小さいと考えられる。

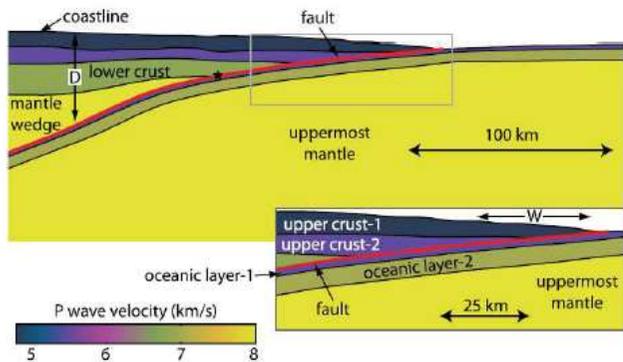


Figure 2. (a) P-wave velocity structure for the dynamic rupture simulations (no vertical exaggeration). The geometry and piecewise constant material properties are derived from Miura et al. (2001, 2005). The velocity-weakening region ($b - a > 0$) starts updip at horizontal distance W from the trench and ends downdip at depth D below sea level. The nucleation location for all simulations is indicated with the black star. The inset shows the velocity structure near the trench axis, where the dip angle is 6° from horizontal and 7° from the seafloor.

宮城県沖のプレート境界モデル
(2次元動的破壊シミュレーションモデル)
Kozdon and Dunham (2013) (51)

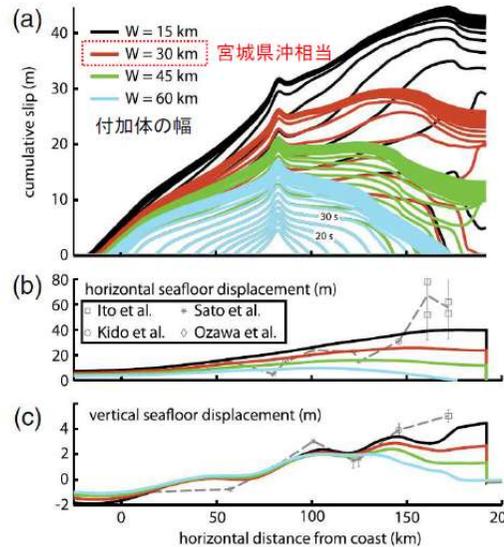


Figure 11. (a) Influence of horizontal extent W of shallow velocity-strengthening region on cumulative slip (plotted every 5 s). Shown for maximum effective normal stress $\bar{\sigma}_{max} = 40$ MPa and seismogenic depth $D = 45$ km. (b) Horizontal and (c) vertical seafloor displacement compared with various observations (dashed line). The color version of this figure is available only in the electronic edition.

動的破壊シミュレーションによる付加体の幅と断層すべり量、水平・上下変位の関係
Kozdon and Dunham (2013) (51)に一部加筆

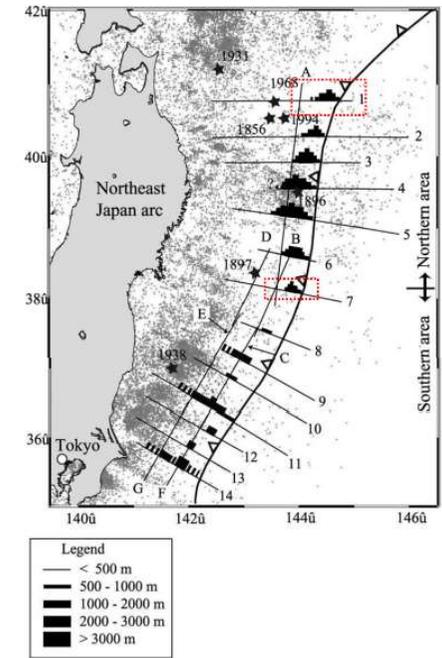


Figure 17. Map view of the low velocity sedimentary units observed on MCS sections in the Japan Trench margin. Small dots represent background seismicity taken from JMA (Japan Meteorological Agency) HypoCatalog.

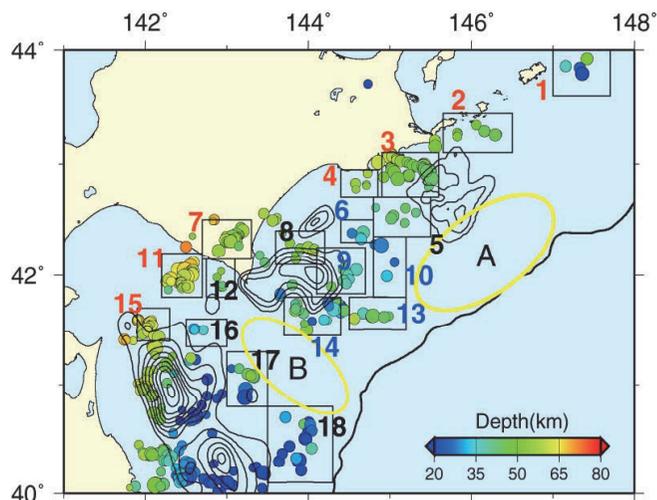
日本海溝沿いにおける付加体 (低速度堆積物) の分布
Tsuru et al. (2002) (52)に一部加筆

想定波源域の設定 (8/28) : 固着域と蓄積されるひずみに関する分析 (4/7)

十勝沖・根室沖 (固着度)

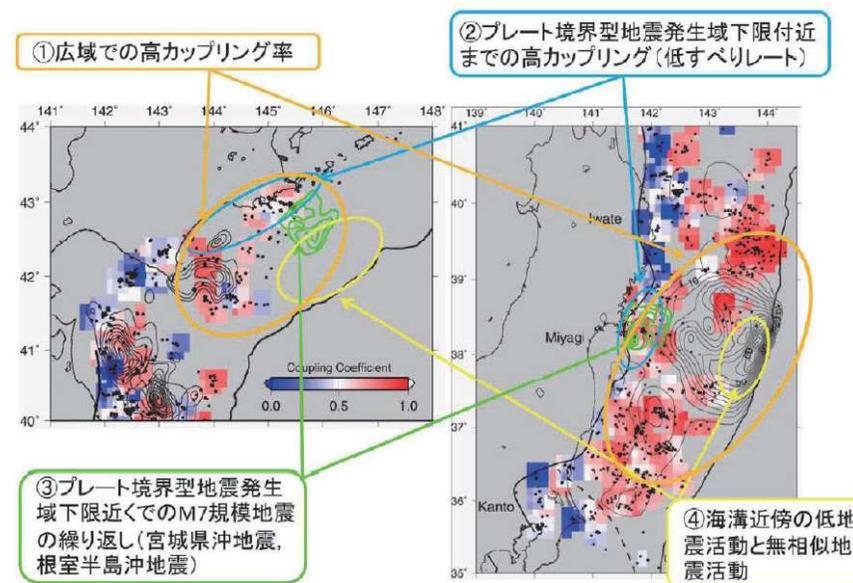
- 小繰り返し地震 (相似地震) の活動及びそれから推定されるプレート間地震すべりについて, 3.11地震で大きなすべりを生じた宮城県沖における特徴との類似性から, 十勝沖・根室沖で巨大地震が発生する可能性があると考えられている。
- また, 日本海溝・千島海溝島弧会合部付近の低地震活動 (左図: 空白域B) は, プレートの折れ曲がり影響している可能性も考えられるとされている。

東北大学 (2012) (53) による



第1図. 北海道南東沖の小繰り返し地震グループの分布 (丸印). 丸の色はグループの地震の平均の深さを示す. コンターは Yamanaka and Kikuchi (2004)⁹⁾による M7 以上の地震のすべり量分布. 矩形は第3図で平均の積算すべりを推定した領域を示す. 黄色楕円は繰り返し地震活動が低い場所.

東北大学 (2012) (53)



第2図. 北海道南東沖 (左) および東北地方東方沖 (右) の繰り返し地震分布 (黒丸) およびそれにより推定したプレート間カップリング率 (カラー) の比較. カップリング率は $0.3^\circ \times 0.3^\circ$ のグリッドごとに, 3つ以上の小繰り返し地震グループが存在する場所について推定した. 緑および黒のコンターは M7 以上の地震すべり量分布. 関東地方の沖の破線は, フィリピン海プレートの北東限.

東北大学 (2012) (53)

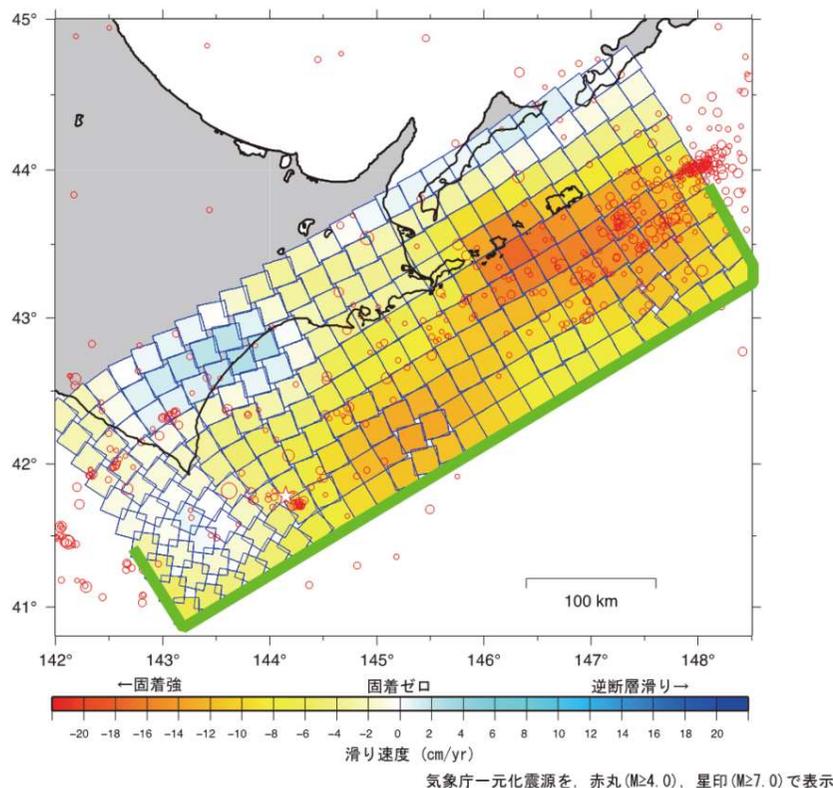
【宮城県沖における特徴】

- 特徴①: 大すべり域を中心とする広域で高いカップリング率が推定される。
- 特徴②: プレート境界型地震の発生域下限付近まで高カップリング領域が存在。
- 特徴③: プレート境界型地震の発生域下限付近での M7 クラスの地震 (の繰り返し) が存在。
- 特徴④: 海溝近傍の低地震活動と低繰り返し地震活動。

想定波源域の設定 (9/28) : 固着域と蓄積されるひずみに関する分析 (5/7)

第949回審査会合
資料2-1 P. 2. 3. 1-15一部修正

十勝沖・根室沖 (蓄積されるひずみの量)



すべり欠損分布 (2007年3月~2011年2月)

国土地理院 (2012) (54)

- GNSS連続観測結果による北海道地方の地殻変動から推定される北海道南東沖 (十勝沖・根室沖) のすべり欠損速度 (固着) の分析結果から、特に十勝沖~釧路沖の海溝寄りと根室沖の陸寄りにすべり欠損の大きな領域が存在しているとされている。これより、当該領域の固着は相対的に強く、大きなひずみが蓄積されていると推定されるとされている。

国土地理院 (2012) (54)による

以上から、十勝沖・根室沖の領域は、500年間隔地震の震源域に相当すると考えられる。



想定波源域の設定 (10/28) : 固着域と蓄積されるひずみに関する分析 (6/7)

第949回審査会合
資料2-1 P. 2. 3. 1-16一部修正

十勝沖・根室沖 (蓄積されるひずみの量・すべり量)

【平均発生間隔】

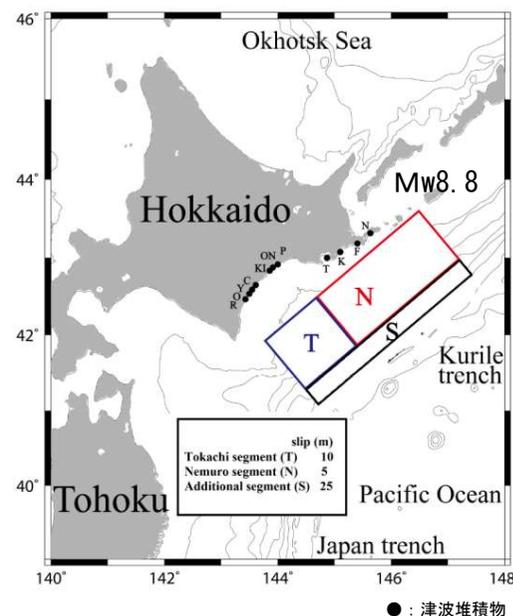
- ・ 十勝沖～根室沖の連動型地震
- ・ 約500年

十勝地域の津波		根室地域の津波
発生時期 (cal.B.P.)	再来間隔 (年)	発生時期 (cal.B.P.)
津波1	17世紀初頭	津波1
津波2	12～13世紀	津波2
津波3	9世紀	津波3
津波4	1630-(4世紀?)	津波4
津波5	AD/BC?	津波5
津波6	2590-	津波6, 8
津波7	2870～2920	津波9
津波8	3220～3460	津波10
津波9	3690～3720	津波11
津波10	4200+	津波12
津波11	4560	津波13
津波12	4860+	津波14
津波13	5000-	津波15
津波14	5640+	津波16
津波15	6370-	津波17
		津波18

中央防災会議 (2005) (55)

【17世紀の地震のすべり量分布】

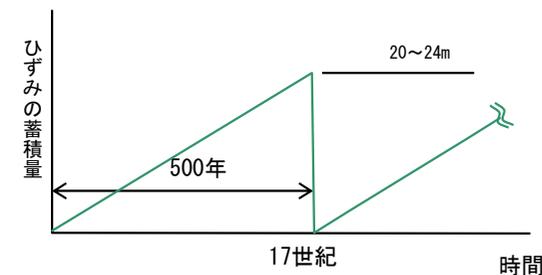
- ・ 最大すべり量25m



文部科学省 (2013) (56)

【ひずみの蓄積量】

- ① プレートの沈み込み速度: 6.9-8.2cm/年 (McGaffrey, 2008) (50)
- ② カップリング係数: 0.59 (地震学的) (Scholz and Campos, 2012) (57)
- ③ ひずみの蓄積量: ① (6.9-8.2cm) × 500年 × ② (=0.59) = **20~24m**



P. 2. 3. 1-22で当該領域で蓄積されるひずみの量を大としているのは、カップリング係数が0.6程度でも、プレートの沈み込み速度と地震の発生間隔との関係で、蓄積されるひずみの量が大きくなるためと考えられる。

- ・ 前ページの検討を踏まえ、十勝沖・根室沖連動型地震である“500年間隔地震”のひずみに関する検討を行った。

以上から、文部科学省 (2013) (56)による500年間隔地震の最大すべり量 (25m) と、プレートの沈み込み速度・カップリング係数・地震の発生間隔から算定されるひずみの蓄積量 (20~24m) には調和的な関係があると考えられる。

まとめ

◎青森県東方沖及び岩手県沖北部

- ・ M8クラスのプレート間地震が平均97年間隔で発生する。
- ・ プレートの沈み込み速度・カップリング係数・平均発生間隔から推定されるひずみの蓄積量は7～9m程度である。なお、津波地震との連動の有無やスーパーサイクルの存在に関する知見は得られていない。

◎十勝沖・根室沖

- ・ 500年間隔の連動地震（Mw8.8）の間に、M8クラスの地震が平均65～80年間隔で発生していると考えられる。
- ・ プレートの沈み込み速度・カップリング係数・平均発生間隔から推定されるひずみの蓄積量は20～24m程度である。

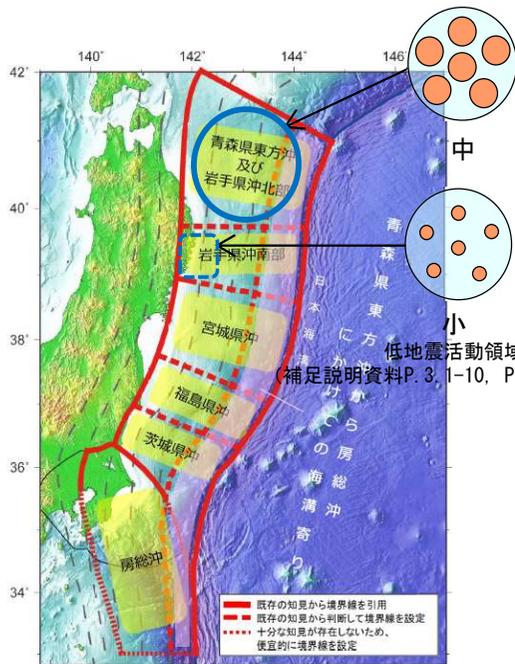
◎色丹島沖及び択捉島沖

- ・ M8クラスの地震が平均35年間隔で発生する。

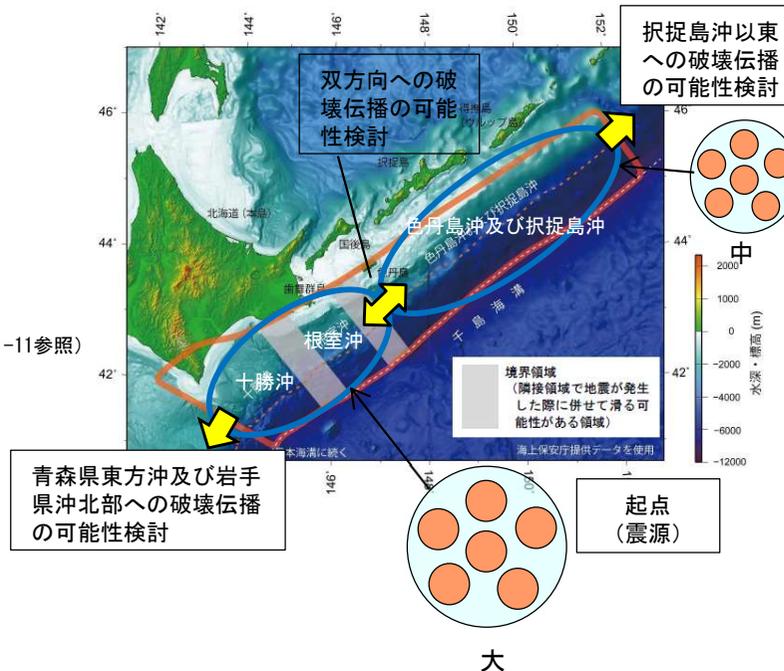
想定波源域の設定 (12/28) : 破壊伝播の検討 (1/7)

第949回審査会合
資料2-1 P.2.3.1-18再掲

青森県東方沖及び岩手県沖北部・十勝沖・根室沖・色丹島沖及び択捉島沖

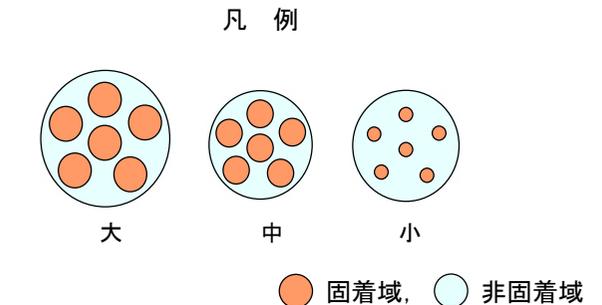


地震調査研究推進本部 (2019) (41) に一部加筆



地震調査研究推進本部 (2017) (42) に一部加筆

M8クラスの地震が平均35年間隔で発生しており、蓄積されるひずみ量は十勝沖・根室沖に比べ小さいため「中」とした。



蓄積されるひずみ量のイメージ
Seno (2014) (58) を参考に作成

青森県東方沖及び岩手県沖北部, 十勝沖・根室沖, 色丹島沖及び択捉島沖に蓄積されるひずみの分析結果

- 3.11地震及び世界のM9クラスの超巨大地震から得られた知見より, 固着と破壊伝播が関連していると考えられることより (補足説明資料P.3.3-2参照), 青森県東方沖及び岩手県沖北部, 十勝沖・根室沖及び色丹島沖・択捉島沖の固着 (蓄積されるひずみの量) について検討する。
- 前述 (P.2.3.1-14~P.2.3.1-21) の青森県東方沖及び岩手県沖北部, 十勝沖・根室沖及び色丹島沖・択捉島沖に対する固着域と蓄積されるひずみに関する分析結果から, 青森県東方沖及び岩手県沖北部, 色丹島沖・択捉島沖は, 十勝沖・根室沖に比べ蓄積されるひずみ量が相対的に小さいと評価する。
- 岩手県沖南部には低地震活動領域が存在するためひずみは蓄積されにくく (補足説明資料P.3.1-10, P.3.1-11参照), また, 2011年東北地方太平洋沖地震の震源域の北端がおおむね岩手県沖南部であることを踏まえると, 青森県東方沖及び岩手県沖北部からの破壊が南方の岩手県沖南部に伝播することはないと考えられる。

想定波源域の設定 (13/28) : 破壊伝播の検討 (2/7)

第949回審査会合
資料2-1 P. 2. 3. 1-19一部修正

青森県東方沖及び岩手県沖北部と十勝沖・根室沖との間に位置する島弧会合部 (1/2)

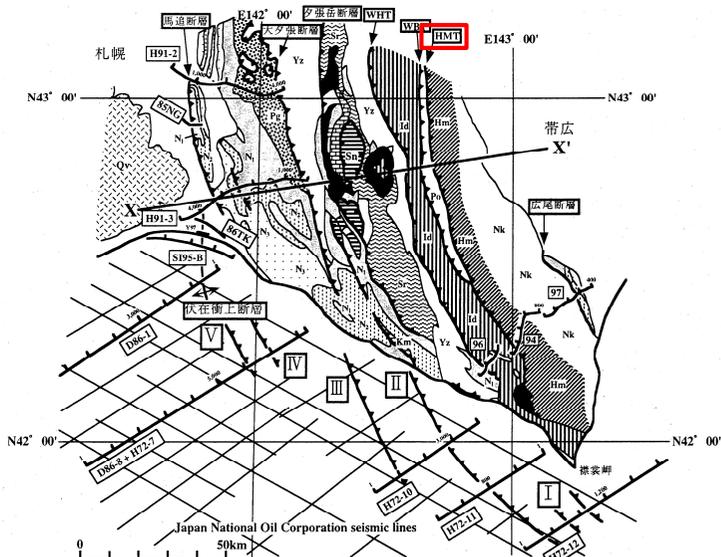


図1 日高衝突帯ならびに前縁褶曲・衝上断層帯の地質概略と主な反射法地震探査測線図。X-X'は図2の断面位置を示す。伊藤ら(1999)を改変。
【地質】主として、地質調査所(1982, 1996)による。Nk: 中の川層群, Hm: 日高変成岩類(主帯), Po: ポロシリ・オフィオライト(西帯), Id: イドナップ帯, Yz: 蝦夷層群, Sr: 空知層群, Km: 神威占潭変成岩類, Sn: 沙流川層ニセウ層, Pg: 古第三系, N1~N3: 地質調査所(1982)と同じ。Qv: 第四紀火山岩類。
【測線】94・96・97: 日高深部構造反射法探査, 85NG・86TK: 浅野ら(1990), Y97: 佐藤ら(1998), その他の測線は石油公団(1973, 1987, 1993, 1996)。

