

平成29年8月1日
日本学術会議総合工学委員会
原子力事故対応分科会

原子力発電所の自然災害への対応 —福島事故の津波対策を例として— パネリスト資料 津波解析の課題と現状

東北大学災害科学国際研究所
所長 津波工学分野教授
今村文彦

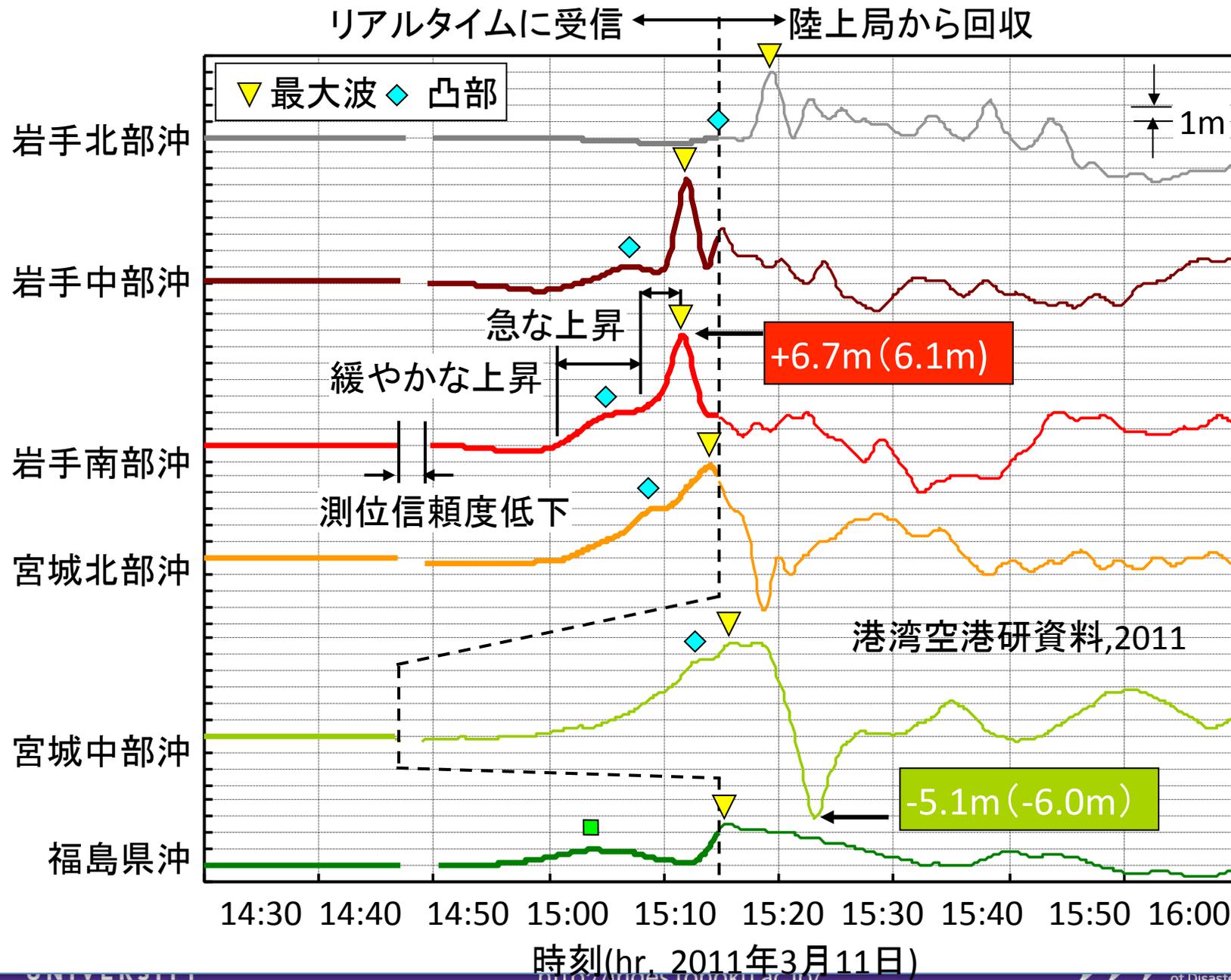
1 津波関連の科学技術—50年の振り返り

- 1952年 日本で津波警報システム始まる(地震規模・位置を基礎として)
- 1960年 チリ沖地震津波(遠地津波対応, 国際警報システム, 沿岸防災施設整備)
- 1980年代 数値シミュレーション技術発達
- 1983年 日本海中部地震津波(警報10分以内に)
- 1993年 北海道南西沖地震津波(警報5分以内に)
- 1990年 ハザードマップ作成展開, 海底津波計, GPS波浪計観測
- 1999年 気象庁量的予報始まる(データベース)
- 2000以降 スマトラ地震・インド洋津波, サモア, ムンタワイ地震津波など 国内外で災害多発
- 2010年 チリ中部地震津波(遠地津波, 津波避難での課題), HPCI 京プロジェクト
- 2011年 東日本大震災(現在, 関連死も含めて2万1千名の犠牲) 想定を遥かに上回る規模