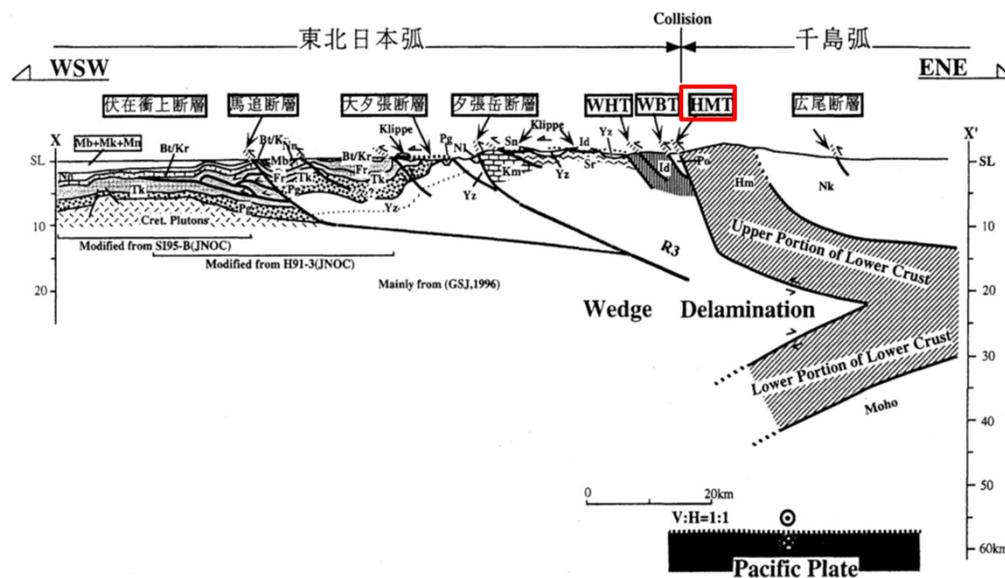


図2 日高衝突帯ならびに前縁褶曲・衝上断層帯の地下構造断面図。断面線の位置は図1のX-X'。断面図下に主要な出典を示した。略称は図1に同じ。Ito et al. (1998) および伊藤ら(1999)を改変。

伊藤(2000)⁽⁵⁹⁾に一部加筆

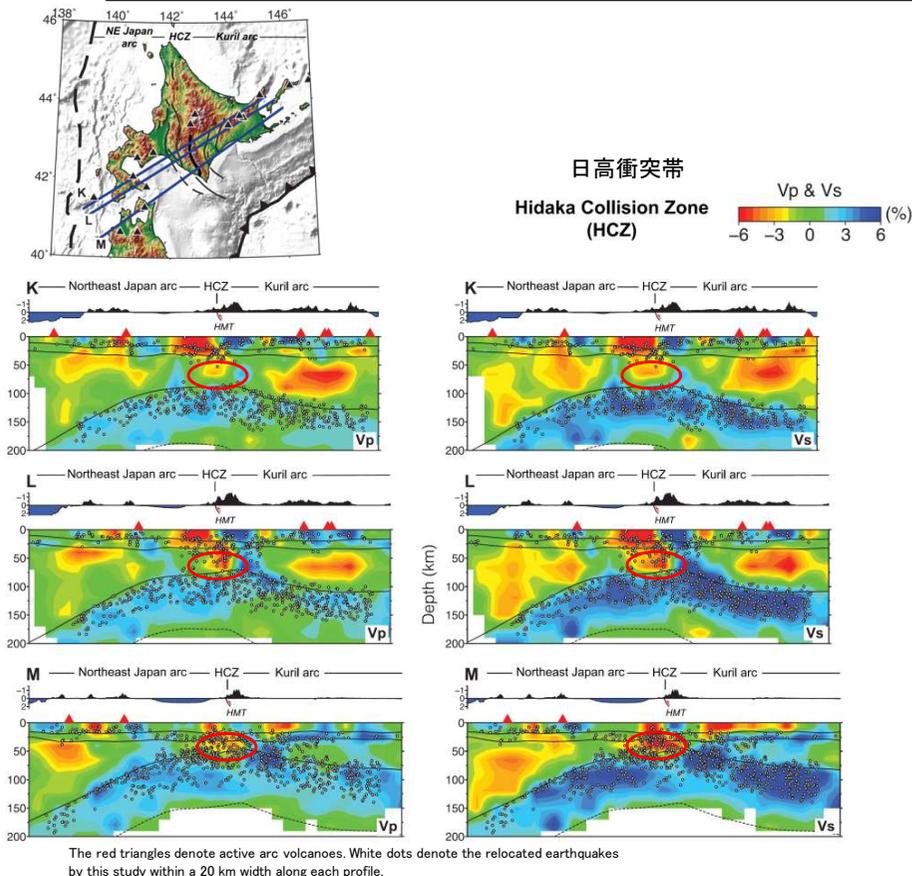
- 3.11地震及び世界のM9クラスの超巨大地震から得られた知見より、構造境界と破壊伝播が関連していると考えられることより(補足説明資料P. 3. 3-2参照)、青森県東方沖及び岩手県沖北部と十勝沖・根室沖との間に位置する島弧会合部について検討した。
- 千島海溝南西端は、日本海溝との島弧会合部に位置し、その会合部(衝突帯)では、日高山脈が形成されているとされている。(日高造山運動)。木村(2002)⁽⁶⁰⁾による
- 千島弧はその下部地殻内で上下に裂けて分離(デラミネーション)するとともに、上部地殻を含めて上半分は日高主衝上断層によって西側に衝上し、上部マントルを含めて下半分は下降する。一方、東北日本弧側はデラミネーションした千島弧のなかに楔(ウェッジ)状に突入するとされている。伊藤(2000)⁽⁵⁹⁾による



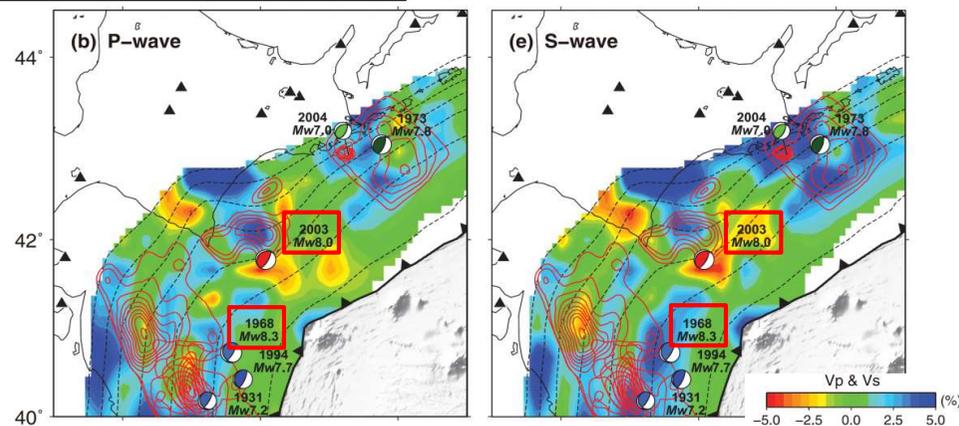
想定波源域の設定 (14/28) : 破壊伝播の検討 (3/7)

第949回審査会合
資料2-1 P. 2. 3. 1-20一部修正

青森県東方沖及び岩手県沖北部と十勝沖・根室沖との間に位置する島弧会合部 (2/2)

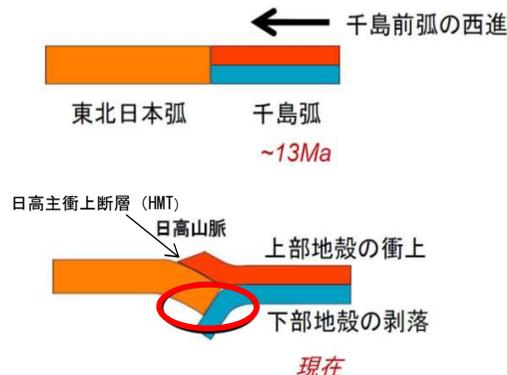


日高衝突帯における地震波トモグラフィ鉛直分布 (HMT: Hidaka main thrust) Liu et al. (2013) (61)



日本海溝・千島海溝島弧改造部付近の地震波トモグラフィと既往地震発生域の関係 Liu et al. (2013) (61)に一部加筆

The red contour lines in (b) and (e) denote the coseismic slip distributions of the megathrust earthquakes in 1931, 1968 and 1994 (Nagai et al. 2001; Yamanaka & Kikuchi 2004), in 2003 (Yamanaka & Kikuchi 2003), and in 1973 and 2004 (Katsumata & Yamanaka 2006; Yamanaka 2006). The inner contour lines denote larger slips.



千島弧の前弧スリパーの西進、東北日本弧との衝突による日高山脈形成過程の模式図 日野ほか (2008) (62)に一部加筆

- 千島弧と東北日本弧が衝突する日高衝突帯では、地震波速度の高速度域が、低速度域に押し付けられている形状を呈する。
- 千島弧と東北日本弧の衝突により、剥落した千島弧の地殻下部物質の剥落に相当する低速度領域 (左図赤○部) がプレート境界面と接している。
- 1968年十勝沖地震と2003年十勝沖地震の震源は、この接触領域によって隔てられている。

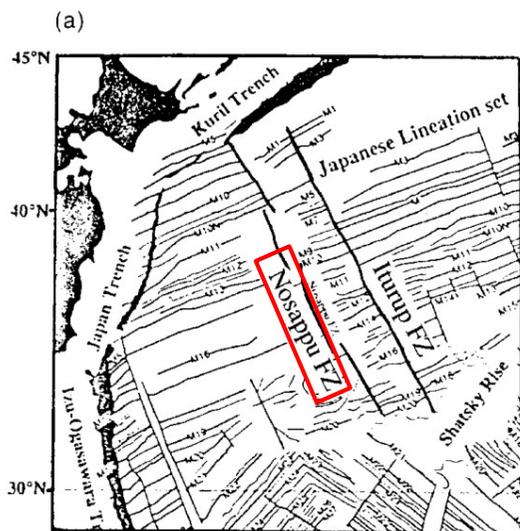
地震波トモグラフィによる青森県東方沖及び岩手県沖北部と十勝沖・根室沖との間に位置する島弧会合部付近の3次元地殻不均質構造の分析と既往地震発生履歴の関係から、日高衝突帯における下部地殻の剥落に相当する低速度領域が、破壊 (地震) の構造境界になる可能性があると考えられている。
Liu et al. (2013) (61), 日野ほか (2008) (62)による

前ページ及び以上から、青森県東方沖及び岩手県沖北部と十勝沖・根室沖との間に位置する島弧会合部は、破壊伝播の境界になる可能性があると考えられる。

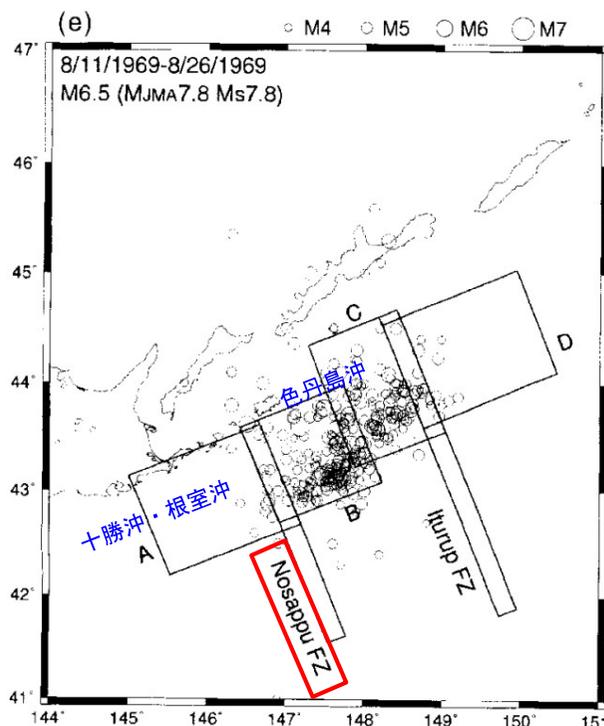
想定波源域の設定 (15/28) : 破壊伝播の検討 (4/7)

第949回審査会合
資料2-1 P. 2. 3. 1-21一部修正

南千島沖 (1/2)

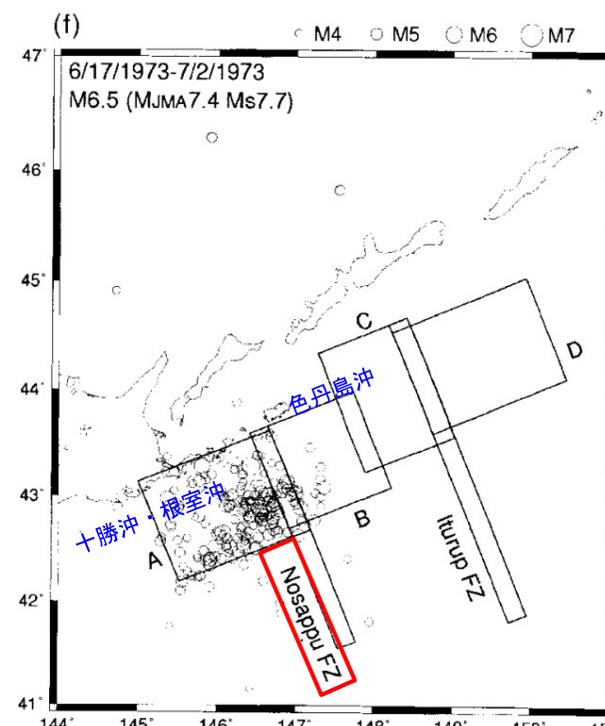


地磁気異常
Kasahara et al (1997) (63) に一部加筆



1969年南千島沖地震の余震域

Kasahara et al. (1997) (63) に一部加筆



1973年根室沖地震の余震域

- 3.11地震及び世界のM9クラスの超巨大地震から得られた知見より、構造境界と破壊伝播が関連していると考えられることより (補足説明資料P. 3.3-2参照), 南千島沖の構造境界について検討した。
- 南千島沖の太平洋プレート上には地磁気異常の縞模様にも明瞭な食い違いがあり、その食い違い境界に存在する納沙布断裂帯と呼ばれる断裂帯を挟んで両側で重力・地殻構造・堆積物の厚さが明瞭に変化しているとされている。また、この構造線の海溝側への延長線は最近数十年間に色丹島沖～択捉島沖に起きた地震活動のブロック境界と一致しており、古い海洋プレートの構造が現在の地震活動ブロック構造を支配する原因の一つと考えられるとされている。

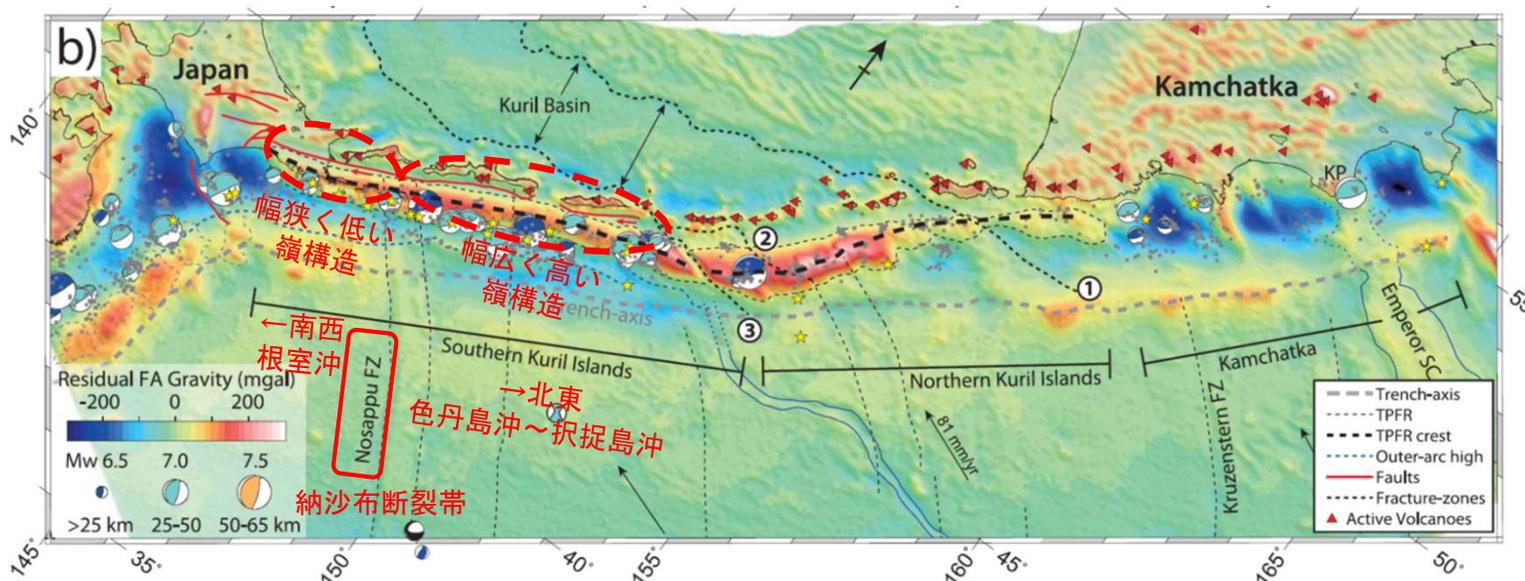
Kasahara et al. (1997) (63) による

想定波源域の設定 (16/28) : 破壊伝播の検討 (5/7)

南千島沖 (2/2)

- Bassett and Watts (2015) ⁽⁶⁴⁾ では, 「納沙布断裂帯が前弧地形の変化位置にあたり, 以下のとおり, 納沙布断裂帯の南西側で海溝軸に平行な嶺構造 (TPFR) の重力異常が狭く小さくなることや地震の分布を考慮すると, 納沙布断裂帯の位置にテクトニックなセグメンテーションが生じているとみられる」とされている。
 - ✓ 海溝軸に平行な嶺構造 (TPFR) はプレート間の摩擦特性を反映しているため, 長期的な地震活動に関する海溝軸方向の1次的なセグメンテーションに対応する。
 - ✓ そのうえで, 納沙布断裂帯が (1) 前弧地形の変化位置にあたり, (2) 南西側でTPFRの重力異常が狭く弱くなることや, (3) 地震の分布に差異があることを考慮すると, 2次的なセグメンテーション構造を形成している。

前ページ及び以上から, 納沙布断裂帯は, 十勝沖・根室沖で発生する地震の破壊領域の東の境界になると考えられる。



Bassett and Watts (2015) ⁽⁶⁴⁾ に一部加筆

千島～カムチャッカ沈み込み帯

(コンターは重力異常の短波長成分, 黒破線はTPFRの嶺, 灰色破線は海溝軸を表す。)



想定波源域の設定 (17/28) : 破壊伝播の検討 (6/7)

第949回審査会合
資料2-1 P. 2. 3. 1-22一部修正

千島前弧スリバー

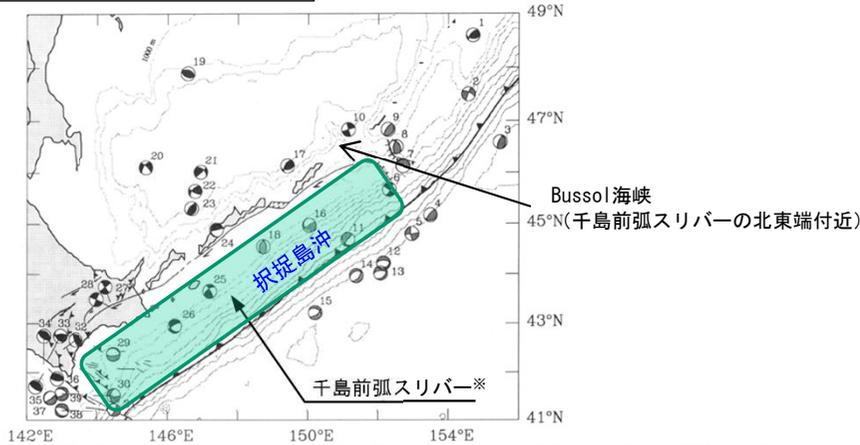
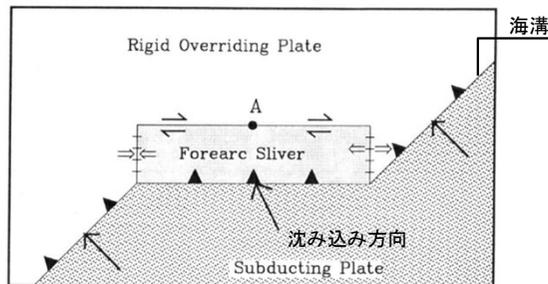
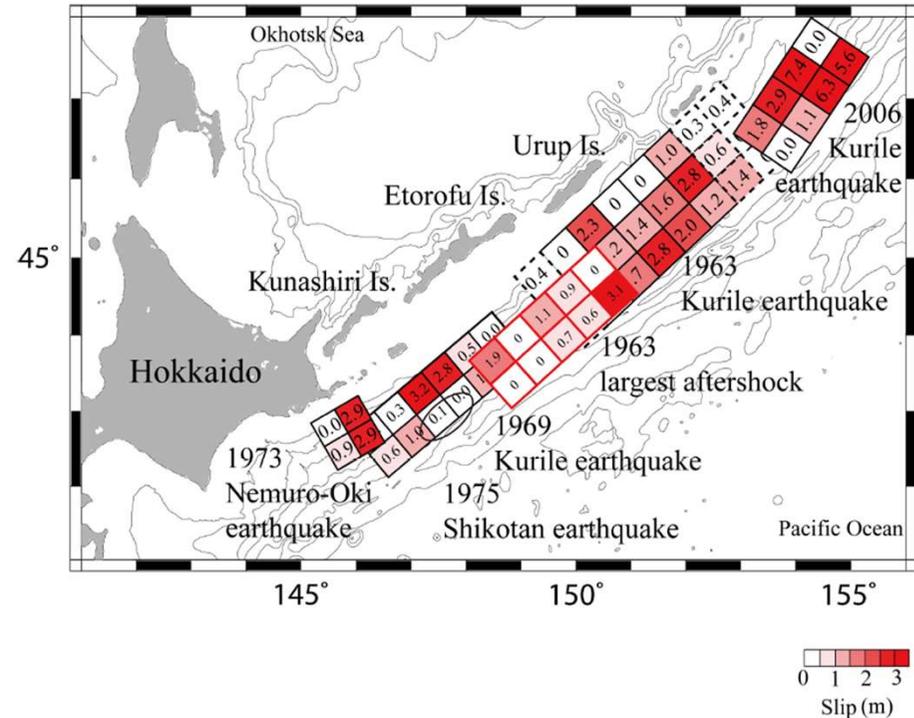


Fig. 6. Bathymetry and nonsubduction earthquakes in the vicinity of the southern Kuril forearc sliver. Epicentral parameters are given in Table 2. All published focal mechanisms for shallow nonthrust earthquakes are shown. Focal mechanisms with solid quadrants are believed to have occurred within the upper plate. Focal mechanisms with graytone quadrants record deformation with a less certain origin. Bathymetric contour intervals are 1000 m. All fault locations are taken from *Le Pichon et al. [1984] and Kimura [1986]*.

千島前弧スリバー (Demets (1992) (65)に一部加筆)



斜め沈み込み帯におけるプレート運動 (概要図) (Demets (1992) (65)に一部加筆)



津波波形インバージョンにより推定した根室半島沖～中千島沖で発生した地震のすべり分布

文部科学省 (2013) (56)

※前弧スリバー: 島弧あるいは陸弧の前弧部分が、背弧およびそれから後方のプレートと独立して運動する部分。地学団体研究会編 (2000) (66)

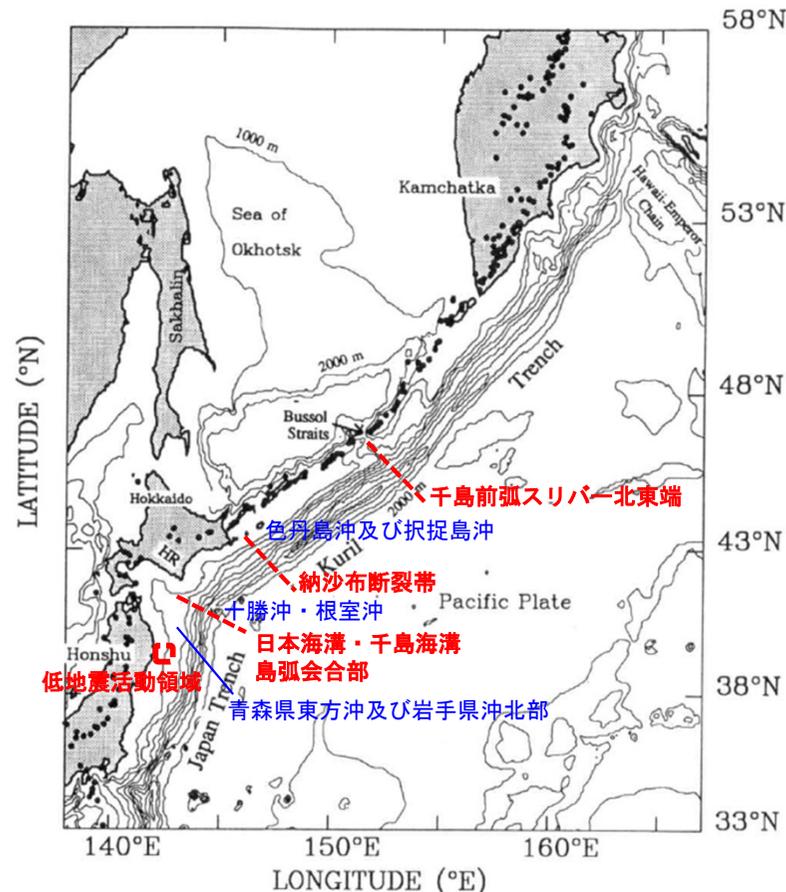
- 太平洋プレートは、千島海溝で斜めに沈み込んでおり、それに伴いBussol海峡～十勝沖の範囲において千島前弧スリバーが形成され、背弧側とは別の剛体運動をしているとされている。 Demets(1992) (65)による
 - 千島前弧スリバーの北東端位置は、1963年の地震と2006年の地震の境界に一致するとされている。 文部科学省 (2013) (56)による
- 以上から、千島前弧スリバー北東端は択捉島沖で発生する地震の破壊領域の北東の境界になると考えられる。

想定波源域の設定 (18/28) : 破壊伝播の検討 (7/7)

第949回審査会合

資料2-1 P. 2. 3. 1-23再掲

まとめ



青森県東方沖から千島海溝沿いにおける構造的特徴 (破壊のバリア) に関する検討結果

Demets (1992) ⁽⁶⁵⁾ に一部加筆

◎青森県東方沖及び岩手県沖北部は、M8クラスの地震で蓄積するひずみを解消すると考えられ、蓄積されるひずみの量は、十勝沖・根室沖に比べ小さい。また、さらに南方の岩手県沖南部では、ひずみは蓄積されにくく (低地震活動領域：補足説明資料P. 3. 1-10, P. 3. 1-11)、2011年東北地方太平洋沖地震の破壊域であることを踏まえると、青森県東方沖及び岩手県沖北部の破壊がさらに南方の岩手県沖南部に伝播することはないと考えられるため、青森県東方沖及び岩手県沖北部と岩手県沖南部の境界を想定波源域の南の境界とする。

◎日本海溝と千島海溝の島弧会合部付近には地殻構造の不連続による破壊のバリアが存在すると考えられるため、青森県東方沖及び岩手県沖北部と十勝沖・根室沖との境界は、破壊の境界となり得ると考えられる。

◎十勝沖・根室沖と色丹島沖及び択捉島沖との境界に存在する納沙布断裂帯は破壊の伝播を規制した破壊のバリアと考えられるため、納沙布断裂帯は、破壊の境界となると考えられる。

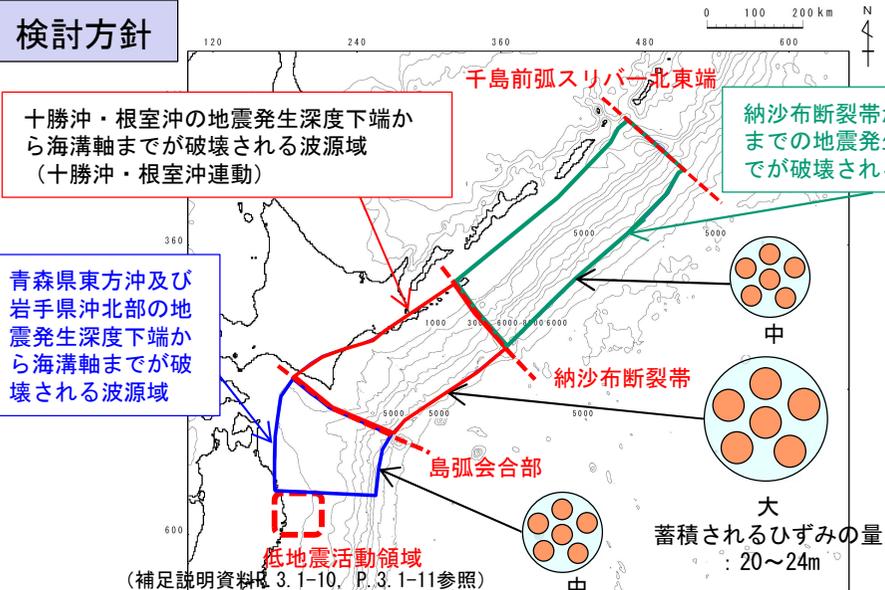
◎色丹島沖及び択捉島沖の北東に存在する千島前弧スリパーの北東端は破壊の伝播を規制した破壊のバリアと考えられるため、破壊の境界となると考えられる。



想定波源域の設定 (19/28) : 検討対象波源域の選定 (1/10)

第949回審査会合
資料2-1 P.2.3.1-24一部修正

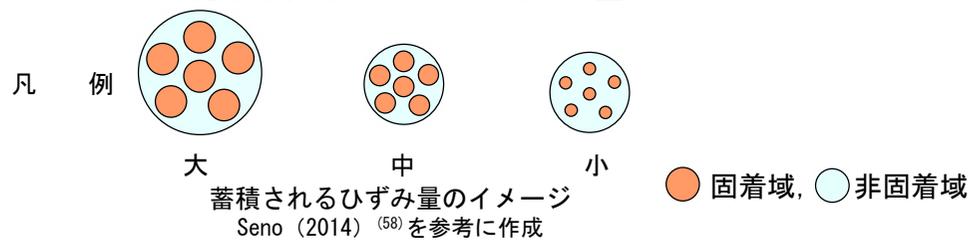
検討方針



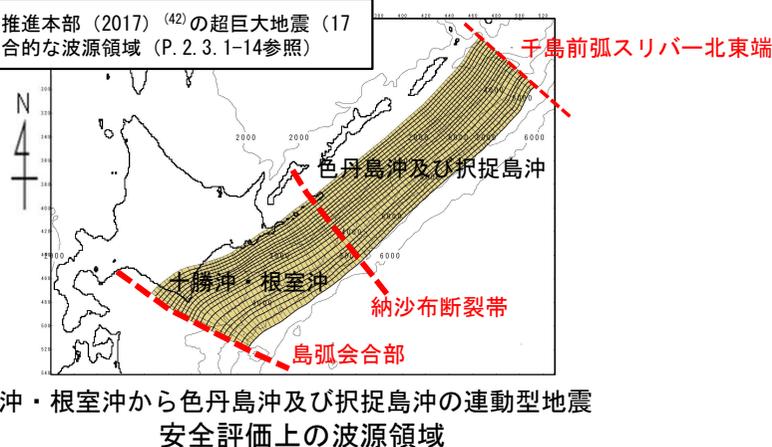
青森県東方沖及び岩手県沖北部～色丹島沖・択捉島沖に亘る領域は、左図のとおり3つの波源域に分割できると考えられるが、安全評価上、右図のように破壊伝播の可能性が低いと評価される波源域の境界を一つ跨ぐ2つの領域の連動を考慮したM9クラス地震を考慮



蓄積されるひずみの量
蓄積されるひずみの量: 7~9m
既往の知見を踏まえた波源領域とひずみ量



地震調査研究推進本部 (2017) (42) の超巨大地震 (17世紀型) と整合的な波源領域 (P.2.3.1-14参照)



- 巨大地震想定に当たり、安全評価上の波源領域として以下のとおり想定することとした。
 - ✓ 青森県東方沖及び岩手県沖北部と十勝沖・根室沖の間に位置する島弧会合部付近には地殻構造の不連続による破壊のバリアが存在すると考えられ、この境界を跨ぐ破壊伝播の可能性は低いと評価されるが、青森県東方沖及び岩手県沖北部から十勝沖・根室沖が一連の波源域として連動することを想定したM9クラスの波源を設定する。
 - ✓ 十勝沖・根室沖と色丹島沖及び択捉島沖との境界に存在する納沙布断裂帯は破壊の伝播を規制した破壊のバリアと考えられ、この境界を跨ぐ破壊伝播の可能性は低いと評価されるが、十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖が一連の波源域として連動することを想定したM9クラスの波源を設定する。
 - ✓ なお、3.11地震では、津波地震の領域である付加体での大きなすべりが高い津波を発生させたことを踏まえ、プレート間地震と津波地震の連動を考慮する。

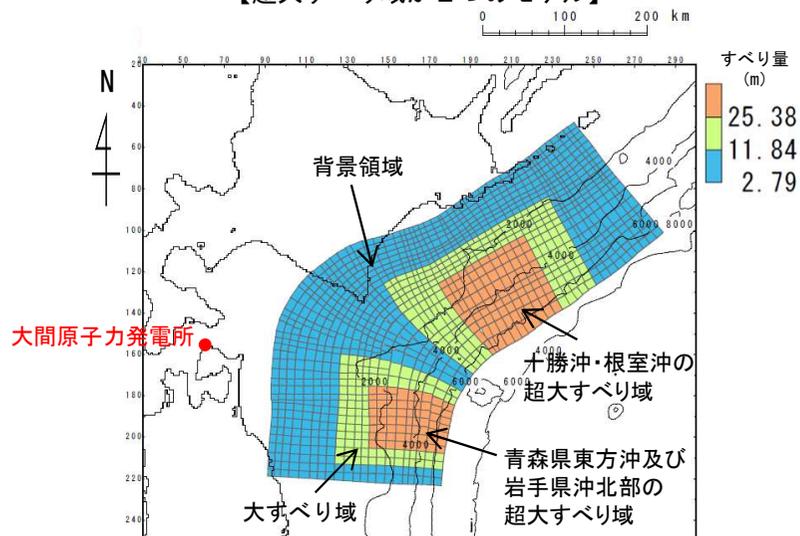
想定波源域の設定 (20/28) : 検討対象波源域の選定 (2/10)

検討対象モデル

- 大間の基準波源モデル策定に係り、津波水位への影響が大きいすべり分布の観点では、超大すべり域の数が2つのモデルと1つのモデルとの2つのグループに分けることができる。
- 検討対象波源域の選定に係り、超大すべり域の数の影響を加味するため、以下の2種類のモデルを検討対象モデルに選定し、十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖にも、これらのモデルの設定の考え方を反映した特性化モデルを設定することとする。
 - ✓ 超大すべり域が2つのモデル：「岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデル」
(P. 2. 3. 1-31~P. 2. 3. 1-34, P. 2. 3. 1-51~P. 2. 3. 1-66参照)
 - ✓ 超大すべり域が1つのモデル：「岩手県沖北部から青森県東方沖の破壊特性を考慮した特性化モデル」※
(P. 2. 3. 1-35~P. 2. 3. 1-38, P. 2. 3. 1-85~P. 2. 3. 1-88参照)

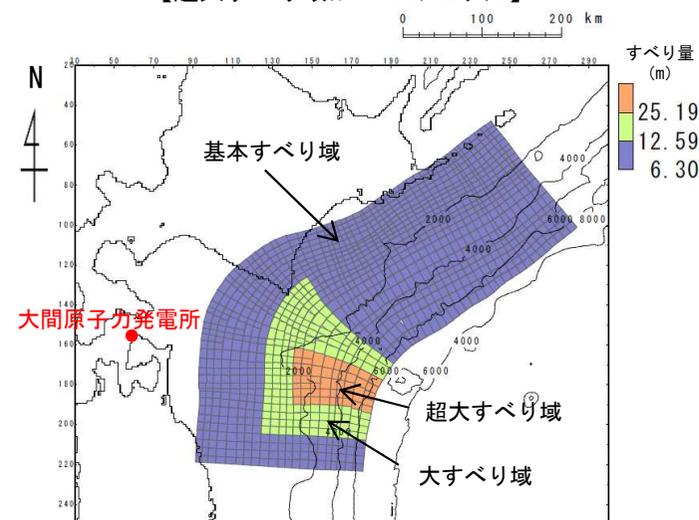
※「青森県東方沖及び岩手県沖北部から十勝沖・根室沖」と「十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖」の領域比較を明確にするために、ここ「検討対象波源域の選定」では「3.11地震における宮城県沖の破壊特性を考慮した特性化モデルを参考に設定した特性化モデル」を「岩手県沖から青森県東方沖の破壊特性を考慮した特性化モデル」と称する。

【超大すべり域が2つのモデル】



岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデル

【超大すべり域が1つのモデル】

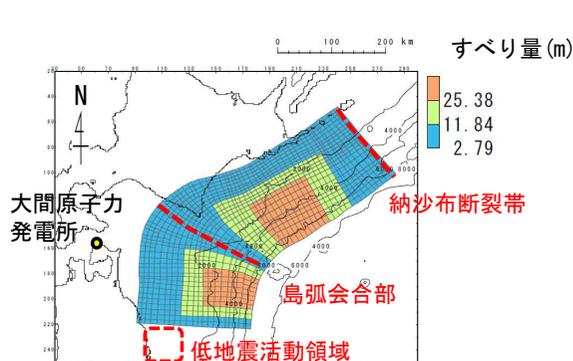


岩手県沖北部から青森県東方沖の破壊特性を考慮した特性化モデル

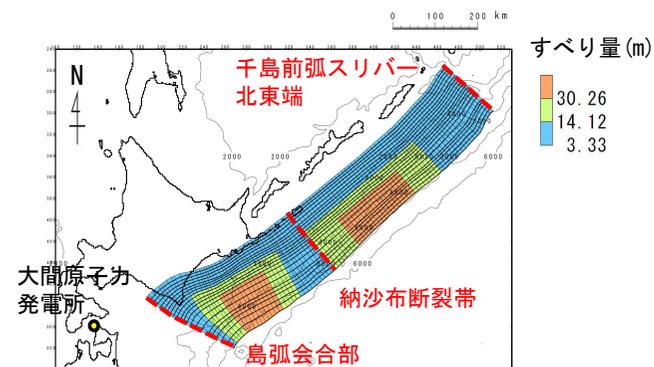
想定波源域の設定 (21/28) : 検討対象波源域の選定 (3/10)

超大すべり域が2つのモデル (1/4) : 特性化モデル設定方針

- 検討対象波源域の選定に関する超大すべり域が2つのモデルを対象とした検討は、「岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデル」及び十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖に、このモデルの設定の考え方を反映した特性化モデル「十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデル」を比較することで実施した。(各モデルの設定の考え方は、P.2.3.1-65, P.2.3.1-66参照)。



岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデル



十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデル

		岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデル 【モデル化後の値】	備考 【設計値】
モーメントマグニチュード Mw		9.06	9.05
面積 S (km ²)		110,472	—
平均応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)		3.27	3.1
剛性率 μ (N/m ²)		5.0×10^{10}	—
地震モーメント Mo (N・m)		4.93×10^{22}	4.67×10^{22}
平均すべり量 D (m)		8.93	8.46
すべり量	基本すべり域 (m) (面積及び面積比率)	2.79 (64,419km ² , 58.3%)	2.79 (66,283km ² , 60%)
	大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	11.84 (26,782km ² , 24.2%)	11.84 (27,618km ² , 25%)
	超大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	25.38 (19,271km ² , 17.5%)	25.38 (16,571km ² , 15%)
ライズタイム τ (s)		60	—

		十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデル 【モデル化後の値】	備考 【設計値】
モーメントマグニチュード Mw		9.21	9.20
面積 S (km ²)		157,100	—
平均応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)		3.19	3.1
剛性率 μ (N/m ²)		5.0×10^{10}	—
地震モーメント Mo (N・m)		8.15×10^{22}	7.92×10^{22}
平均すべり量 D (m)		10.38	10.09
すべり量	基本すべり域 (m) (面積及び面積比率)	3.33 (92,651km ² , 59.0%)	3.33 (94,260km ² , 60%)
	大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	14.12 (38,911km ² , 24.8%)	14.12 (39,275km ² , 25%)
	超大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	30.26 (25,538km ² , 16.2%)	30.26 (23,565km ² , 15%)
ライズタイム τ (s)		60	—



想定波源域の設定 (22/28) : 検討対象波源域の選定 (4/10)

超大すべり域が2つのモデル (2/4) : 特性化モデル詳細パラメータ

詳細パラメータ一覧

		岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の 広域の津波特性を考慮した 特性化モデル 【モデル化後の値】	備考 【設計値】	
モーメントマグニチュード [*] Mw		9.06	9.05	
平均応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)		3.27	3.1	
剛性率 μ (N/m ²)		5.0×10^{10}	—	
地震モーメント M_0 (N・m)		4.93×10^{22}	4.67×10^{22}	
平均すべり量 D (m)		8.93	8.46	
波源全体	面積 S (km ²)	110,472	—	
	すべり量	基本すべり域 (m) (面積及び面積比率)	2.79 (64,419km ² , 58.3%)	2.79 (66,283km ² , 60%)
		大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	11.84 (26,782km ² , 24.2%)	11.84 (27,618km ² , 25%)
		超大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	25.38 (19,271km ² , 17.5%)	25.38 (16,571km ² , 15%)
青森県東 部沖及び	面積 S (km ²)	40,959	—	
	すべり量	基本すべり域 (m) (面積及び面積比率)	2.79 (23,827km ² , 58.2%)	2.79 (24,575km ² , 60%)
		大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	11.84 (9,971km ² , 24.3%)	11.84 (10,240km ² , 25%)
		超大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	25.38 (7,161km ² , 17.5%)	25.38 (6,144km ² , 15%)
十勝沖・ 根室沖	面積 S (km ²)	69,513	—	
	すべり量	基本すべり域 (m) (面積及び面積比率)	2.79 (40,592km ² , 58.4%)	2.79 (41,708km ² , 60%)
		大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	11.84 (16,812km ² , 24.2%)	11.84 (17,378km ² , 25%)
		超大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	25.38 (12,109km ² , 17.4%)	25.38 (10,427km ² , 15%)

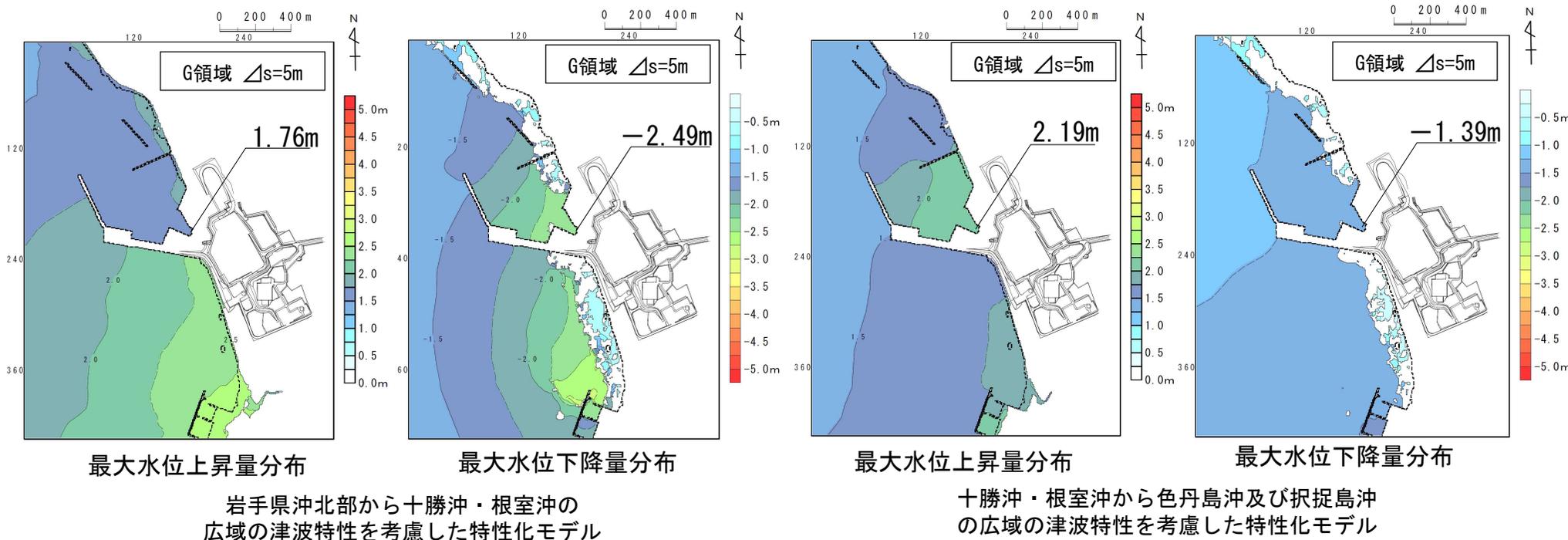
		十勝沖・根室沖から色丹島沖及び 根室沖の広域の津波特性を考慮した 特性化モデル 【モデル化後の値】	備考 【設計値】	
モーメントマグニチュード [*] Mw		9.21	9.20	
平均応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)		3.19	3.1	
剛性率 μ (N/m ²)		5.0×10^{10}	—	
地震モーメント M_0 (N・m)		8.15×10^{22}	7.92×10^{22}	
平均すべり量 D (m)		10.38	10.09	
波源全体	面積 S (km ²)	157,100	—	
	すべり量	基本すべり域 (m) (面積及び面積比率)	3.33 (92,651km ² , 59.0%)	3.33 (94,260km ² , 60%)
		大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	14.12 (38,911km ² , 24.8%)	14.12 (39,275km ² , 25%)
		超大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	30.26 (25,538km ² , 16.2%)	30.26 (23,565km ² , 15%)
十勝沖・ 根室沖	面積 S (km ²)	69,513	—	
	すべり量	基本すべり域 (m) (面積及び面積比率)	3.33 (40,592km ² , 58.4%)	3.33 (41,708km ² , 60%)
		大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	14.12 (16,812km ² , 24.2%)	14.12 (17,378km ² , 25%)
		超大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	30.26 (12,109km ² , 17.4%)	30.26 (10,427km ² , 15%)
色丹島 沖及び	面積 S (km ²)	87,587	—	
	すべり量	基本すべり域 (m) (面積及び面積比率)	3.33 (52,059km ² , 59.5%)	3.33 (52,552km ² , 60%)
		大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	14.12 (22,099km ² , 25.2%)	14.12 (21,897km ² , 25%)
		超大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	30.26 (13,429km ² , 15.3%)	30.26 (13,138km ² , 15%)

注: 各領域における面積比率は、その領域に対する面積比率を記載。

想定波源域の設定 (23/28) : 検討対象波源域の選定 (5/10)

超大すべり域が2つのモデル (3/4) : 検討結果

- 岩手県沖北部から十勝沖・根室沖, 十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の波源域について, 超大すべり域が2つのモデルを対象に大間原子力発電所への津波の影響を検討した結果, 以下のとおり, 上昇側は, 十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデルの影響が大きく, 下降側は, 岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデルの影響が大きい。