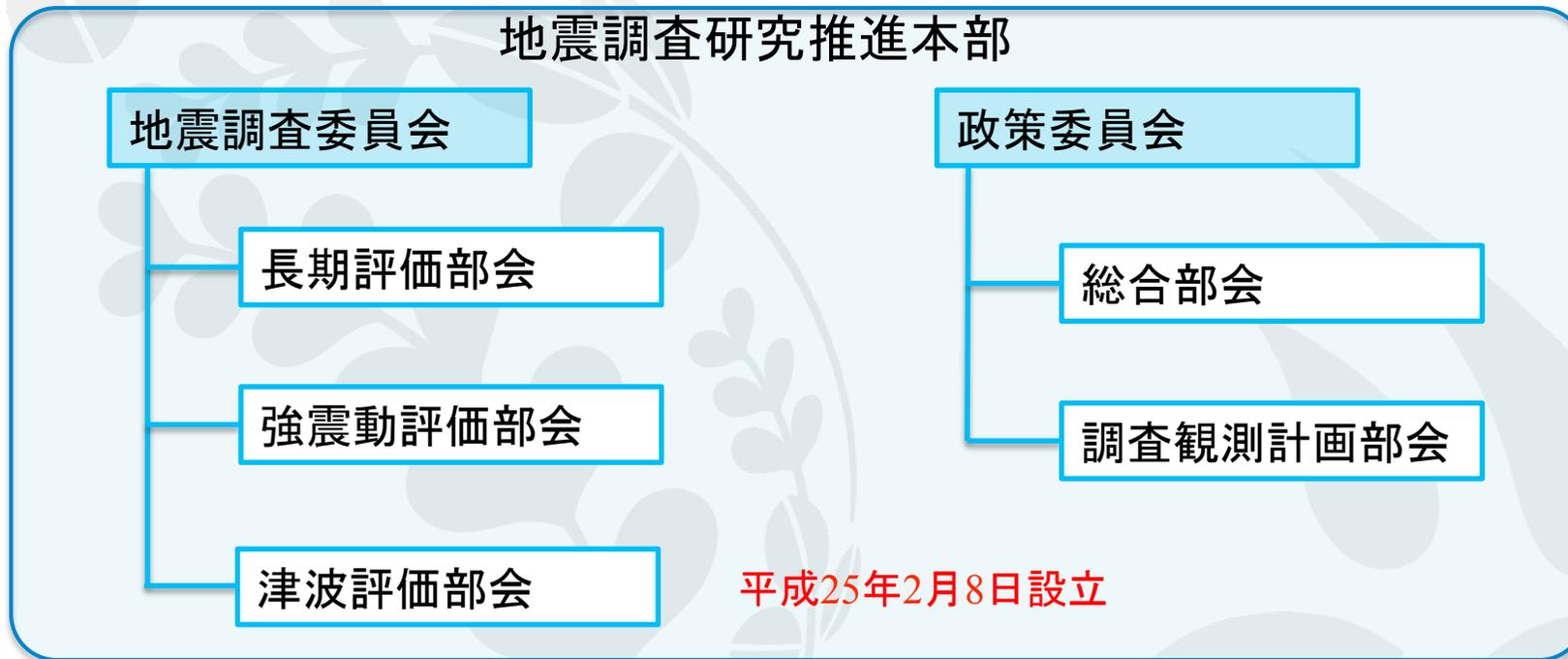
2. 東日本大震災（東北地方太平洋沖地震）での津波研究課題

- **M9地震による津波**は過去に記録がなかった。
- 甚大な浸水域，巨大な津波パワー，甚大な津波被害，復旧・復興の遅れ，国内外への影響
- 津波関連研究の課題整理；
- 1 津波の**発生過程**
 - 2段階の津波発生（浅部発生メカニズム）— 超大すべり域
- 2 津波の**伝播過程**
 - ソリトン分裂波，構造物との相互作用，漂流物
- 3 津波の**遡上過程**およびその他
 - 都市域での複雑な挙動，津波堆積物，土砂移動（浸食・堆積），漂流物の移動と補足
- 4 **津波被害**（破壊力，火災，長期浸水）

2.1第1段階:「穏やかな上昇と第2段階の急な上昇」(港空研資料,2011)