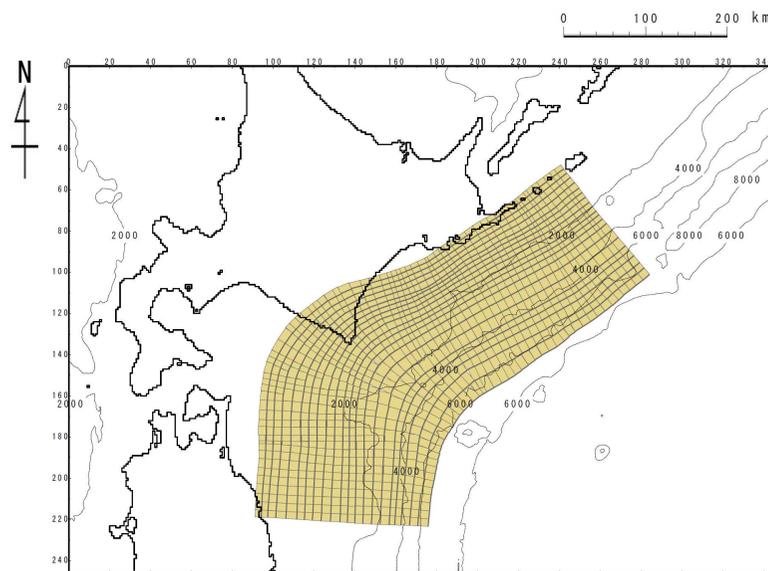
結果一覧

モデル	敷地における 最大水位上昇量	取水口スクリーン室前面に おける最大水位下降量
岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデル	1.76m	-2.49m
十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデル	2.19m	-1.39m

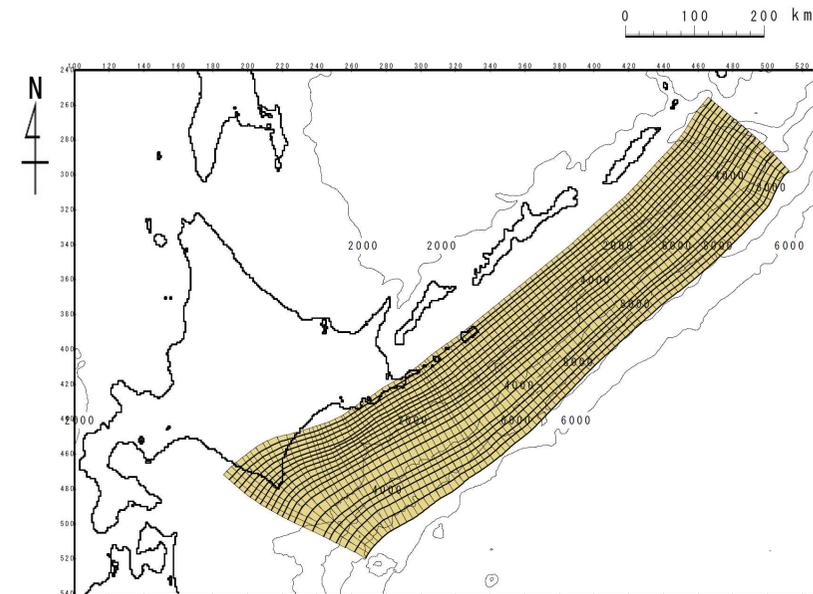
想定波源域の設定 (24/28) : 検討対象波源域の選定 (6/10)

超大すべり域が2つのモデル (4/4) : まとめ

岩手県沖北部から十勝沖・根室沖, 十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の波源域について, 超大すべり域が2つのモデルを対象に大間原子力発電所への津波の影響を検討した結果, 上昇側は, 十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデルの影響が大きく, 下降側は, 岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデルの影響が大きいことが確認された (P. 2. 3. 1-33) ことから, 超大すべり域が2つのモデルを対象とした基準波源モデルの想定波源域は, 岩手県沖北部から十勝沖・根室沖, 十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の双方とする。



岩手県沖北部から十勝沖・根室沖



十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖

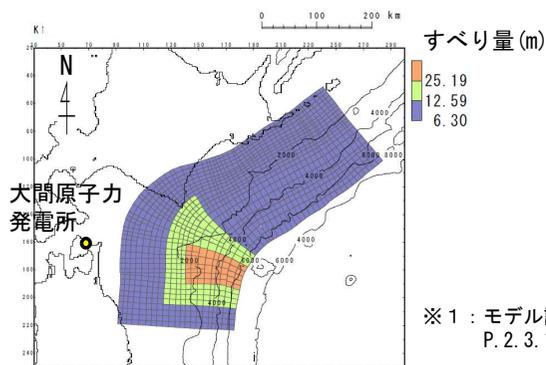
基準波源モデルの想定波源域
【超大すべり域が2つのモデル】



想定波源域の設定 (25/28) : 検討対象波源域の選定 (7/10)

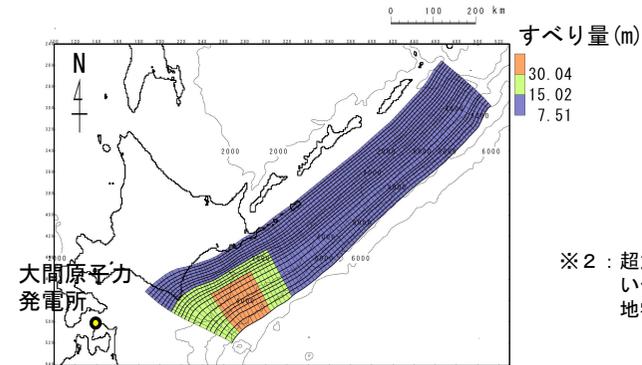
超大すべり域が1つのモデル (1/4) : 特性化モデル設定方針

- 検討対象波源域の選定に関する超大すべり域が1つのモデルを対象とした検討は、「岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の破壊特性を考慮した特性化モデル」及び十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖に、このモデルの設定の考え方を反映した特性化モデル「十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の破壊特性を考慮した特性化モデル」を比較することで実施した。



※1 : モデル設定の考え方は、P. 2. 3. 1-85~P. 2. 3. 1-91, P. 2. 3. 1-93参照

岩手県沖北部から青森県東方沖の破壊特性を考慮した特性化モデル※1



※2 : 超大すべり域の位置は、敷地に近い十勝沖・根室沖の地震学的、測地学的知見を踏まえて設定。

十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の破壊特性を考慮した特性化モデル※2

		岩手県沖北部から青森県東方沖の破壊特性を考慮した特性化モデル【モデル化後の値】	備考【設計値】
モーメントマグニチュード [*] Mw		9.04	9.04
面積 S (km ²)		110,472	—
平均応力降下量 Δσ (MPa)		3.05	3
剛性率 μ (N/m ²)		5.0 × 10 ¹⁰	—
地震モーメント Mo (N・m)		4.59 × 10 ²²	4.52 × 10 ²²
平均すべり量 D (m)		8.31	8.19
すべり量	基本すべり域 (m) (面積及び面積比率)	6.30 (87,732km ² , 79.4%)	6.30 (88,377km ² , 80%)
	大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	12.59 (16,438km ² , 14.9%)	12.59 (16,571km ² , 15%)
	超大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	25.19 (6,302km ² , 5.7%)	25.19 (5,524km ² , 5%)
ライズタイム τ (s)		60	—

		十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の破壊特性を考慮した特性化モデル【モデル化後の値】	備考【設計値】
モーメントマグニチュード [*] Mw		9.20	9.19
面積 S (km ²)		157,100	—
平均応力降下量 Δσ (MPa)		3.10	3
剛性率 μ (N/m ²)		5.0 × 10 ¹⁰	—
地震モーメント Mo (N・m)		7.93 × 10 ²²	7.67 × 10 ²²
平均すべり量 D (m)		10.10	9.76
すべり量	基本すべり域 (m) (面積及び面積比率)	7.51 (125,126km ² , 79.6%)	7.51 (125,680km ² , 80%)
	大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	15.02 (20,878km ² , 13.3%)	15.02 (23,565km ² , 15%)
	超大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	30.04 (11,096km ² , 7.1%)	30.04 (7,855km ² , 5%)
ライズタイム τ (s)		60	—



想定波源域の設定 (26/28) : 検討対象波源域の選定 (8/10)

超大すべり域が1つのモデル (2/4) : 特性化モデル詳細パラメータ

詳細パラメータ一覧

		岩手県沖北部から青森県東方沖の破壊特性を考慮した特性化モデル 【モデル化後の値】	備考 【設計値】	
モーメントマグニチュード [*] Mw		9.04	9.04	
平均応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)		3.05	3	
剛性率 μ (N/m ²)		5.0×10^{10}	—	
地震モーメント Mo (N・m)		4.59×10^{22}	4.52×10^{22}	
平均すべり量 D (m)		8.31	8.19	
波源全体	面積 S (km ²)	110,472	—	
	すべり量	基本すべり域 (m) (面積及び面積比率)	6.30 (87,732km ² , 79.4%)	6.30 (88,377km ² , 80%)
		大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	12.59 (16,438km ² , 14.9%)	12.59 (16,571km ² , 15%)
		超大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	25.19 (6,302km ² , 5.7%)	25.19 (5,524km ² , 5%)
青森県東方沖北部及び	面積 S (km ²)	40,959	—	
	すべり量	基本すべり域 (m) (面積及び面積比率)	6.30 (23,789km ² , 58.1%)	—
		大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	12.59 (10,868km ² , 26.5%)	—
		超大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	25.19 (6,302km ² , 15.4%)	—
十勝沖・根室沖	面積 S (km ²)	69,513	—	
	すべり量	基本すべり域 (m) (面積及び面積比率)	6.30 (63,943km ² , 92.0%)	—
		大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	12.59 (5,570km ² , 8.0%)	—
		超大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	25.19 (0km ² , 0.0%)	—

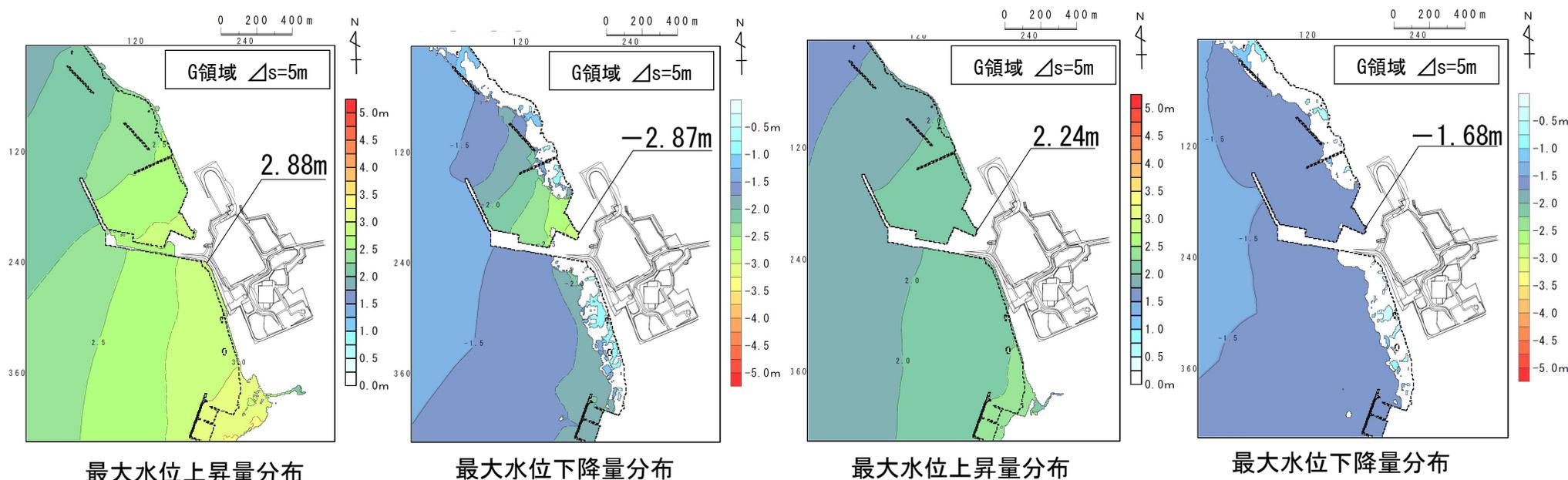
		十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の破壊特性を考慮した特性化モデル 【モデル化後の値】	備考 【設計値】	
モーメントマグニチュード [*] Mw		9.20	9.19	
平均応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)		3.10	3	
剛性率 μ (N/m ²)		5.0×10^{10}	—	
地震モーメント Mo (N・m)		7.93×10^{22}	7.67×10^{22}	
平均すべり量 D (m)		10.10	9.76	
波源全体	面積 S (km ²)	157,100	—	
	すべり量	基本すべり域 (m) (面積及び面積比率)	7.51 (125,126km ² , 79.6%)	7.51 (125,680km ² , 80%)
		大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	15.02 (20,878km ² , 13.3%)	15.02 (23,565km ² , 15%)
		超大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	30.04 (11,096km ² , 7.1%)	30.04 (7,855km ² , 5%)
十勝沖・根室沖	面積 S (km ²)	69,513	—	
	すべり量	基本すべり域 (m) (面積及び面積比率)	7.51 (37,539km ² , 54.0%)	—
		大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	15.02 (20,878km ² , 30.0%)	—
		超大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	30.04 (11,096km ² , 16.0%)	—
色丹島沖及び択捉島沖	面積 S (km ²)	87,587	—	
	すべり量	基本すべり域 (m) (面積及び面積比率)	7.51 (87,587km ² , 100.0%)	—
		大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	15.02 (0km ² , 0.0%)	—
		超大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	30.04 (0km ² , 0.0%)	—

注: 波源全体として大すべり域及び超大すべり域を設定したため、設計値は波源全体として記載した。
モデル化後の値は、青森県東方沖及び岩手県沖北部、十勝沖・根室沖、色丹島沖及び択捉島沖とに分けて記載した。

想定波源域の設定 (27/28) : 検討対象波源域の選定 (9/10)

超大すべり域が1つのモデル (3/4) : 検討結果

- 岩手県沖北部から十勝沖・根室沖，十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の波源域について，超大すべり域が1つのモデルを対象に大間原子力発電所への津波の影響を検討した結果，以下のとおり，上昇側・下降側共，岩手県沖北部から青森県東方沖の破壊特性を考慮した特性化モデルの影響が大きい。



結果一覧

モデル	敷地における最大水位上昇量	取水口スクリーン室前面における最大水位下降量
岩手県沖北部から青森県東方沖の破壊特性を考慮した特性化モデル	2.88m	-2.87m
十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の破壊特性を考慮した特性化モデル	2.24m	-1.68m

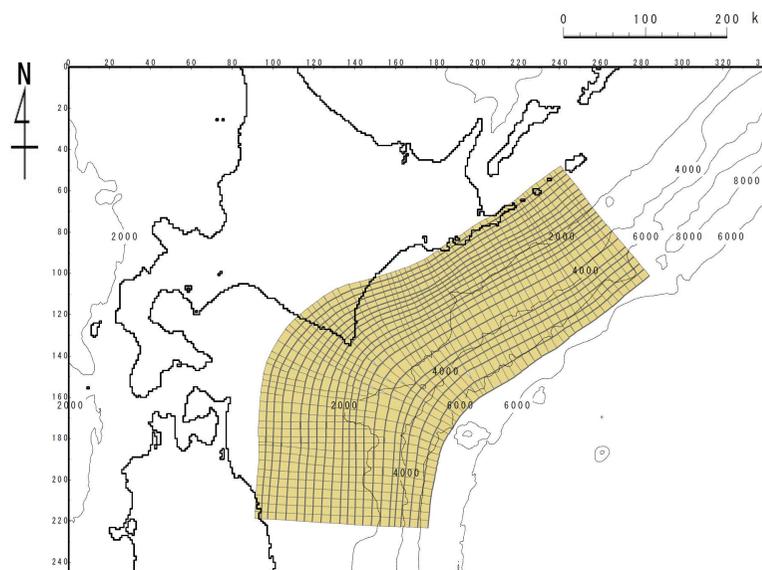
想定波源域の設定 (28/28) : 検討対象波源域の選定 (10/10)

第949回審査会合

資料2-1 P. 2. 3. 1-29再掲

超大すべり域が1つのモデル (4/4) : まとめ

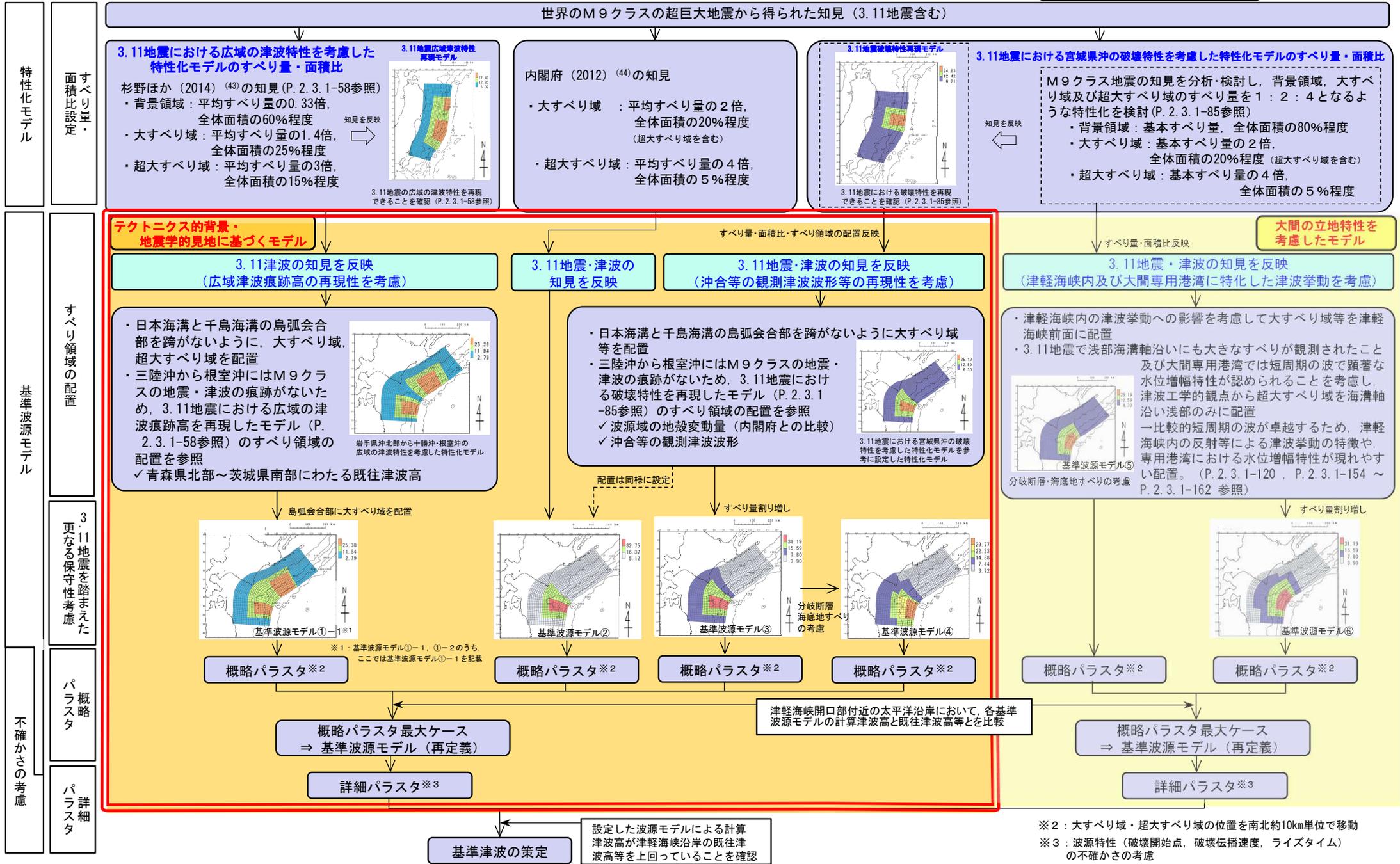
岩手県沖北部から十勝沖・根室沖，十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の波源域について，超大すべり域が1つのモデルを対象に大間原子力発電所への津波の影響を検討した結果，上昇側・下降側共，岩手県沖北部から青森県東方沖の破壊特性を考慮した特性化モデルの影響が大きいことが確認された (P. 2. 3. 1-37) ことから，超大すべり域が1つのモデルを対象とした基準波源モデルの想定波源域は，岩手県沖北部から十勝沖・根室沖とする。



岩手県沖北部から十勝沖・根室沖

基準波源モデルの想定波源域
【超大すべり域が1つのモデル】

3. 11地震・津波の再現性等を考慮した基準波源モデルの検討



特性化モデルの検討

基本方針&反映すべき3.11地震・津波等の知見

【基本方針】

- 基準波源モデルの設定に先立ち、3.11地震及び津波等から得られた以下の知見を踏まえて特性化モデルを設定する※。

【3.11地震・津波等の知見】

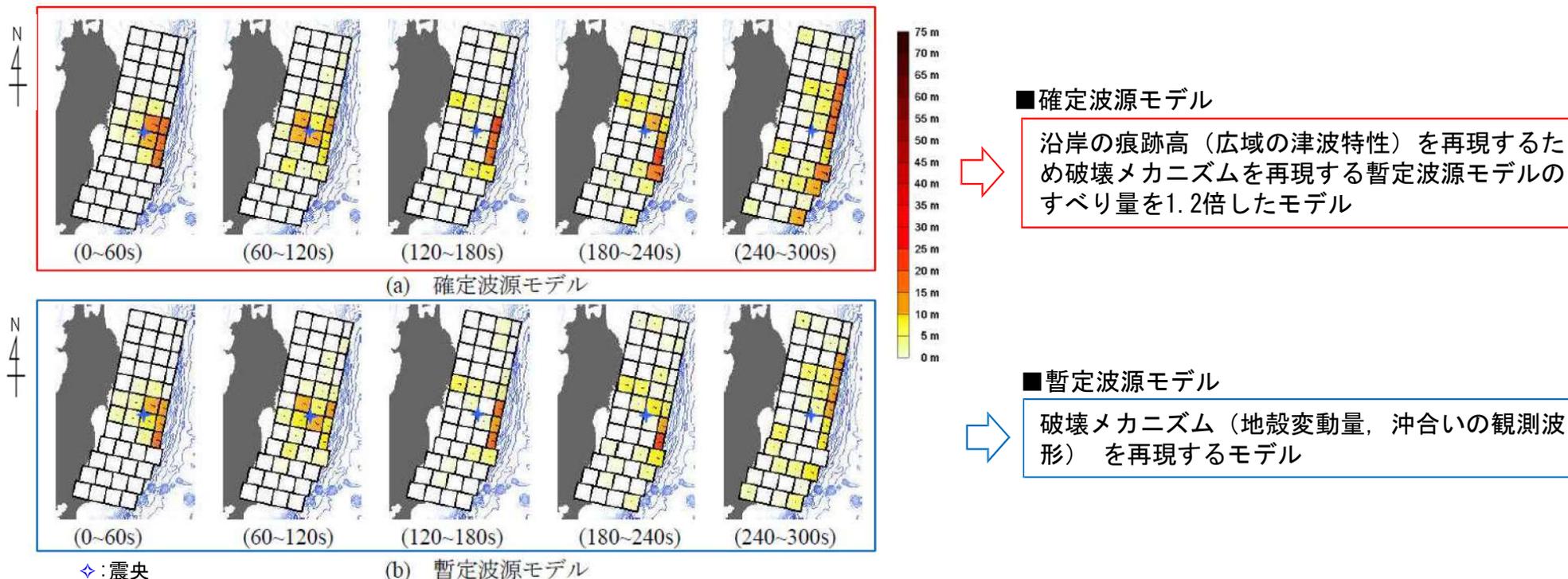
- 3.11地震及び津波の杉野ほか(2013)⁽⁶⁷⁾等による再現モデルから得られた知見を整理した結果(P.2.3.1-41~P.2.3.1-43参照)、3.11地震の地震特性を再現するモデル(震源断層モデル)、津波特性を再現するモデル(津波波源モデル)の比較等から、特性化モデルの設定にあたって反映が必要な知見として、以下2点が挙げられる。
 - i. 地震特性(=破壊メカニズム)を再現するモデルと、津波特性(=広域沿岸部の痕跡高)を再現するモデルは異なる。(P.2.3.1-41参照)
杉野ほか(2013)⁽⁶⁷⁾による
 - ii. 広域に亘って、時間的・空間的に複雑なすべり分布の不均一性が見られたが、沿岸の津波高さに大きな影響を及ぼしたのは、正対する海域で生じた大きなすべり領域である。(P.2.3.1-42, P.2.3.1-43参照)
Satake et al. (2013)⁽⁶⁸⁾, 杉野ほか(2013)⁽⁶⁷⁾による
- 三陸沖から十勝沖・根室沖等のプレート間地震に係る特性化モデルの検討に資する地震学的知見等が得られている。

⇒特性化モデルの設定には、これらの知見を反映する。

※広域の津波特性を考慮した検討については、岩手県沖北部から十勝沖・根室沖に加えて、十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖も想定波源域とするが、特性化モデルの設定にあたっては、敷地に近く、参照できる知見が多い岩手県沖北部から十勝沖・根室沖を対象として検討を実施し、十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の特性化モデルは、これらの知見を参考に保守的観点を加味して設定することとした。(P.2.3.1-66参照)

特性化モデルの検討：3.11地震・津波の知見 i

- 杉野ほか (2013) ⁽⁶⁷⁾ では、沿岸の痕跡高 (広域の津波特性) を再現するモデル (=確定波源モデル) と3.11地震の破壊メカニズム (地震特性) が現れる沖合いの観測波形及び観測地殻変動量をターゲットとしたインバージョン解析により求められたモデル (=暫定波源モデル) とを得ており、前者のモデルのすべり量は後者のモデルのすべり量の1.2倍とされている。
- 杉野ほか (2013) ⁽⁶⁷⁾ では、両者のモデルの意義を以下のとおり整理されている。
 - 確定波源モデルは、波源想定等の工学的側面において意義がある。
 - 暫定波源モデルは、実現象に近い破壊メカニズムを表していると考えられ、理学的側面において意義がある。
 - 理学・工学の両方の観点から全ての現象 (プレート境界の破壊、津波伝播、津波遡上) を共通のモデルでより良く説明・再現できることが理想であるが、両モデルの差を埋めるのは、今後検討すべき課題である。

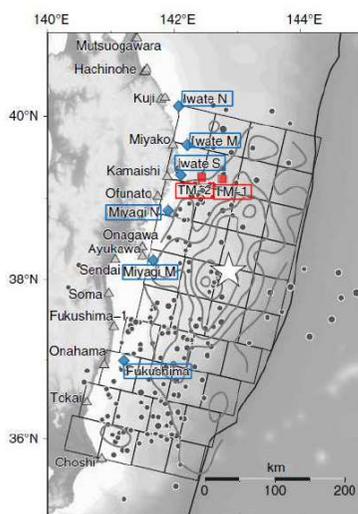


3.11地震を再現する津波波源モデルのすべり分布の経時変化
杉野ほか (2013) ⁽⁶⁷⁾ に一部加筆

特性化モデルの検討 : 3.11地震・津波の知見 ii (1/2)

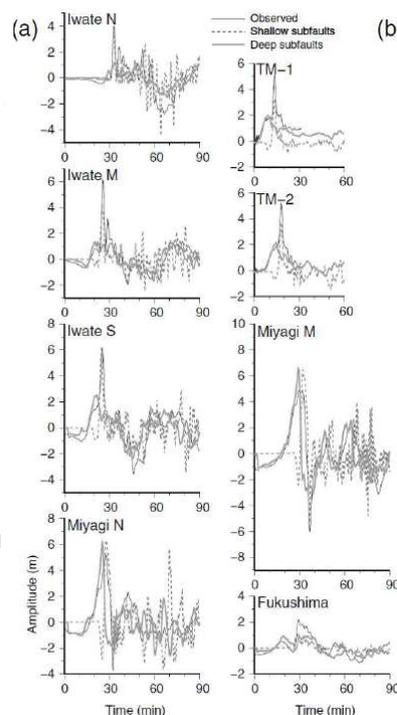
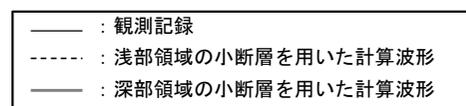
- 津波波形インバージョン解析から推定された断層モデルを用いて、宮城県沿岸、三陸沿岸の津波高さに寄与したすべり領域の分析を実施し、宮城県沿岸の津波高さに寄与したすべり領域は、869年貞観地震に伴う津波の発生領域であり、三陸沿岸の津波高さに寄与したすべり領域は、1896年明治三陸地震津波の発生領域であったとされている。

Satake et al. (2013)⁽⁶⁸⁾による

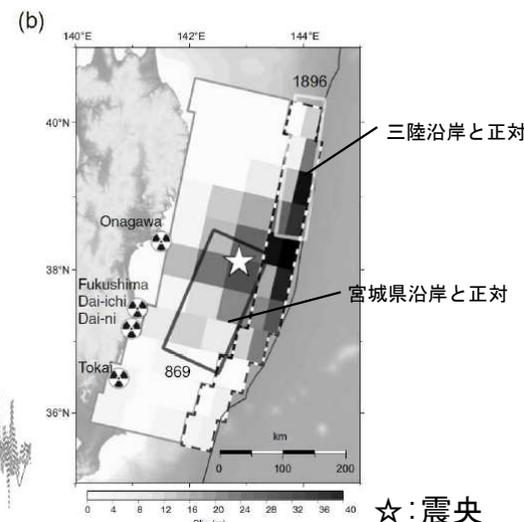


Aftershocks within one day located by JMA (solid circles) and the locations of OBP gauges (squares), GPS wave gauges (diamonds), and coastal tide or wave gauges (triangles)

津波波形の比較位置



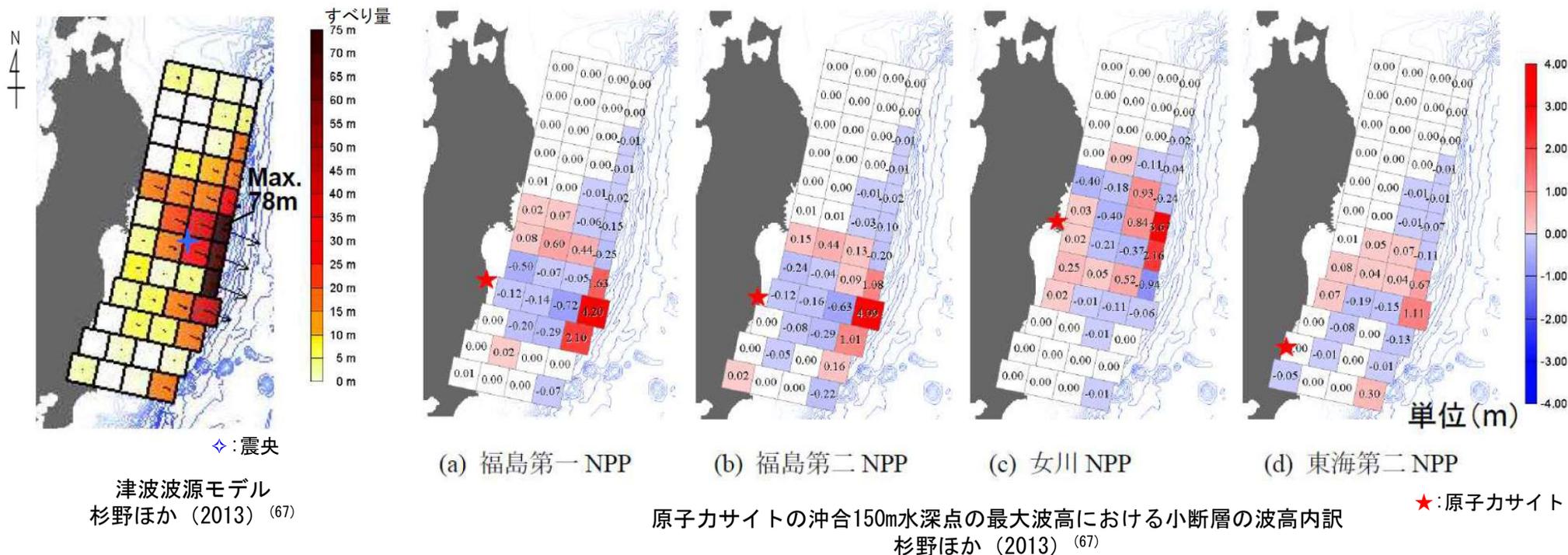
観測波形と計算波形の比較
3.11地震に伴う津波特性の分析
Satake et al. (2013)⁽⁶⁸⁾に一部加筆



3.11地震に伴う津波と
既往津波発生領域の比較

特性化モデルの検討：3.11地震・津波の知見 ii (2/2)

- 杉野ほか (2013) ⁽⁶⁷⁾ は、観測津波波形、観測地殻変動データ等を用いたジョイントインバージョン解析から推定された津波波源モデルを用いて、原子力サイト沖合150m水深点の最大津波高に寄与した3.11地震のすべり領域の分析を実施し、各サイトの津波高さに寄与したすべり領域は、ほぼ正対する海域のすべり領域であったことを示している。



特性化モデルの検討： 3.11地震・津波等の知見の反映方針

- 特性化モデルの設定には、以下の知見を反映する。

【地震調査研究推進本部， 内閣府等の知見の反映】

- ✓ プレート境界面の形状， 剛性率， すべり角， ライズタイム (P. 2. 3. 1-45~P. 2. 3. 1-50)

【杉野ほか (2013) 等の知見の反映】

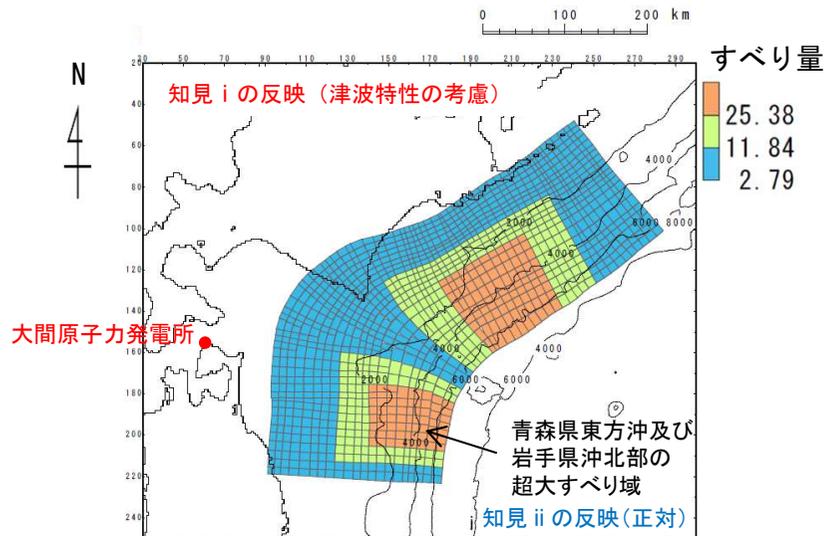
✓ 知見 i の反映

次の2つのモデルを基本として設定する。

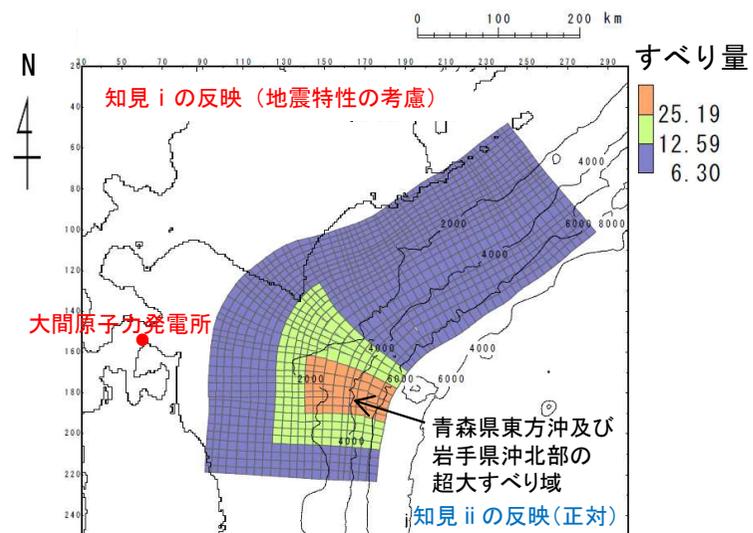
- 津波特性の考慮： 広域の津波特性 (沿岸部の痕跡高) を考慮した特性化モデル (P. 2. 3. 1-58~P. 2. 3. 1-66)
- 地震特性の考慮： 大すべり域 (アスペリティ， 固着等) の破壊特性を考慮した特性化モデル (P. 2. 3. 1-85~P. 2. 3. 1-88)

✓ 知見 ii の反映

青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域は， 津軽海峡開口部前面とほぼ正対し， 津軽海峡内に位置する発電所の津波高さに与える影響が大きいことを踏まえて設定する。



岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の
広域の津波特性を考慮した特性化モデル
(P. 2. 3. 1-65)



3.11地震における宮城県沖の破壊
特性を考慮した特性化モデルを参
考に設定した特性化モデル
(P. 2. 3. 1-93)

特性化モデルの検討：波源因子 (1/6)

プレート境界面形状 (プレート間地震の下限深さ)

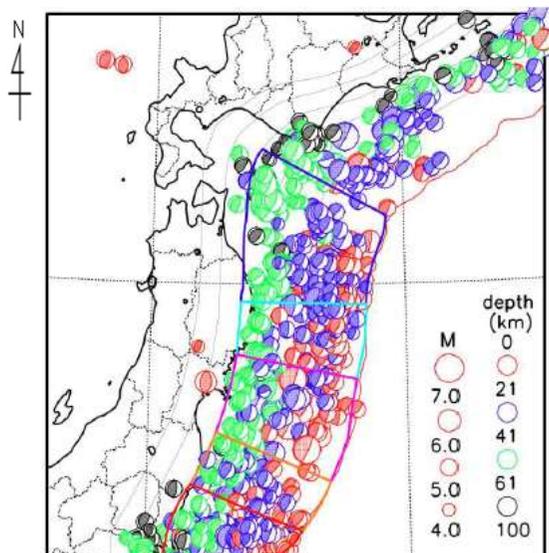


図4-2 プレート境界付近の低角逆断層型地震の分布 (気象庁資料)

震源データとして Global CMT を用いた。1977年1月から2016年7月までの地震について、太平洋プレート上面深さ±10kmの範囲で発生したものをプロットした。赤線は海溝軸、灰色線は横田・他(2017)による太平洋プレート上面の等深線(20km間隔)

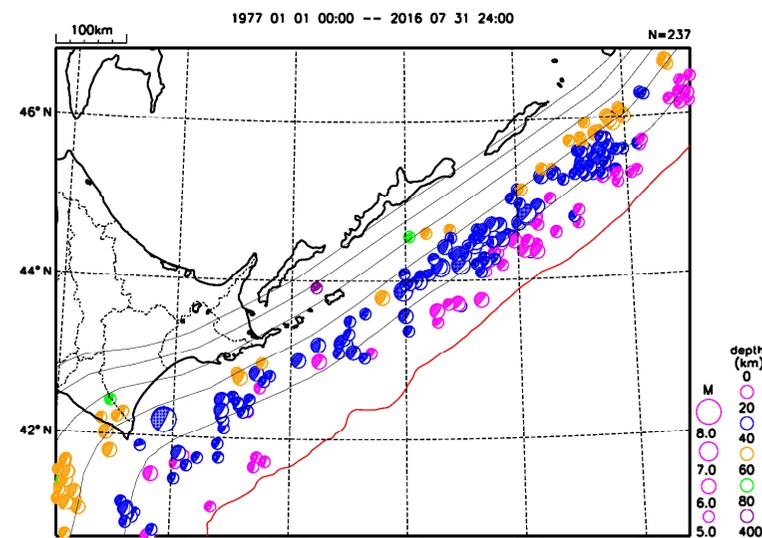


図4-1 プレート境界付近の低角逆断層型地震の分布。1977年1月から2016年7月までのMw5.0以上の地震について、太平洋プレートの上面深度から±10kmの範囲で発生したものをプロットした。震源球のサイズはM、色は震源の深さを表す。赤線は海溝軸、黒線は太平洋プレート上面の等深線(20km間隔)を示す。使用したプレートモデルは横田・他(2017)による(気象庁作成)。

低角逆断層型地震の分布 (1977年~2016年)

地震調査研究推進本部 (2019) (41)

地震調査研究推進本部 (2017) (42)

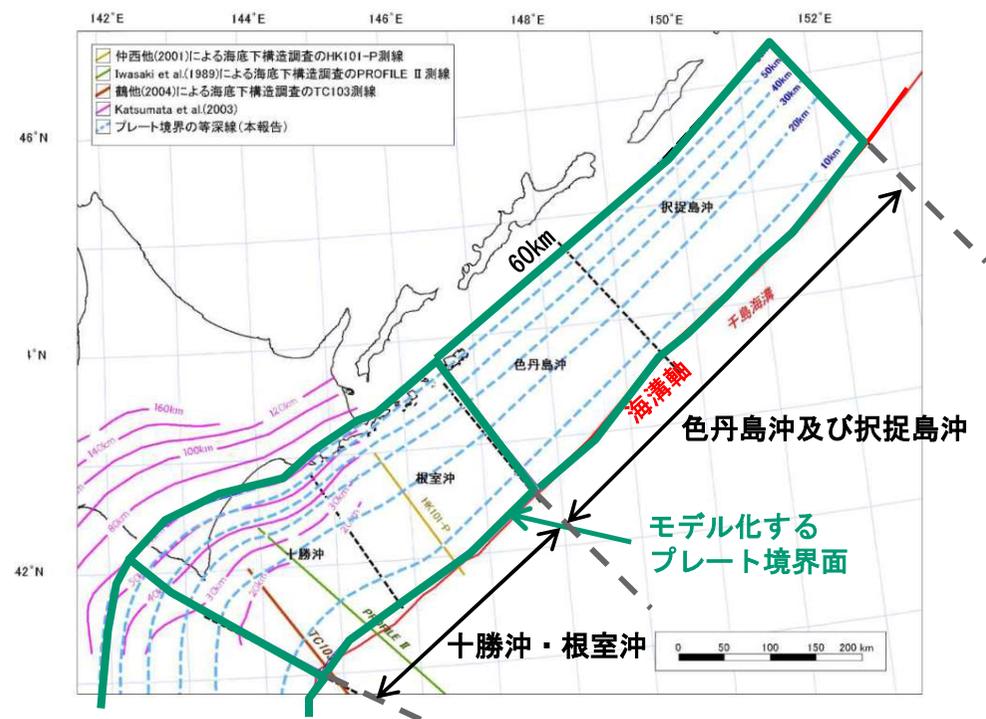
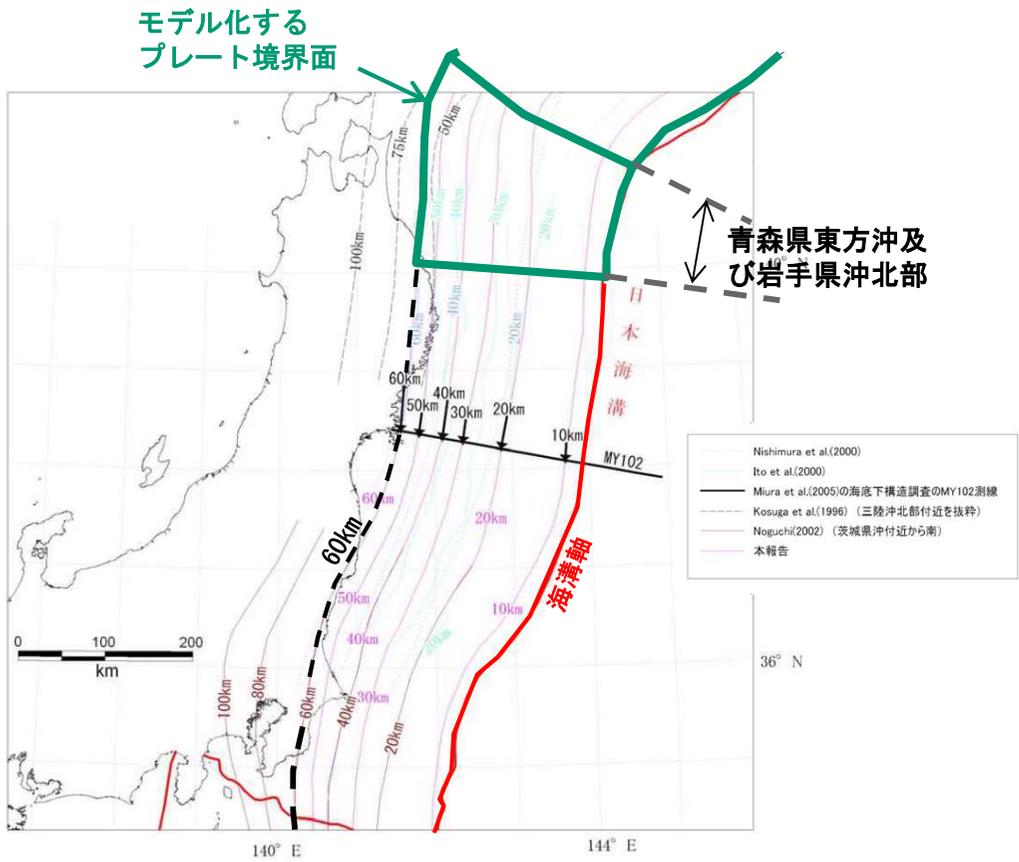
- 地震調査研究推進本部(2017, 2019) (42), (41) では、「深さ60km以深で発生した低角逆断層地震がわずかであるとの知見に基づき、プレート間地震が60kmより深い場所で発生する可能性は低いと考え、太平洋プレート上面の深さ60kmの等深線を深さ下限の境界」とされている。

以上から、三陸沖~択捉島沖のプレート間地震の下限深さは60km程度と考えられる。

特性化モデルの検討： 波源因子 (2/6)

第949回審査会合
資料2-1 P. 2. 3. 1-31一部修正

プレート境界面形状，断層面積の設定



微小地震の震源分布に基づくプレート境界面の推定等深線（三陸沖～房総沖）
地震調査研究推進本部（2012）⁽⁴⁶⁾に一部加筆

微小地震の震源分布に基づくプレート境界面の推定等深線（十勝沖～根室沖）
地震調査研究推進本部（2004）⁽⁴⁵⁾に一部加筆

- ・ 地震調査研究推進本部（2004，2012）⁽⁴⁵⁾，⁽⁴⁶⁾が示している微小地震の震源分布に基づくプレート境界面の推定等深線をプレート境界面の形状として，地震発生域の深さの下限（60km）から海溝軸までを波源域として考慮した。
- ・ これを基にモデル化し，断層面積を算出・設定した。

特性化モデルの検討：波源因子 (3/6)

第949回審査会合
資料2-1 P. 2. 3. 1-33一部修正

剛性率の設定 (1/2)

- 土木学会 (2016) ⁽³⁾ では、「地震波速度や密度に関する既往研究に基づき、海域毎に標準値が設定されており、断層全体が深さ20km以浅と以深にまたがって存在する場合の剛性率は $5.0 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ 」とされている。

震源付近の媒質の剛性率の標準値

海 域	根 拠	剛性率
<ul style="list-style-type: none"> ・西南日本陸側プレート内 ・日本海東縁部 ・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) 	$V_p=6.0\text{km/s}$ $V_p/V_s=1.6\sim 1.7$ $\rho=2.7\sim 2.8\text{g/cm}^3$ 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"> ・海洋プレート内 ・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) 	$V_p=8.0\sim 8.1\text{km/s}$ $V_p/V_s=1.75\sim 1.80$ $\rho=3.2\sim 3.5\text{g/cm}^3$ 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"> ・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) 	浅部と深部の中間的値とする。	$5.0 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ $(5.0 \times 10^{11} \text{dyne/cm}^2)$

特性化モデルの検討：波源因子 (4/6)

剛性率の設定 (2/2)

- 地震調査研究推進本部 (2017b) ⁽⁶⁹⁾ 「津波レシピ」では、「全国1次地下構造モデル (暫定版) (地震調査委員会, 2012) の物性に基づく日本周辺のプレート境界周辺の媒質の剛性率を記載しており、断層全体が深さ20km以浅と以深にまたがって存在する場合の剛性率は $5.0 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ 」とされている。

前ページ及び以上から、想定した波源域は深さ20km以浅の浅部と以深の深部とを跨ぐことより、剛性率は $5.0 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ と設定した。