3.1 文科省地震調査委員会 津波評価部会の発足

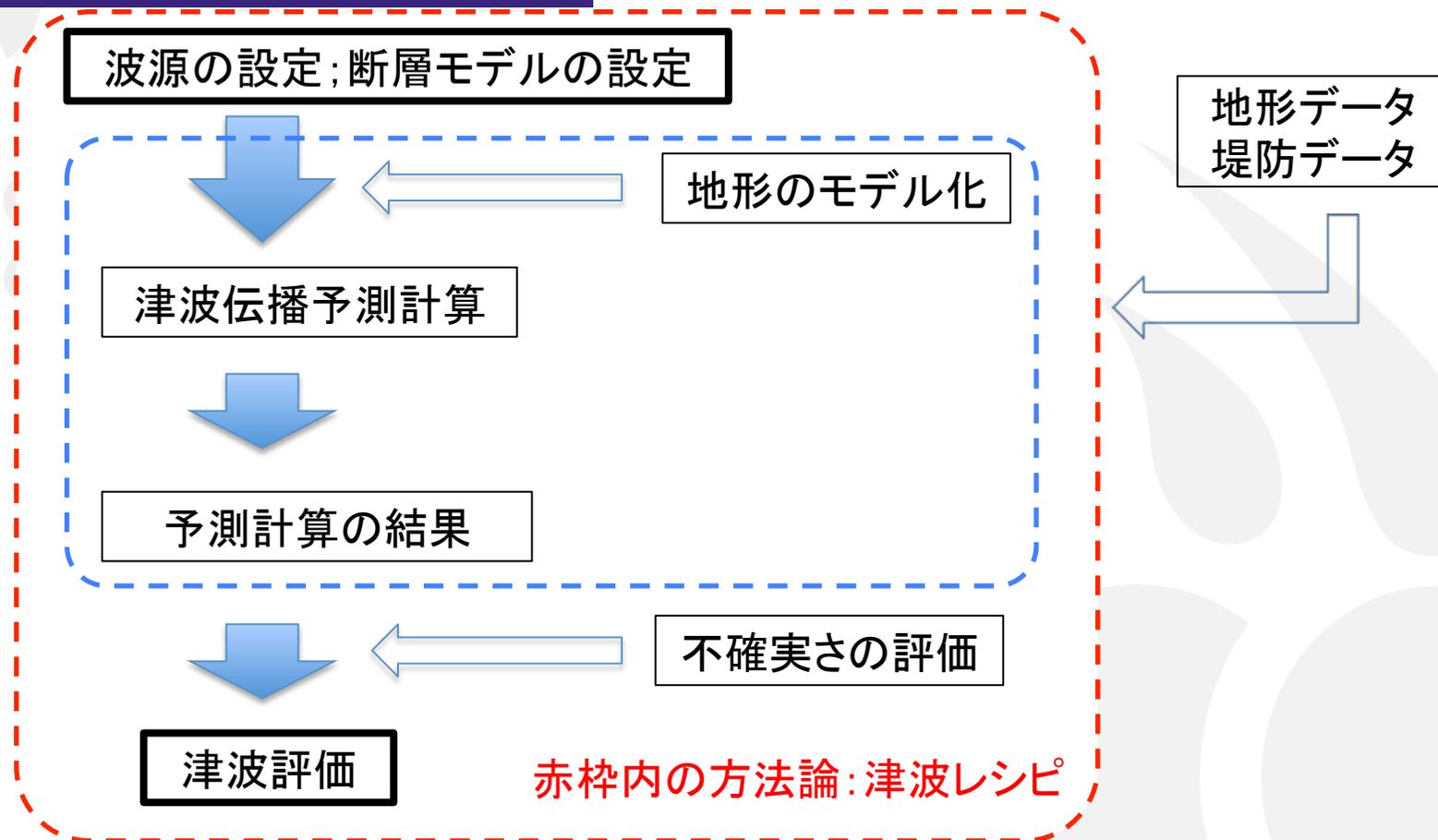


津波評価部会では、地方公共団体等による避難計画や施設整備等の津波防災対策の検討に資するため、科学的知見に基づき、以下の3点を中心に検討を進めることとしている。

- (1) 津波の予測や評価のための標準的な手法 → レシピとして取りまとめ予定
- (2) 標準的な手法に基づく津波評価
- (3) 利活用のためのニーズや課題の把握及び分かりやすい表現方法

→ レシピの適用例として、日本海溝(三陸沖から房総沖)の地震に伴う津波の評価を取りまとめ予定

3.2 津波レシピの概観



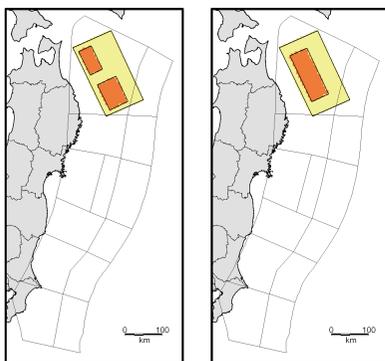