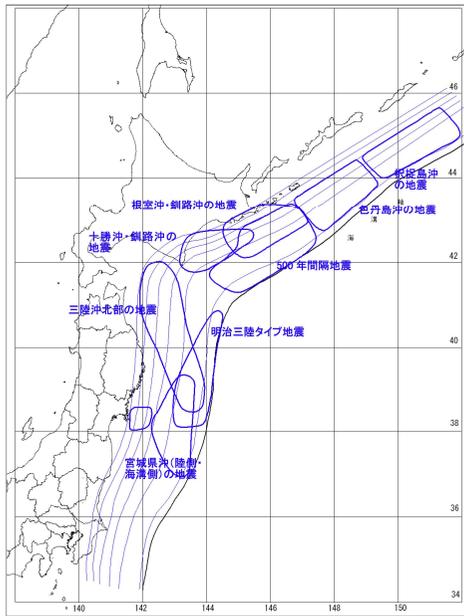
日本周辺のプレート境界周辺の媒質の剛性率

深さ (土木学会, 2016 の分類を参考)	全国1次地下構造モデル (暫定版) の物性値	剛性率
断層面全体が深さ20km以浅に存在する場合	上部地殻の物性値 $\beta = 3.4 \text{ km/s}$ $\rho = 2.7 \text{ g/cm}^3$ $\Rightarrow \mu = 3.12 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ 下部地殻の物性値 $\beta = 3.8 \text{ km/s}$ $\rho = 2.8 \text{ g/cm}^3$ $\Rightarrow \mu = 4.04 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ この中間的値とする。	$3.5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
断層面全体が深さ20km以深に存在する場合	マントルの物性値 $\beta = 4.5 \text{ km/s}$ $\rho = 3.2 \text{ g/cm}^3$ $\Rightarrow \mu = 6.48 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$	$6.5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
断層面全体が深さ20km以浅と以深にまたがって存在する場合	上記の中間的な値とする。	$5.0 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$

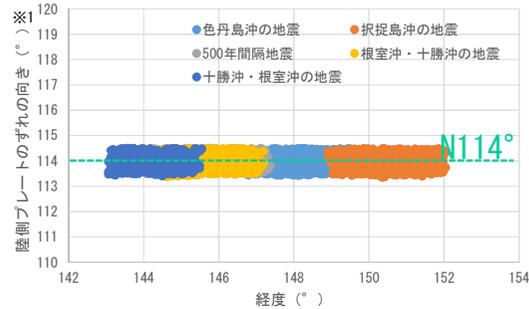


特性化モデルの検討： 波源因子 (5/6)

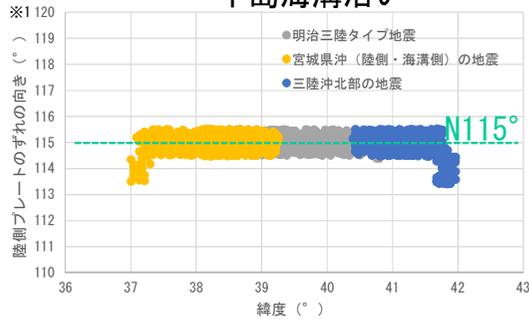
すべり角の設定



津波を発生させる断層領域 (津波の断層域) の模式図
中央防災会議 (2006) (47)

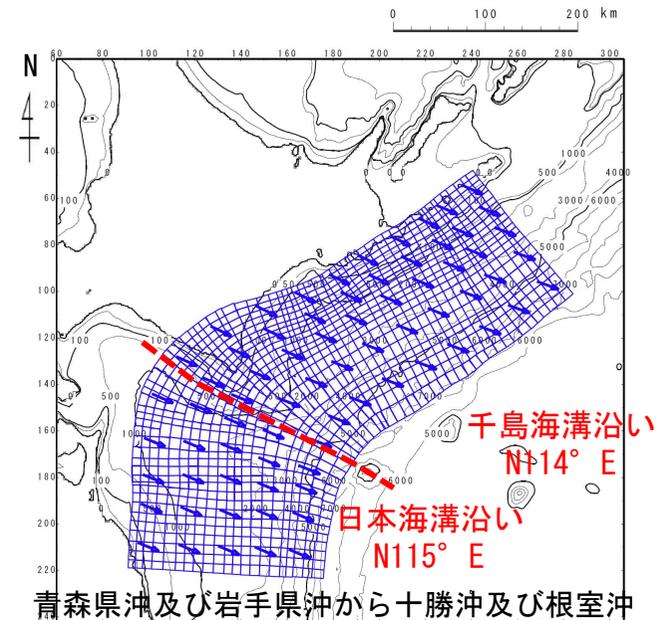
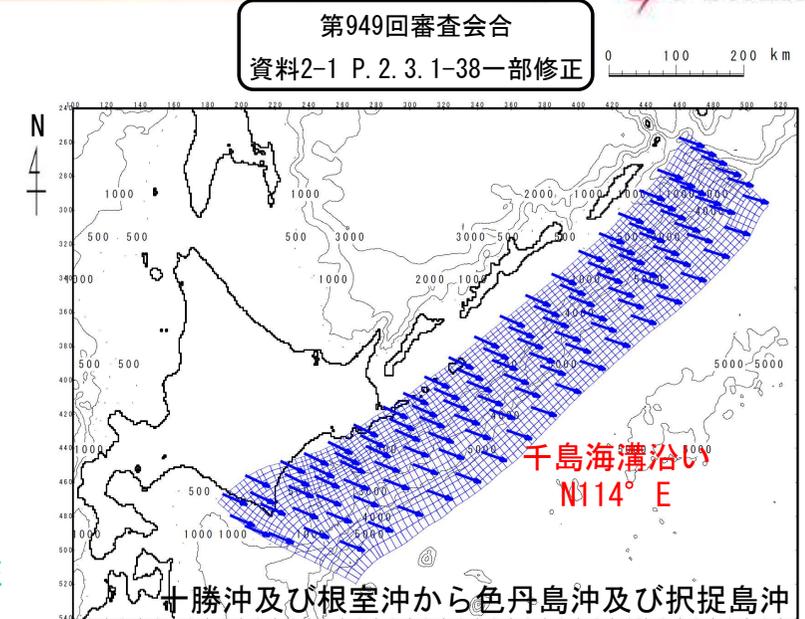


千島海溝沿い



日本海溝沿い

各断層モデルの陸側プレート (北米プレート) のずれの向きの分布
中央防災会議 (2006) (47) のデータを使用
※1: 縦軸の角度は北から時計周り



基準波源モデル設定で考慮する
陸側プレートへのずれの向き ※2

※2: ずれの方向ベクトルは40km~60km間隔程度で表示

- 中央防災会議 (2006) (47) では、日本海溝、千島海溝沿いの大きな地震 (M7程度以上) について、インバージョン手法によって波源モデルを設定しており、各波源モデルのすべり角はGPS観測によるプレート相対運動方向 (陸側プレートのずれの向き: 千島海溝沿いN114° E, 日本海溝沿いN115° E) と整合するように設定されている。

以上から、千島海溝沿い及び日本海溝沿いの陸側プレート (北米プレート) のずれの向きを、それぞれN114° E及びN115° Eに設定した。

基準波源モデルの各要素のすべり角は、プレートの傾斜に応じて、陸側のプレートのずれの向きと整合するように設定した。

特性化モデルの検討：波源因子 (6/6)

第949回審査会合

資料2-1 P. 2. 3. 1-39再掲

ライズタイムの設定

- ・ 内閣府(2012)⁽⁴⁴⁾を参考に、ライズタイムは60秒間を基本とした。

○破壊伝播速度及びライズタイム：

破壊伝播速度及びライズタイムについては、平均的に利用されている値を参考に、東北地方太平洋沖地震の解析結果も踏まえ、次のとおりに設定する。なお、東北地方太平洋沖地震では、海溝沿いの破壊伝播速度は、それよりも深い場所に比べ遅いとの解析結果もあるが、トラフ沿いの領域の幅が狭く、5秒程度の差しか見込めないことから、今回の解析では、破壊速度は全域で同じとする。

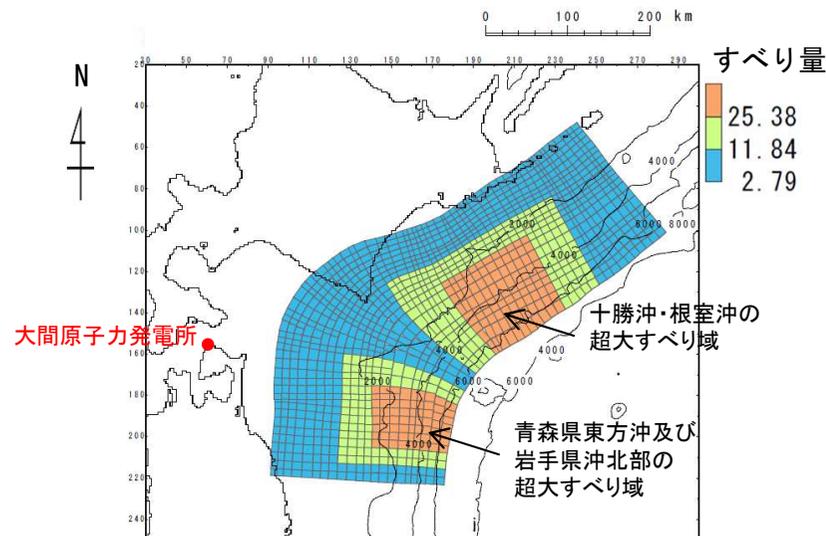
破壊速度 : 2.5km/s

ライズタイム : 1分

広域の津波特性を考慮した特性化モデルの超大すべり域の配置 (1/7)

基本方針

- 岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定に係り、同海域では過去に「岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の連動型地震」が発生した記録が無いことから、まず、同領域でM9クラスの巨大地震が発生した場合の津波の影響範囲と超大すべり域の配置の関係を整理するため、
 - ✓「3.11地震に伴う津波の影響範囲と超大すべり域位置の関係」 (P. 2.3.1-52参照)
 - ✓「岩手県沖北部から根室沖で確認されている津波堆積物及びそれを再現する津波波源」
(P. 2.3.1-53~P. 2.3.1-55参照)
- に関する知見を収集し、超大すべり域の配置を検討する (P. 2.3.1-57参照)。



岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の
広域の津波特性を考慮した特性化モデル

広域の津波特性を考慮した特性化モデルの超大すべり域の配置 (2/7)

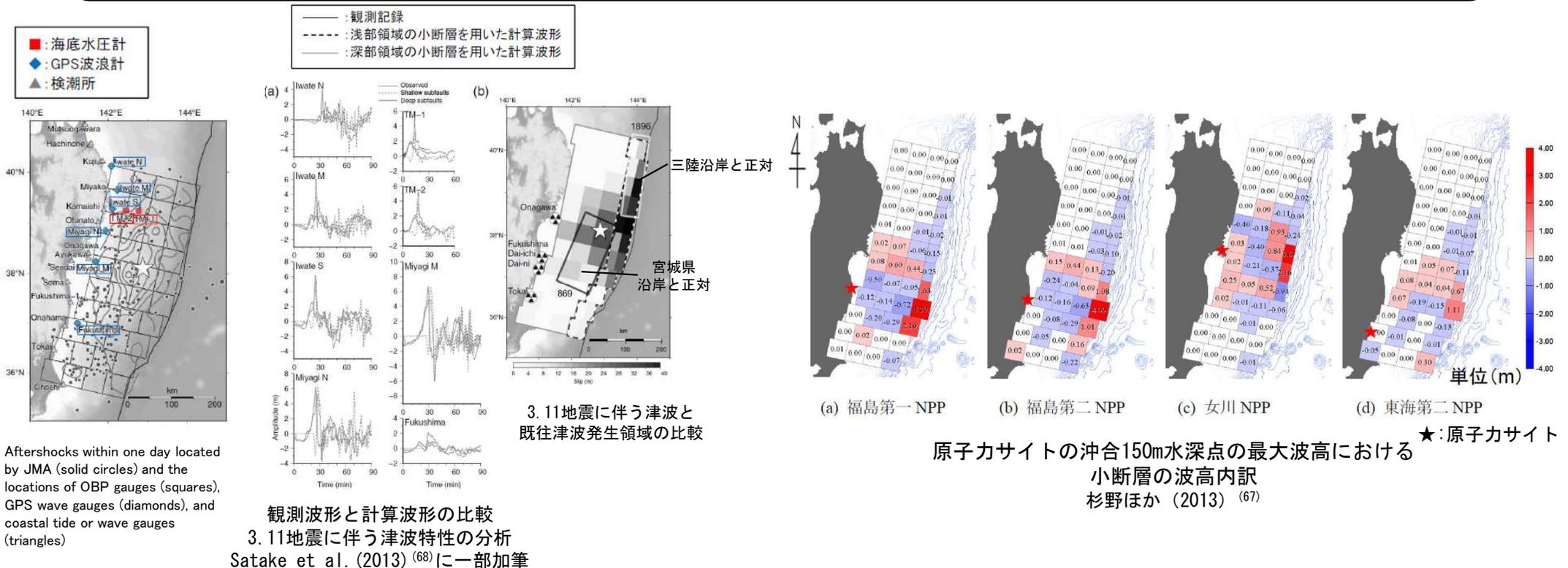
3.11地震に伴う津波の影響範囲と超大すべり域位置の関係

- 津波波形インバージョン解析から推定された断層モデルを用いて、宮城県沿岸、三陸沿岸の津波高さに寄与したすべり領域の分析を実施し、宮城県沿岸の津波高さに寄与したすべり領域は、869年貞観地震に伴う津波の発生領域であり、三陸沿岸の津波高さに寄与したすべり領域は、1896年明治三陸地震津波の発生領域であったとされている。

Satake et al. (2013) (68)による

- 杉野ほか (2013) (67)は、観測津波波形、観測地殻変動データ等を用いたジョイントインバージョン解析から推定された津波波源モデルを用いて、原子力サイト沖合150m水深点の最大津波高に寄与した3.11地震のすべり領域の分析を実施し、各サイトの津波高さに寄与したすべり領域は、ほぼ正対する海域のすべり領域であったことを示している。

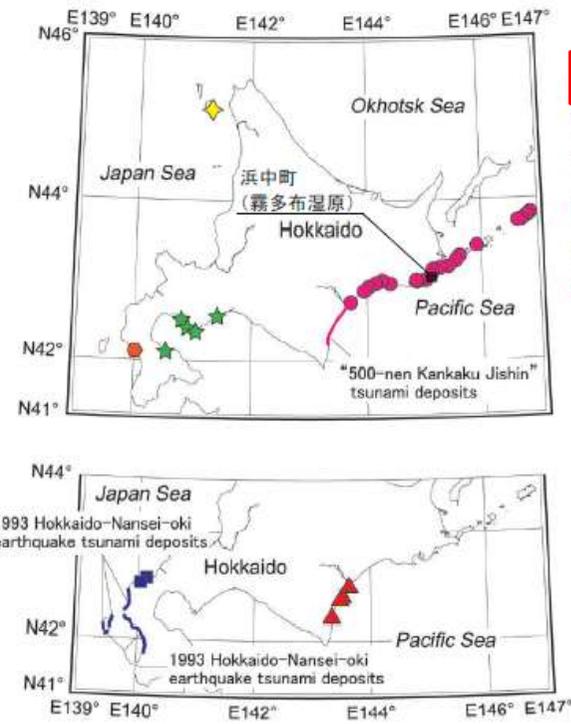
以上から、3.11地震に伴う津波の沿岸の津波高さに影響を及ぼすすべり領域は、正対する海域で生じる大きなすべり領域であると考えられる。



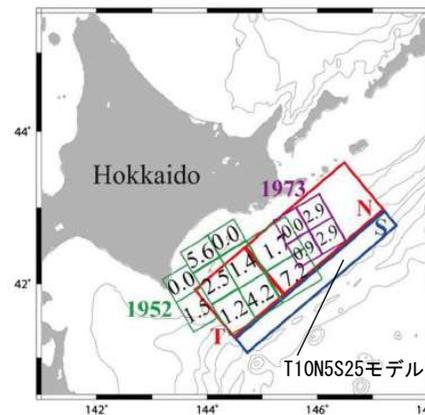
広域の津波特性を考慮した特性化モデルの超大すべり域の配置 (3/7)

17世紀に発生した超巨大地震に伴う津波の津波堆積物及び再現モデル (十勝沖・根室沖)

- 17世紀の津波 (500年間隔地震津波) の津波堆積物分布を説明する断層モデルは複数提案されているが、地震調査研究推進本部 (2017a) ⁽⁴²⁾, 佐竹 (2017) ⁽⁷⁰⁾ は、津波堆積物の平面的な分布及び十勝海岸の津波高さを再現する波源モデルは、Ioki and Tanioka (2016) ⁽⁷¹⁾ が提案するプレート間地震と津波地震の連動を考慮した波源モデル (T10N5S25モデル) であるとしている。



北海道沿岸における津波堆積物の分布
清水 (2013) ⁽⁷²⁾ に一部加筆



17世紀に発生した超巨大地震に伴う津波の再現モデル (Ioki and Tanioka (2016) ⁽⁷¹⁾ によるT10N5S25モデル)
地震調査研究推進本部 (2017a) ⁽⁴²⁾ に一部加筆

17世紀に発生した超巨大地震に伴う津波の再現モデルの断層パラメータ
Ioki and Tanioka (2016) ⁽⁷¹⁾

Table 1
Fault models and their parameters of the 17th century great earthquake.

Fault model	Length (km)	Width (km)	Depth (km)	Strike (deg)	Dip (deg)	Rake (deg)	Slip (m)
T	100	100	14	228	15	90	10
N	200	100	14	228	15	90	5
S	300	30	6.7	228	15	90	0-35

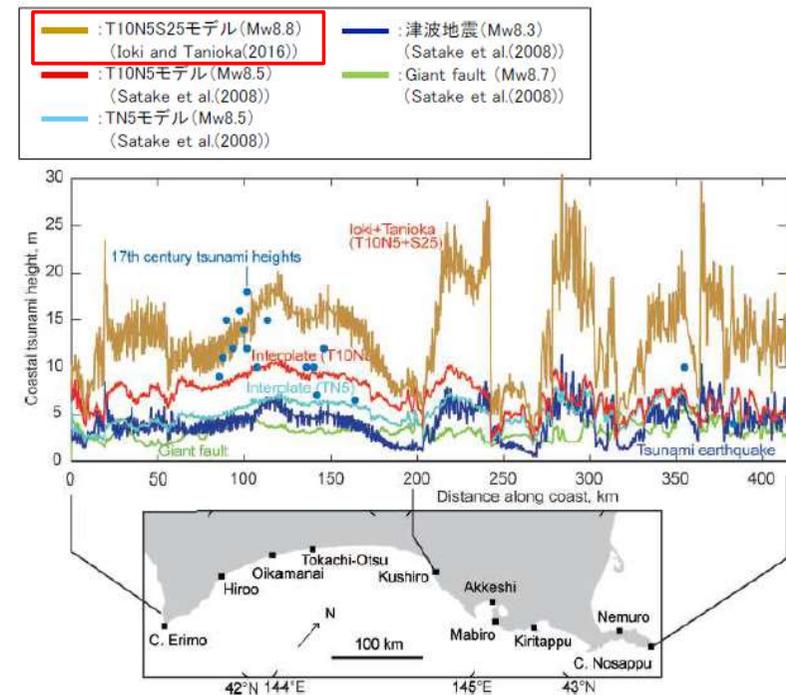


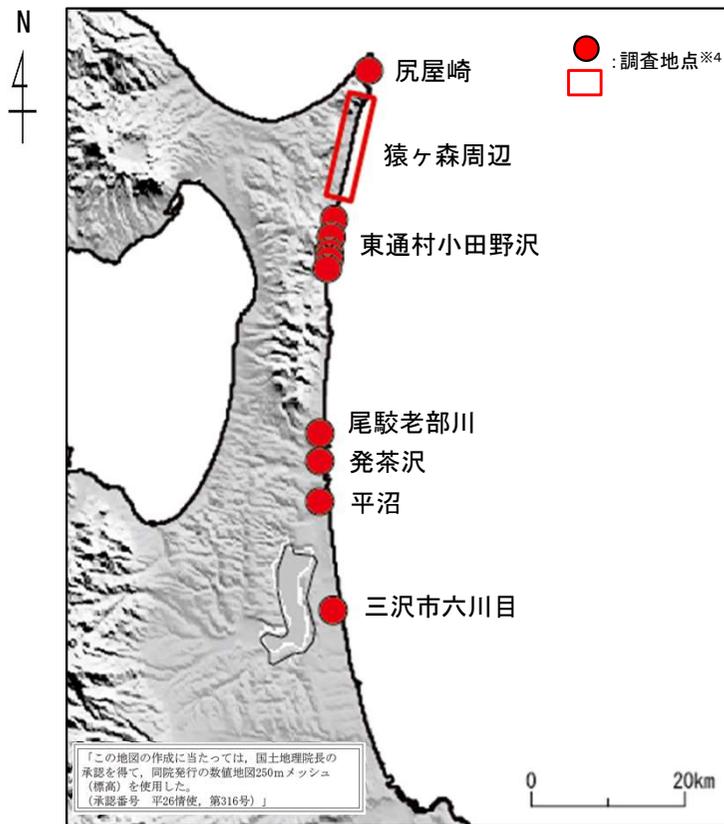
Fig. 12. Tsunami heights along the Pacific coast of Hokkaido (Satake et al. 2008; Ioki and Tanioka, 2016) from combined model of interplate and tsunami earthquakes (brown), giant fault (green), interplate earthquakes (red for T10N5, light blue for TN5) and tsunami earthquake model (dark blue). Coastal tsunami heights by Hirakawa et al. (2000) are also shown.