※上図中の断層モデルの設定については、震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)(地震調査委員会, 2009改定)を参考にしている。

※青枠内にある地形のモデル化、津波予測計算(シミュレーション)、予測計算結果は、最大クラスの津波が悪条件下で発生した場合について「津波浸水想定の設定の手引き」(国土交通省, 2012)に既に記載・公表されている部分であり、同手引きに既に記載されている内容については、これを引用する形で用いる。

3.3 断層モデルの設定

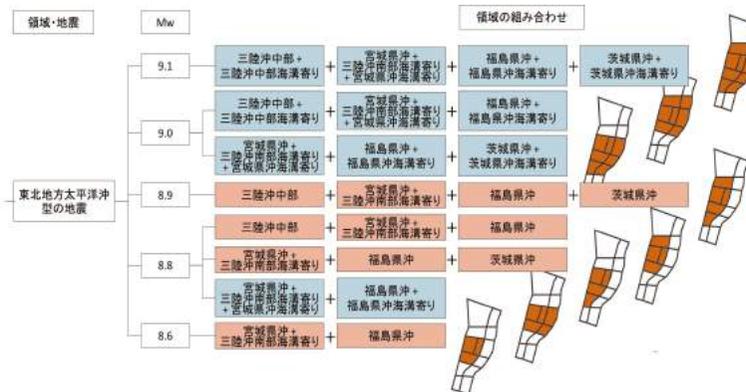
「長期評価」により、震源域の形状評価がある場合には、その形状評価を推定根拠に留意して利用することを基本とする。