既往再現モデルによる北海道南東部沿岸での津波高さ
佐竹 (2017) ⁽⁷⁰⁾ に一部加筆

広域の津波特性を考慮した特性化モデルの超大すべり域の配置 (4/7)

青森県北部太平洋沿岸の津波堆積物 (イベント堆積物)

- 文献調査結果によると、青森県北部太平洋沿岸を対象に実施された津波堆積物調査により、広範囲にわたり、津波起因の可能性のあるイベント堆積物が確認されている。



津波堆積物調査結果 (文献調査)

青森県北部太平洋沿岸で確認された津波起因の可能性のあるイベント堆積物

調査地点		イベント堆積物		
		有無	基底標高(T.P.)	
尻屋崎		有	約8.1m ^{※1}	
猿ヶ森周辺		有	約6.8m~約11.8m ^{※1, 2}	
東通村 小田野沢	小田野沢	有	約4m ^{※3}	
	東京電力敷地内	有	約7.4m ^{※3}	
	東北電力敷地内	A測線	有	約6.1m ^{※3}
		B測線	人工改変	/
		C測線	有	約8.6m ^{※3}
D測線	有	約8.4m ^{※3}		
尾駈老部川		有	約1.9m ^{※3}	
発茶沢		有	約6.2m ^{※3}	
平沼		有	約1.6m ^{※3}	
三沢市六川目		有	約2.5m ^{※3}	

※1: 高橋ほか(2018)⁽⁷³⁾によるイベント堆積物の基底標高

※2: 猿ヶ森周辺の基底標高の最小値~最大値(6.8m, 7.6m, 7.6m, 11.0m, 11.8m)

※3: 東北電力株式会社(2014)⁽⁷⁴⁾によるイベント堆積物の基底標高

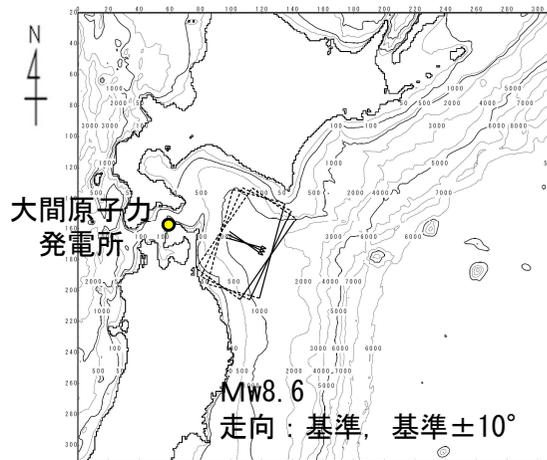
※4: 調査地点は、東北電力株式会社(2014)⁽⁷⁴⁾及び高橋ほか(2018)⁽⁷³⁾から推定して記載

広域の津波特性を考慮した特性化モデルの超大すべり域の配置 (5/7)

青森県北部太平洋沿岸の津波堆積物 (イベント堆積物) を再現する波源モデル

- 三陸沖から根室沖で発生した既往津波のうち津軽海峡沿岸及び敷地に最も影響を及ぼしたと考えられる1856年青森県東方沖津波の再現モデル (Mw8.35) ※1 及び同モデルを基本に地震規模の不確かさを考慮した津波波源モデル (①②) を設定して、 $\pm 10^\circ$ の走向の不確かさを考慮した数値シミュレーションを実施した結果、K, κ の値から青森県北部太平洋沿岸に分布する津波堆積物 (イベント堆積物) の分布をおおむね再現できることを確認した。

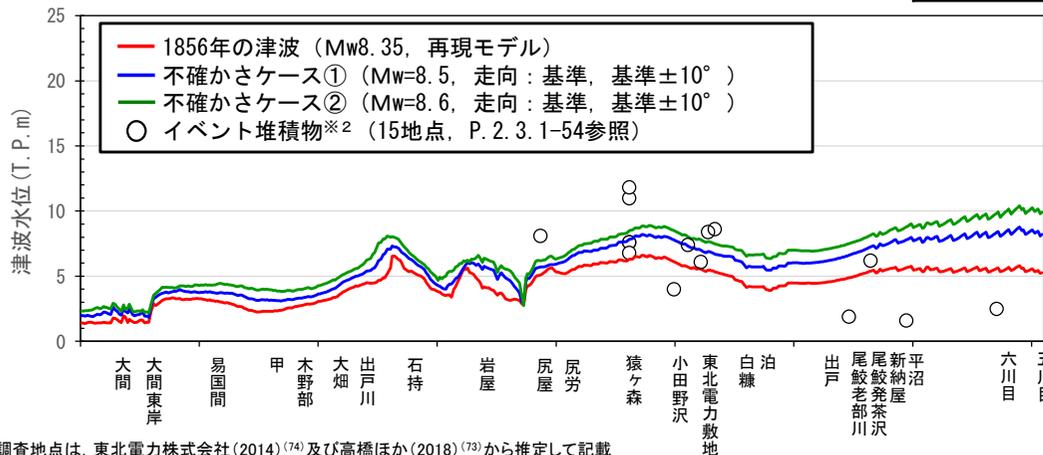
【津波波源モデル】



波源位置

主な断層パラメータ

断層パラメータ		1856年の津波 【再現モデル】	1856年の津波の不確かさケース ① 【基準】	1856年の津波の不確かさケース ② 【基準】
モーメントマグニチュード*	Mw	8.35	8.5	8.6
長さ	L (km)	120	143	160
幅	W (km)	70	83	93
走向	θ (°)	205	205	205
断層上縁深さ	d (km)	26	26	26
傾斜角	δ (°)	20	20	20
すべり角	λ (°)	90	90	90
すべり量	D (m)	10.0	11.90	13.35



再現性の確認結果

波源モデル	K	κ	n
1856年の津波の再現モデル	1.00	1.76	15
1856年の津波の不確かさケース① (不確かさを考慮した想定津波群)	0.78	1.85	
1856年の津波の不確かさケース② (不確かさを考慮した想定津波群)	0.71	1.88	

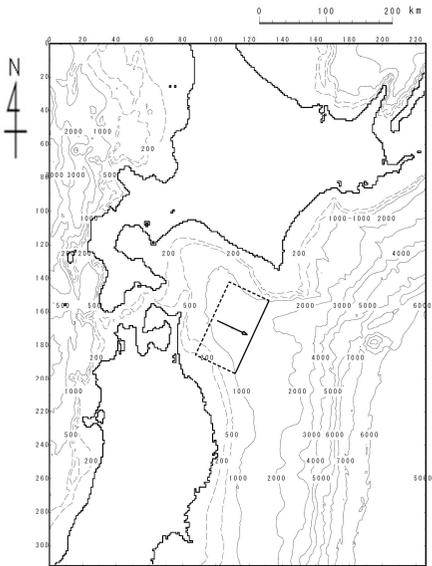
K: 幾何平均, κ : 幾何標準偏差, n: イベント堆積物の個数

※2: 調査地点は、東北電力株式会社(2014)⁽⁷⁴⁾及び高橋ほか(2018)⁽⁷³⁾から推定して記載

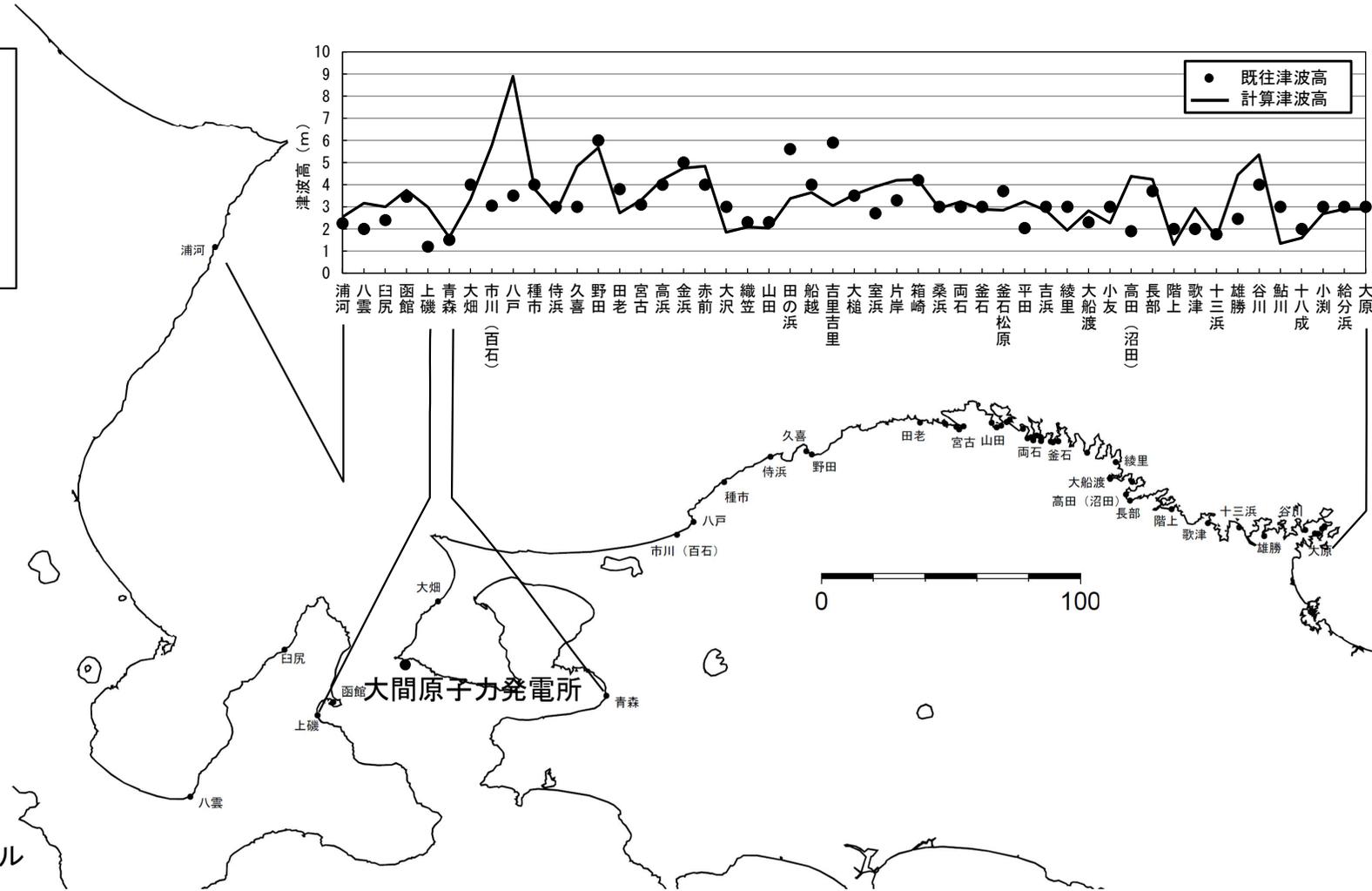
広域の津波特性を考慮した特性化モデルの超大すべり域の配置 (6/7)

(参考) 1856年青森県東方沖津波再現モデル

- 北海道南部沿岸 : 5地点
 - 青森県沿岸 : 4地点
 - 岩手県沿岸 : 27地点
 - 宮城県沿岸 : 13地点
- 計 : 49地点



1856年青森県東方沖津波再現波源モデル



既往津波高と計算津波高の比較

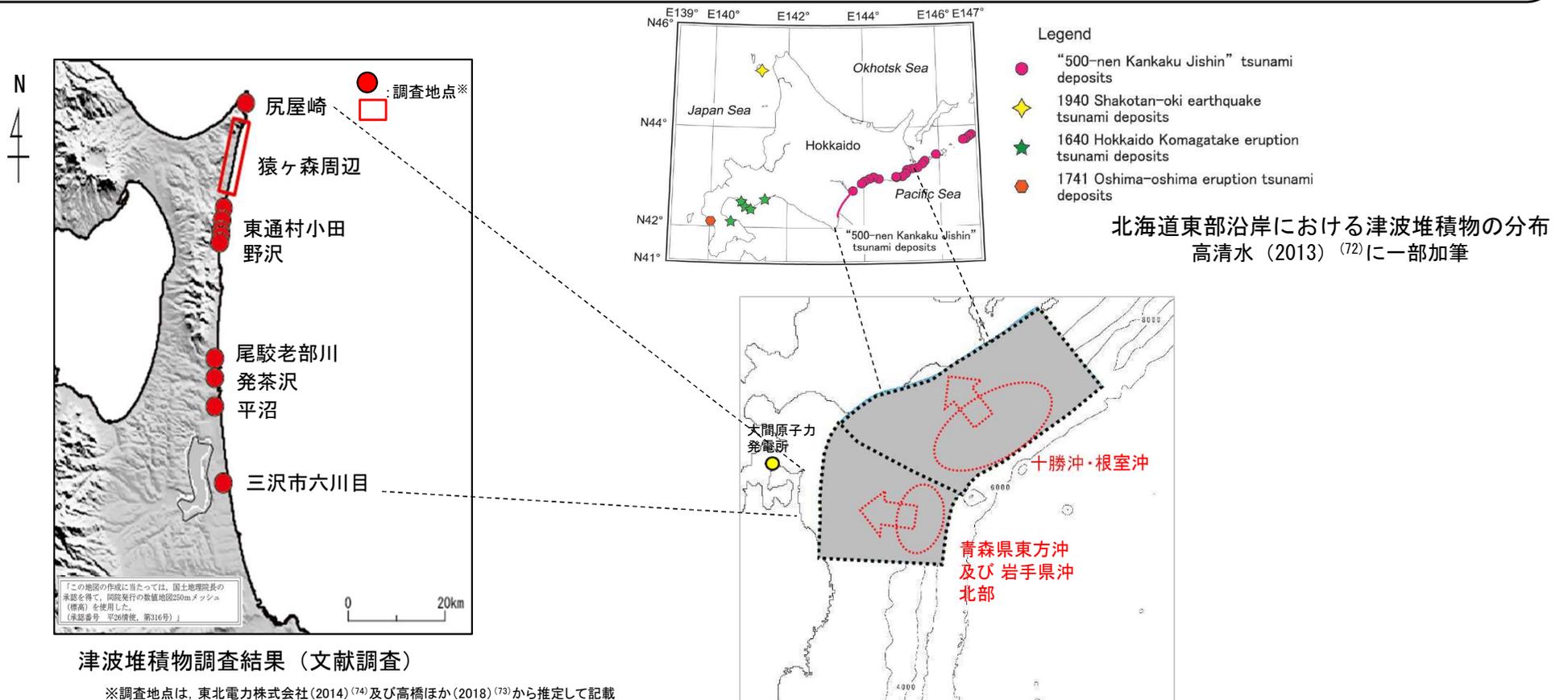
数値シミュレーションによる検証結果は、 $K=0.96$, $\kappa=1.447$ ($n=49$) であり、既往津波の再現性は良好であると判断される。

広域の津波特性を考慮した特性化モデルの超大すべり域の配置 (7/7)

まとめ

- M9クラスの巨大地震が発生した場合の津波の影響範囲と超大すべり域の配置の関係を整理するため、「3.11地震に伴う津波の影響範囲と超大すべり域位置の関係」、「岩手県沖北部から十勝沖・根室沖で確認されている津波堆積物及びそれを再現する津波波源」に関する知見を収集した。
- 3.11地震に伴う津波は広範囲に影響を及ぼしたが沿岸部の津波高さに大きく寄与したのは、正対する海域の大きなすべりであるとともに、北海道東部沿岸、青森県北部太平洋沿岸の津波堆積物の分布を再現する津波波源は、3.11地震と同様に、正対する海域で発生した津波によるものであることを確認した。

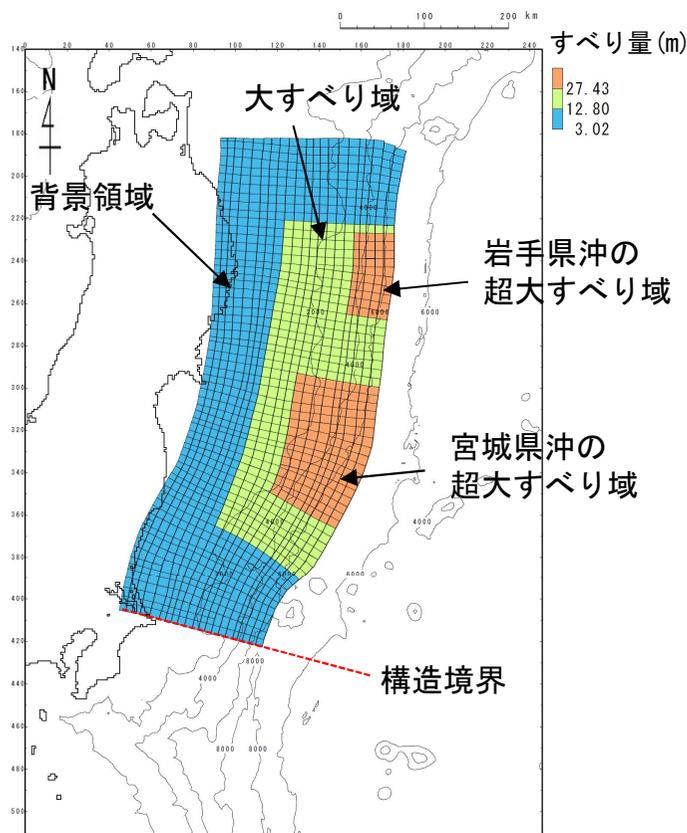
以上から、岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデルの超大すべり域は、青森県東方沖及び岩手県沖北部、十勝沖・根室沖の各領域に配置する。



広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定 (1/9)

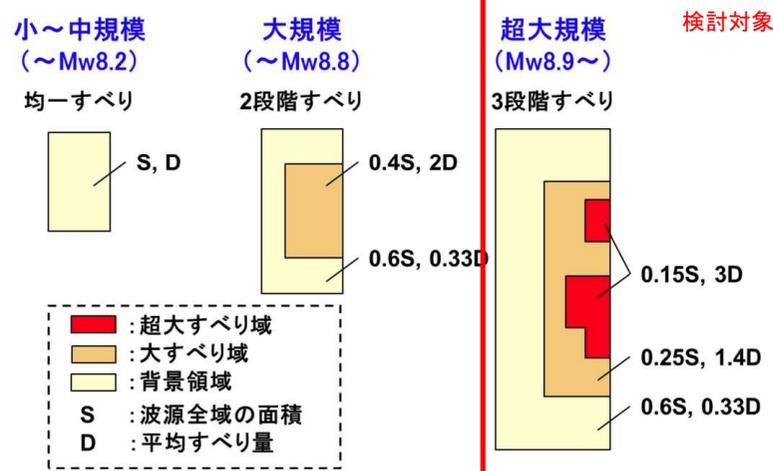
設定方針

- 岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデルは、3.11地震における広域の津波特性（痕跡高）を考慮した特性化モデル※から得られた下記の知見、及び3.11地震における大すべりの発生形態から得られた知見（P.2.3.1-62参照）を反映して設定する。



【3.11地震における広域の津波特性（痕跡高）を考慮した特性化モデルから得られた知見の反映】

- 超大すべり域の位置の設定に反映**
超大すべり域を複数配置することで広域の津波痕跡を再現でき、その位置はアスペリティ、固着等の地震学的・測地学的知見を踏まえて配置する。
- 大すべり域・超大すべり域のすべり量の設定に反映**
杉野ほか（2014）⁽⁴³⁾に示されるすべり量比率、面積比率を踏まえて設定する。



微視的波源特性に係る波源領域内の空間的すべり分布の設定方法
杉野ほか（2014）⁽⁴³⁾に一部加筆

3.11地震における広域の津波特性を考慮した特性化モデル※

広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定 (2/9)

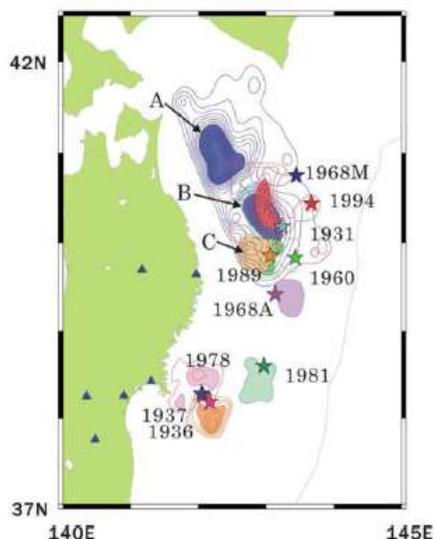
超大すべり域の位置：十勝沖・根室沖，青森県東方沖及び岩手県沖北部におけるアスペリティと地震活動パターン

- 青森県東方沖及び岩手県沖北部について，アスペリティ分布の解析から，アスペリティ（左図：AとB）のうち，1968年の地震と1994年の地震の共通アスペリティBのカップリング率はほぼ100%に近く，個々のアスペリティが単独で動けばM7クラスの地震（=1994年）を，連動するとM8クラスの地震（=1968年）を引き起こすとされている。

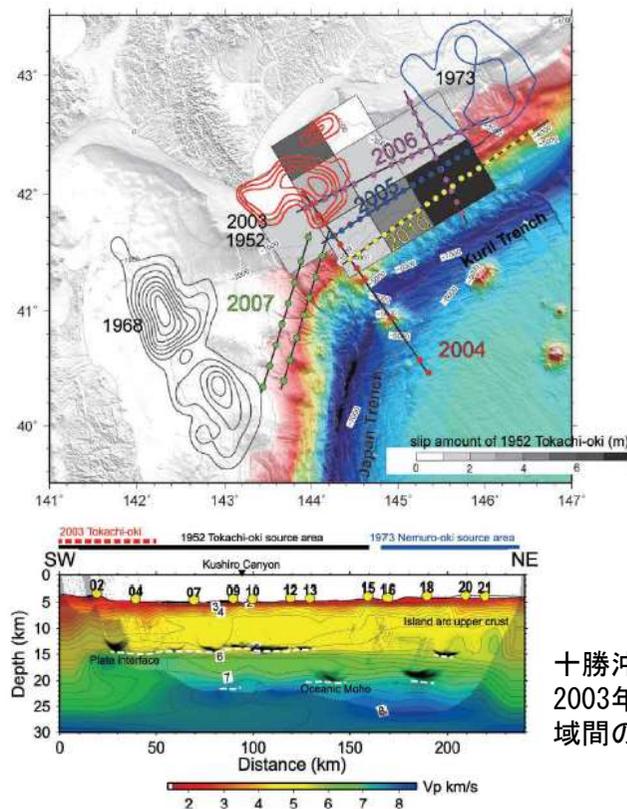
Yamanaka and Kikuchi (2004) ⁽⁴⁸⁾，永井ほか (2001) ⁽⁴⁹⁾による

- 十勝沖・根室沖について，2003年十勝沖と1973年根室沖の両地震の地震時すべり域，両震源域間の空白域（1952年十勝沖地震震源域）の各領域のP波速度構造から，プレート境界面からの反射波が2003年と1973年のアスペリティ内で観測されず，空白域で強反射が観測されたことから，この領域のすべり様式は，地震時に特定の条件下で十勝沖または根室沖のアスペリティに同期してすべるが，地震間は基本的に単独では地震性すべりを起こさない条件付き安定すべり域である可能性が示唆されるとされている。

Azuma et al. (2012) ⁽⁷⁶⁾，東 (2012) ⁽⁷⁷⁾による



青森県東方沖及び岩手県沖北部におけるアスペリティの活動パターンと地震規模の関係
Yamanaka and Kikuchi (2004) ⁽⁴⁸⁾，永井ほか (2001) ⁽⁴⁹⁾



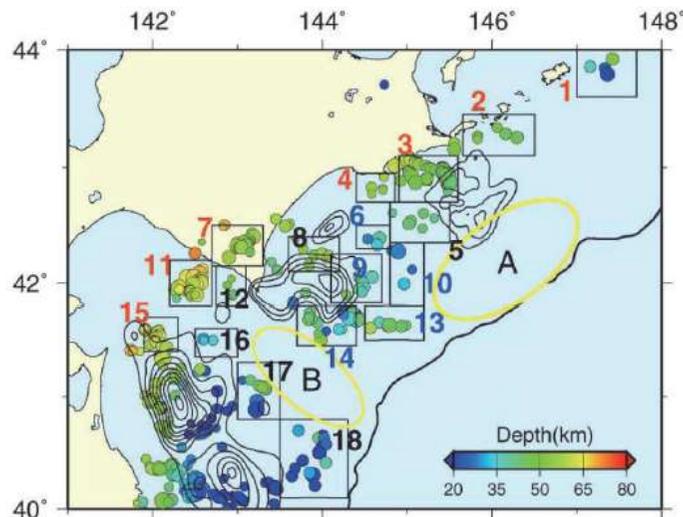
十勝沖・根室沖におけるアスペリティと2003年十勝沖～1973年根室沖の震源域間のP波速度構造 (2010年測線)
東 (2012) ⁽⁷⁷⁾

広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定 (3/9)

超大すべり域の位置：十勝沖・根室沖における地震学的見地

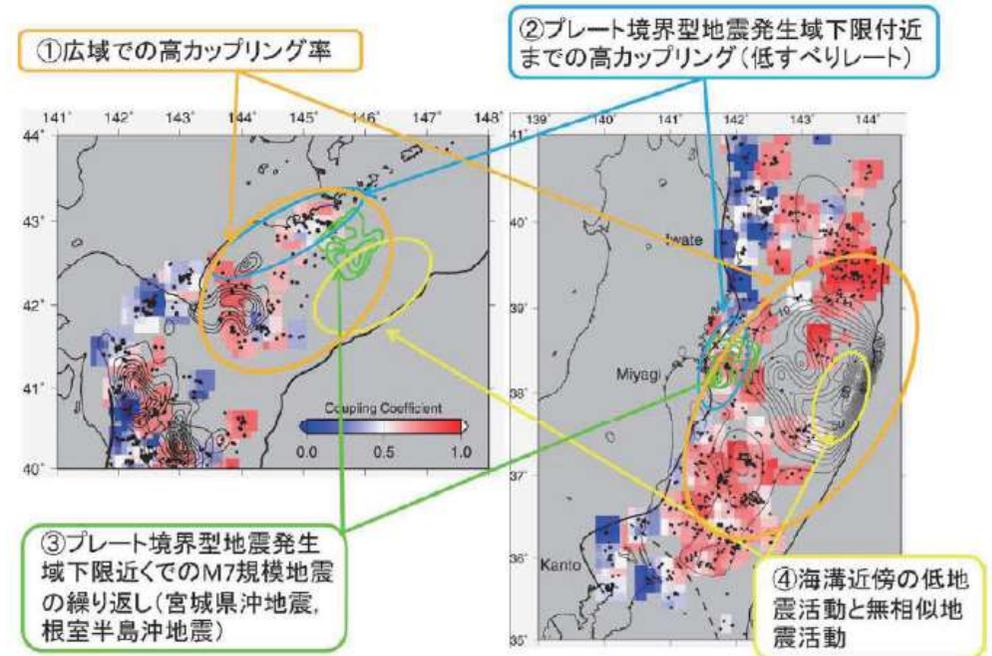
- 小繰り返し地震（相似地震）の活動及びそれから推定されるプレート間地震すべりについて、3.11地震で大きなすべりを生じた宮城県沖における特徴との類似性から、十勝沖・根室沖で巨大地震が発生する可能性があるとされている。