- ・**単一領域で繰り返し発生する地震**：
長期評価に基づき設定



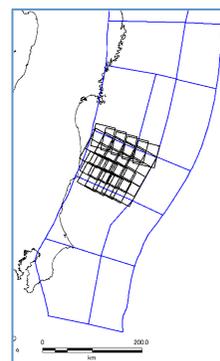
例：三陸沖北部の繰り返し発生する地震

- ・**複数の領域を震源域とする地震**：
長期評価の領域区分を基に、
連動する領域の多様な組み合わせを考慮

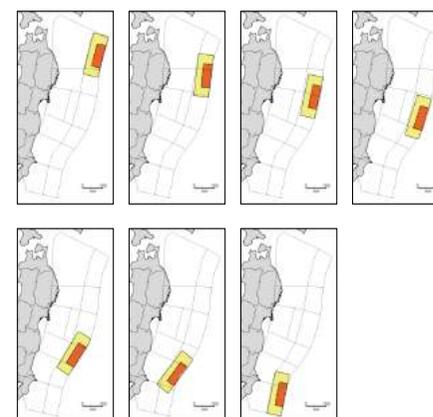


例：東北地方太平洋沖型の地震

- ・**繰り返し発生する地震以外の地震**、
領域内のいずれかの位置で発生する地震：
長期評価の領域区分を基に、
多様な波源断層の位置を考慮

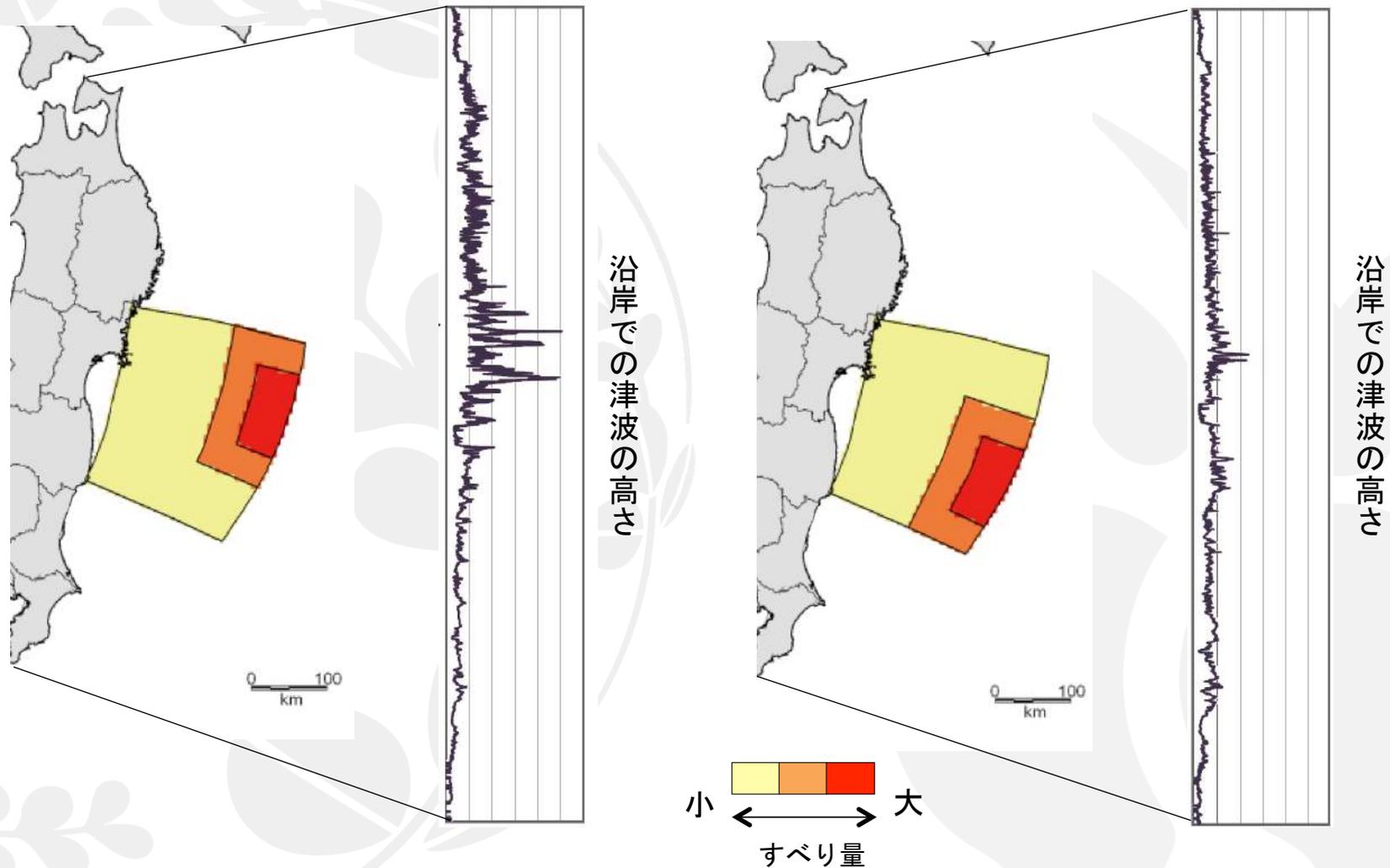


例：福島県沖のプレート間地震



例：津波地震

3.3 断層モデルの設定とそれに対応する津波予測計算結果(例)



震源域が同じでも、大きくすべる場所が違っていると発生する津波も異なる
すべり分布等の不確実性を踏まえた評価手法や計算結果の表し方を検討

1. 研究の背景および目的

東日本大震災から5年経過した現在までの公式見解

【東電事故調2011・2012、政府事故調2011・2012】

福島第一原発において、原子炉制御不能に陥った主な原因は、安全上重要な設備(ポンプ、電源盤等)が津波によって機能喪失したこと。

【国会事故調2012、伊東2014】

津波の敷地到達時刻が全電源喪失時刻以降である可能性を指摘。

【東電2013】

原発サイト沖合の波高計記録に基づき、津波波速の近似式($c = \sqrt{gh}$)、津波高さにグリーンの法則($H_2 = H_1 \cdot \sqrt{4h_1/h_2}$)を用いて、波高計設置位置から港湾付近までの津波到達時間を推定。当時の写真記録時刻およびプラントデータとの照合から敷地への津波到達時刻を15時36分台と推定し、津波が原因で全交流電源喪失としている。



数値計算に基づく津波の遡上過程を明らかにしていない。

サイト内における詳細な津波の侵入過程について議論が深まっていない。



津波の詳細な侵入過程を数値計算によって検証し、全交流電源喪失のきっかけとなった設備と津波の関係などについて実態解明が必要。

- 波高計記録の再現性を向上した津波断層モデルの修正
- 計算格子2mの詳細な津波遡上解析の実施
- 解析結果について写真記録時刻およびプラントデータと照合

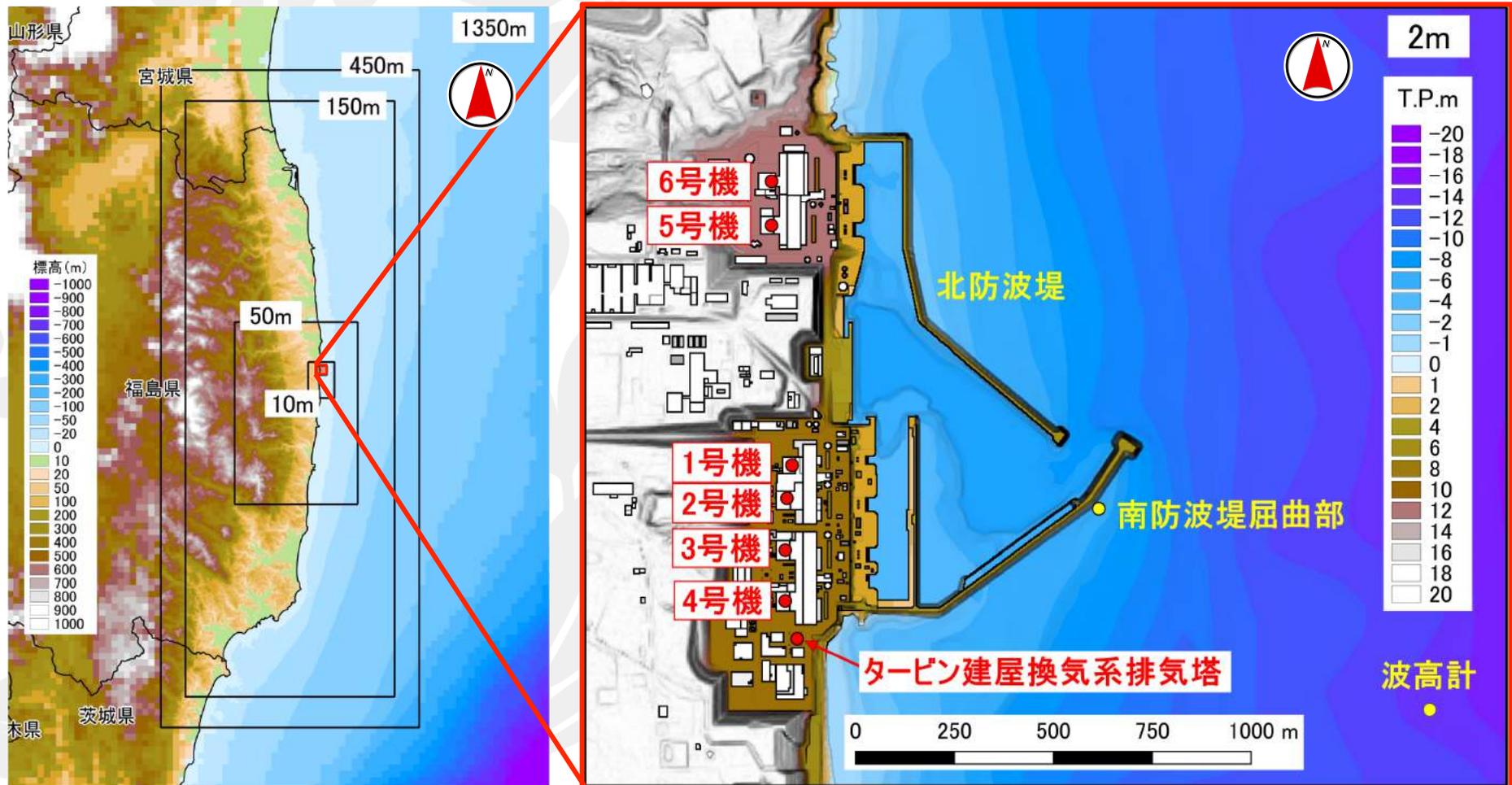
2. 対象の波源モデルと計算条件

主な計算条件

波源断層モデル	2011年東北地方太平洋沖地震 杉野ら(2013)、内閣府(2012)、東電L67(2013)より選定
地殻変動計算	Okada(1992)の方法
基礎方程式	非線形長波式(浅水理論)
計算スキーム	スタaggerド・リーブフロッグ法による差分法
底面摩擦	粗度係数 $n=0.030\text{m}^{-1/3}\cdot\text{s}$ (一律)
初期潮位	T.P. -0.40m(津波来襲時の潮位)
原発サイト平均地盤沈下量	-0.66m(旧原子力安全・保安院調査平均値)
計算格子	沖合から福島第一原発周辺に向かって順次細分化 1350→450→150→50→10→2m(2wayネスティング接続)
地形標高モデル	建物および構造物を起伏地形で再現(2mメッシュのみ)
地下構造物	考慮しない
建物および構造物の破壊	考慮しない(流失したオイルタンクなどは事前に除去)