東北大学 (2012) ⁽⁵³⁾による



第1図. 北海道南東沖の小繰り返し地震グループの分布 (丸印). 丸の色はグループの地震の平均の深さを示す。コンターはYamanaka and Kikuchi (2004) ⁽⁴⁹⁾によるM7以上の地震すべり量分布。矩形は第3図で平均の積算すべりを推定した領域を示す。黄色楕円は繰り返し地震活動が低い場所。

東北大学 (2012) ⁽⁵³⁾



第2図. 北海道南東沖(左)および東北地方東方沖(右)の繰り返し地震分布(黒丸)およびそれにより推定したプレート間カップリング率(カラー)の比較。カップリング率は $0.3^\circ \times 0.3^\circ$ のグリッドごとに、3つ以上の小繰り返し地震グループが存在する場所について推定した。緑および黒のコンターはM7以上の地震すべり量分布。関東地方の沖の破線は、フィリピン海プレートの北東限。

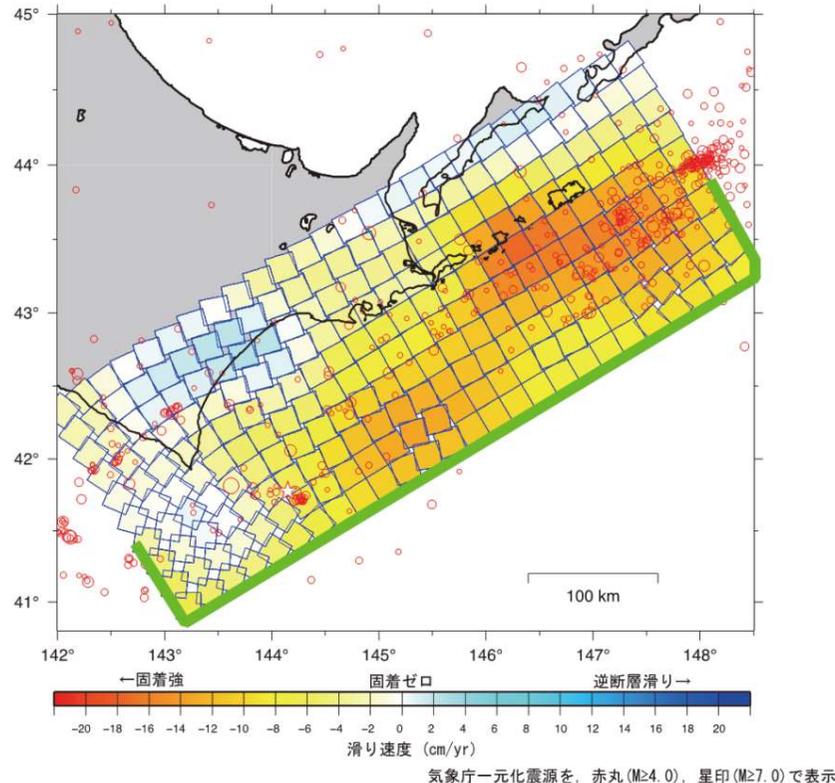
東北大学 (2012) ⁽⁵³⁾

【宮城県沖における特徴】

- 特徴①：大すべり域を中心とする広域で高いカップリング率が推定される。
- 特徴②：プレート境界型地震の発生域下限付近まで高カップリング領域が存在。
- 特徴③：プレート境界型地震の発生域下限付近でのM7クラスの地震（の繰り返し）が存在。
- 特徴④：海溝近傍の低地震活動と低繰り返し地震活動。

広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定 (4/9)

超大すべり域の位置：十勝沖・根室沖における測地学的見地



すべり欠損分布 (2007年3月~2011年2月)

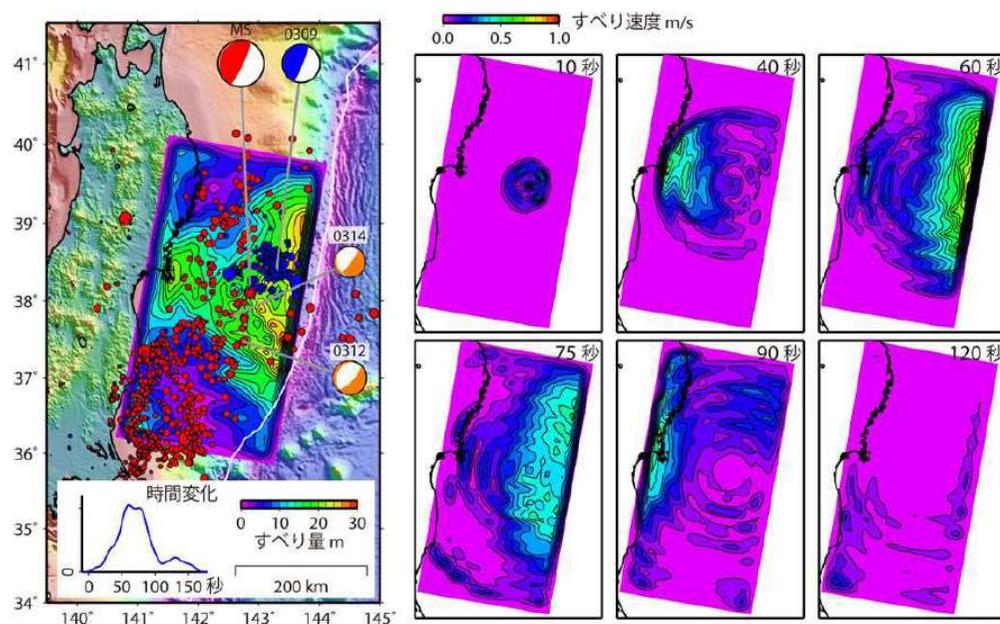
国土地理院 (2012) (54)

- GNSS連続観測結果による北海道地方の地殻変動から推定される北海道南東沖（十勝沖・根室沖）のすべり欠損速度（固着）の分析結果から、特に十勝沖～釧路沖の海溝寄りと根室沖の陸寄りにすべり欠損の大きな領域が存在している。これより、当該領域の固着は相対的に強く、大きなひずみが蓄積されていると推定される。国土地理院 (2012) (54) による
- この領域は、500年間隔地震の震源域とほぼ同じと考えられる。

広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定 (5/9)

3.11地震における大すべりの発生形態に係る知見

- 岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定に反映する3.11地震における大すべりの発生形態に係る知見は以下のとおり。
 - ✓ 超大すべり域のすべり量分布の設定に反映する知見
 - 宮城県沖における浅部領域の大きなすべりの発生要因である深部の破壊を起点としたダイナミックオーバーシュート (下図及び補足説明資料P.3.1-6, P.3.1-7参照) を踏まえた, 3.11地震の広域の津波特性を考慮した特性化モデルのうち宮城県沖のすべり量分布
 - 十勝沖・根室沖, 青森県東方沖及び岩手県沖北部の地震学的・測地学的知見 (アスペリティ, 固着等)



(左図) コンター: 総すべり量の分布, 0309: 前震 (Mw7.3) のメカニズム, MS: 本震のメカニズム, 0312及び0314: 余震 (それぞれMw6.5, Mw6.1) のメカニズム, 青点: 前震の震央, 赤点: 余震の震央, グラフ: 地震モーメントの放出速度の推移
(右図) すべり速度分布のスナップショット

広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定 (6/9)

大すべりの発生形態を踏まえた超大すべり域の位置

- 青森県東方沖及び岩手県沖北部で発生している既往地震の震源深さ(約20km)は、3.11地震時に宮城県沖の浅部領域をオーバーシュートさせた(破壊の起点となった)震源深さと同程度である。

地震調査研究推進本部(2012)⁽⁴⁶⁾, Yamanaka and Kikuchi(2004)⁽⁴⁸⁾による

- 十勝沖・根室沖における高カップリング領域及び小繰り返し地震(相似地震)の活動領域は、3.11地震で大きなすべりを生じた宮城県沖における特徴と類似する。

東北大学(2012)⁽⁵³⁾による

以上から、3.11地震の広域の津波特性を考慮した特性化モデルにおける宮城県沖の超大すべり域のすべり量分布位置を各領域に設定する。

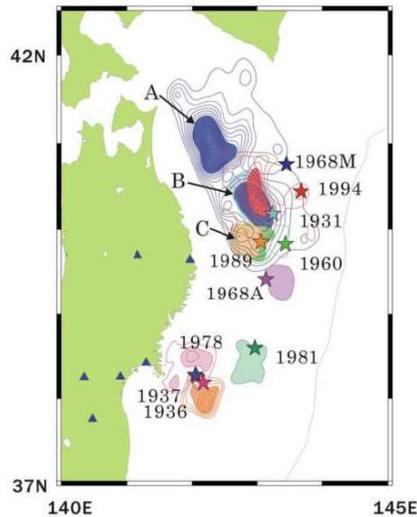
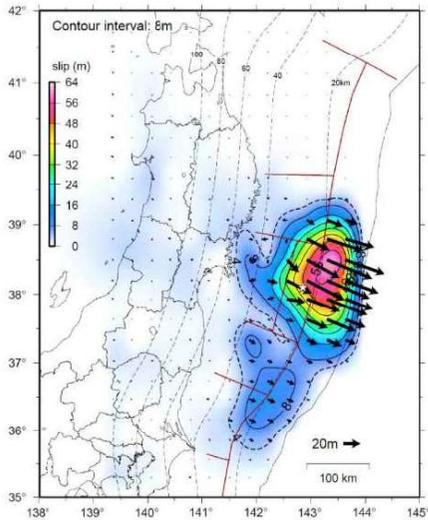


Figure 6. Aspect map along the subduction zone in northeastern Japan. Stars show the main shock epicenters. Contour lines show the moment release distribution. The interval of the contour lines is 0.5 m. Each earthquake is distinguished by color. We painted the area within the value of half the maximum slip as an asperity.

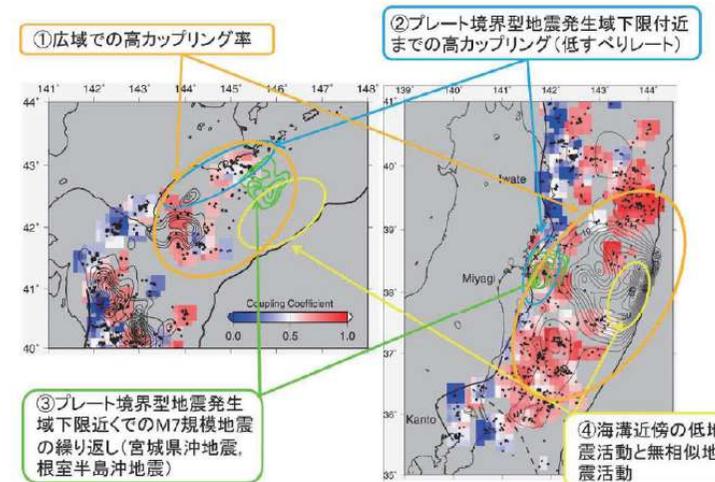
3.11地震時の震源位置とすべり分布

地震調査研究推進本部(2012)⁽⁴⁶⁾

星印は本震の震央、点線はプレート境界面の深さ、ベクトル(→)は計算によって求めた地下のプレート境界面上でのすべりを示す。

青森県東方沖及び岩手県沖北部におけるアスペリティ分布, 既往地震の震源

Yamanaka and Kikuchi(2004)⁽⁴⁸⁾



第2図. 北海道南東沖(左)および東北地方東方沖(右)の繰り返し地震分布(黒丸)およびそれにより推定したプレート間カップリング率(カラー)の比較. カップリング率は $0.3^\circ \times 0.3^\circ$ のグリッドごとに、3つ以上の小繰り返し地震グループが存在する場所について推定した. 緑および黒のコンターはM7以上の地震すべり量分布. 関東東方の沖の破線は、フィリピン海プレートの北東限。

【宮城県沖における特徴】

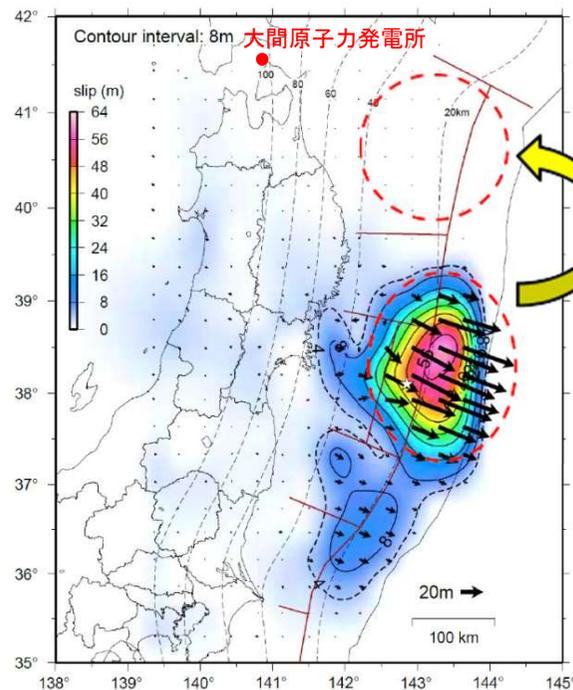
- 特徴①: 大すべり域を中心とする広域で高いカップリング率が推定される。
- 特徴②: プレート境界型地震の発生域下限付近まで高カップリング領域が存在。
- 特徴③: プレート境界型地震の発生域下限付近でのM7クラスの地震(の繰り返し)が存在。
- 特徴④: 海溝近傍の低地震活動と低繰り返し地震活動。

十勝沖・根室沖と宮城県沖のカップリング領域及び地震活動の比較
東北大学(2012)⁽⁵³⁾

広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定 (7/9)

超大すべり域のすべり量：青森県東方沖及び岩手県沖北部

- 青森県東方沖及び岩手県沖北部については、1968年十勝沖地震に伴うすべり量（7 m～9 m程度）が最大規模と評価される（P. 2. 3. 1-15, P. 2. 3. 1-16参照）。
- しかし、津軽海峡開口部前面とほぼ正対する青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域は、発電所の津波高さに与える影響が大きいことを踏まえ、最新の科学的・技術的知見から想定されるすべりを上回る規模のすべりとして、3.11地震時における宮城県沖のすべりと同規模のすべりを考慮する。



3.11地震における宮城県沖のすべりと同規模のすべり量考慮

星印は本震の震央、点線はプレート境界面の深さ、ベクトル(→)は計算によって求めた地下のプレート境界面上でのすべりを示す。

3.11地震時のすべり分布
地震調査研究推進本部 (2012) ⁽⁴⁶⁾ に一部加筆
大すべり域・超大すべり域の設定 (概念)

広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定 (8/9)

岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の特性化モデル

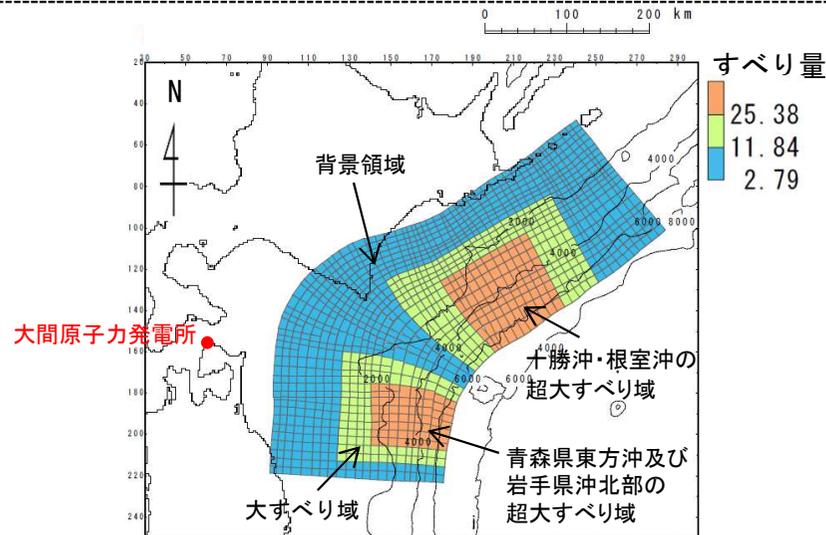
3.11地震における広域の津波特性を考慮した特性化モデル及び3.11地震における大すべりの発生形態から得られた知見を踏まえて、岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデルの大すべり域及び超大すべり域については以下のとおり設定した。

【青森県東方沖及び岩手県沖北部の大すべり域・超大すべり域】

- ・ 超大すべり域の位置：アスぺリティ分布及び1968年十勝沖地震の震源位置を踏まえて設定。
- ・ 超大すべり域のすべり量：1968年十勝沖地震に伴うすべりが最大規模と評価されるが、津軽海峡開口部前面の超大すべり域は発電所の津波高さに与える影響が大きいことを踏まえ、保守的に3.11地震時における宮城県沖と同規模のすべりを考慮。すべり量は杉野ほか(2014)⁽⁴³⁾を踏まえて設定。
- ・ 超大すべり域のすべり量分布：3.11地震の震源深さとの類似性を考慮し、3.11地震の広域の津波特性を考慮した特性化モデルの宮城県沖の超大すべり域のすべり量分布を参考に設定。
- ・ 大すべり域・超大すべり域の面積：青森県東方沖及び岩手県沖北部の断層面積を基に、杉野ほか(2014)⁽⁴³⁾に示される面積比率を踏まえて設定。

【十勝沖・根室沖の大すべり域・超大すべり域】

- ・ 超大すべり域の位置：地震学的、測地学的知見を踏まえて設定。
- ・ 超大すべり域のすべり量：すべり量は杉野ほか(2014)⁽⁴³⁾を踏まえて設定。500年間隔地震を再現するモデルのすべり量と同等であることを確認(P.2.3.1-20参照)。
- ・ 超大すべり域のすべり量分布：宮城県沖の高カップリング領域及び小繰り返し地震(相似地震)の活動領域との類似性を考慮し、3.11地震の広域の津波特性を考慮した特性化モデルの宮城県沖の超大すべり域のすべり量分布を参考に設定。
- ・ 大すべり域・超大すべり域の面積：十勝沖から根室沖の断層面積を基に、杉野ほか(2014)⁽⁴³⁾に示される面積比率を踏まえて設定。



岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデル

		岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデル【モデル化後の値】	備考【設計値】
モーメントマグニチュード [*] Mw		9.06	9.05
面積 S (km ²)		110,472	—
平均応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)		3.27	3.1
剛性率 μ (N/m ²)		5.0×10^{10}	—
地震モーメント Mo (N・m)		4.93×10^{22}	4.67×10^{22}
平均すべり量 D (m)		8.93	8.46
すべり量	基本すべり域 (m) (面積及び面積比率)	2.79 (64,419km ² , 58.3%)	2.79 (66,283km ² , 60%)
	大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	11.84 (26,782km ² , 24.2%)	11.84 (27,618km ² , 25%)
	超大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	25.38 (19,271km ² , 17.5%)	25.38 (16,571km ² , 15%)
ライズタイム τ (s)		60	—

広域の津波特性を考慮した特性化モデルの設定 (9/9)

十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の特性化モデル

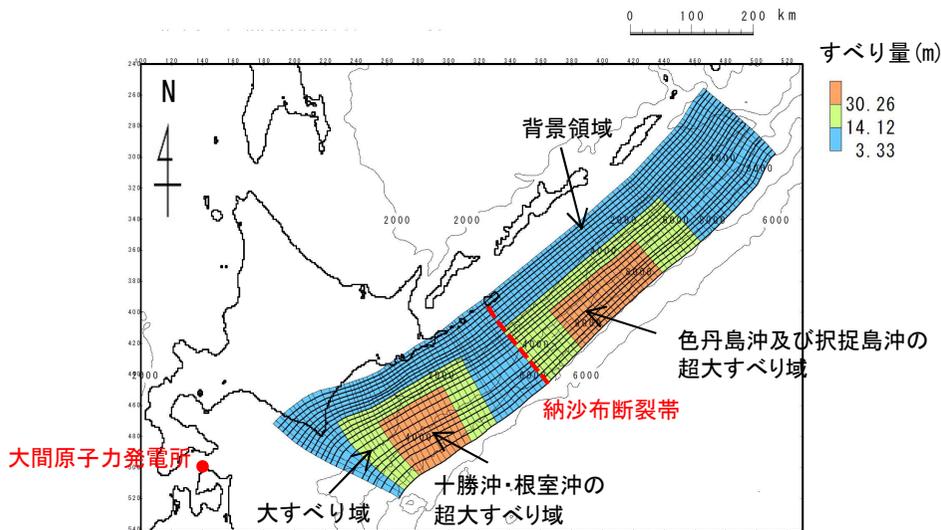
十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデルの大すべり域及び超大すべり域については、岩手県沖北部から十勝沖・根室沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデル (P. 2. 3. 1-65参照) を参考に保守的観点を加味して以下のとおり設定することとした。

【十勝沖・根室沖の大すべり域・超大すべり域】

- ・ 超大すべり域の位置：地震学的，測地学的知見を踏まえて設定。
- ・ 超大すべり域のすべり量：すべり量は杉野ほか (2014) ⁽⁴³⁾を踏まえて設定。500年間隔地震を再現するモデルのすべり量と同等であることを確認 (P. 2. 3. 1-20参照)。
- ・ 超大すべり域のすべり量分布：宮城県沖の高カップリング領域及び小繰返し地震 (相似地震) の活動領域との類似性を考慮し，3.11地震の広域の津波特性を考慮した特性化モデルの宮城県沖の超大すべり域のすべり量分布を参考に設定。
- ・ 大すべり域・超大すべり域の面積：十勝沖から根室沖の断層面積を基に，杉野ほか (2014) ⁽⁴³⁾に示される面積比率を踏まえて設定。

【色丹島沖及び択捉島沖の大すべり域・超大すべり域】

- ・ 超大すべり域の位置：保守的観点から敷地に近くなるように想定波源域の西端に設定。
- ・ 超大すべり域のすべり量：十勝沖・根室沖と同様に設定。
- ・ 超大すべり域のすべり量分布：十勝沖・根室沖と同様に設定。
- ・ 大すべり域・超大すべり域の面積：色丹島沖及び択捉島沖の断層面積を基に，杉野ほか (2014) ⁽⁴³⁾に示される面積比率を踏まえて設定。



十勝沖・根室沖から色丹島沖及び択捉島沖の広域の津波特性を考慮した特性化モデル

		十勝沖・根室沖から色丹島沖及び 択捉島沖の広域の津波特性を考慮 した特性化モデル 【モデル化後の値】	備考 【設計値】
モーメントマグニチュード M_w		9.21	9.20
面積 S (km^2)		157,100	—
平均応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)		3.19	3.1
剛性率 μ (N/m^2)		5.0×10^{10}	—
地震モーメント M_0 ($\text{N} \cdot \text{m}$)		8.15×10^{22}	7.92×10^{22}
平均すべり量 D (m)		10.38	10.09
すべり量	基本すべり域 (m) (面積及び面積比率)	3.33 (92,651 km^2 , 59.0%)	3.33 (94,260 km^2 , 60%)
	大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	14.12 (38,911 km^2 , 24.8%)	14.12 (39,275 km^2 , 25%)
	超大すべり域 (m) (面積及び面積比率)	30.26 (25,538 km^2 , 16.2%)	30.26 (23,565 km^2 , 15%)
ライズタイム τ (s)		60	—

(余白)