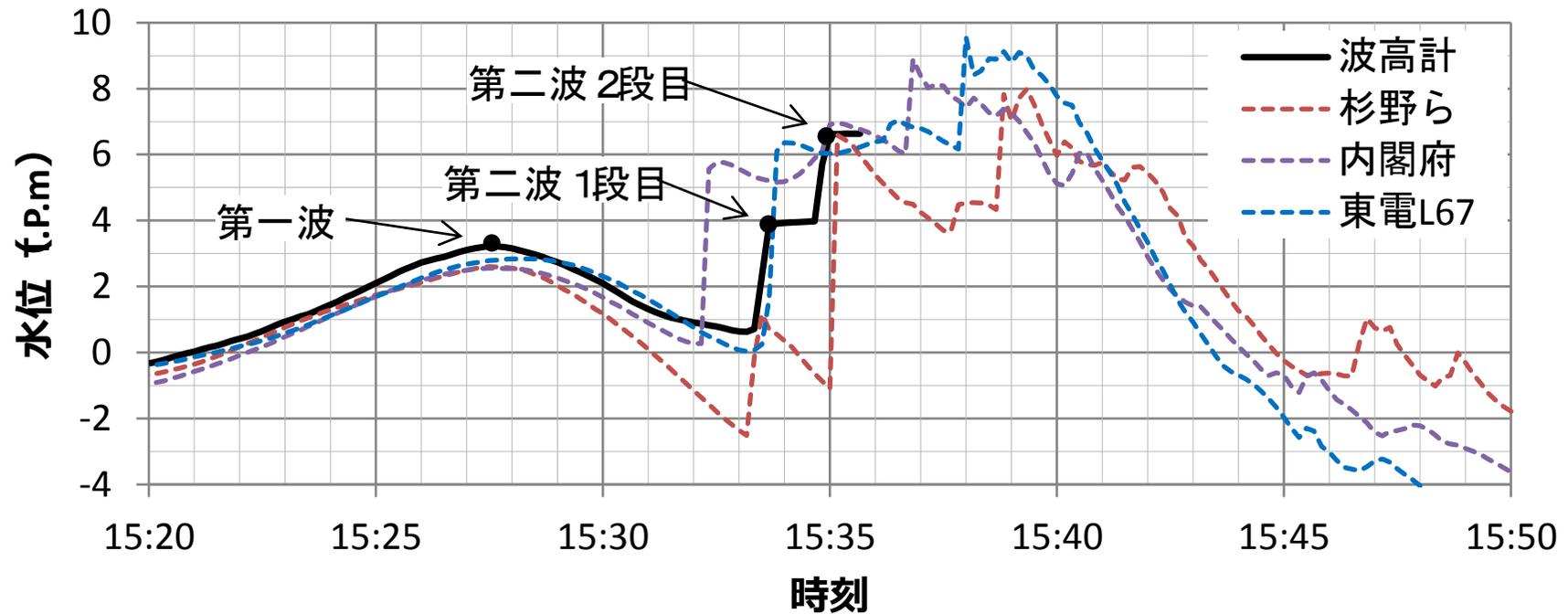
2. 対象の波源モデルと計算条件

計算領域



- 波源断層を含む外洋から福島第一原発サイトへ
- 建物および構造物を起伏地形で再現(底面粗度)

今村文彦岩間俊二・國枝雄一・小笠原敏記, 修正された東北地方太平洋沖地震津波モデルによる福島第一原発サイトへの影響再評価, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 72, No. 2, I_361—I_366, 2016



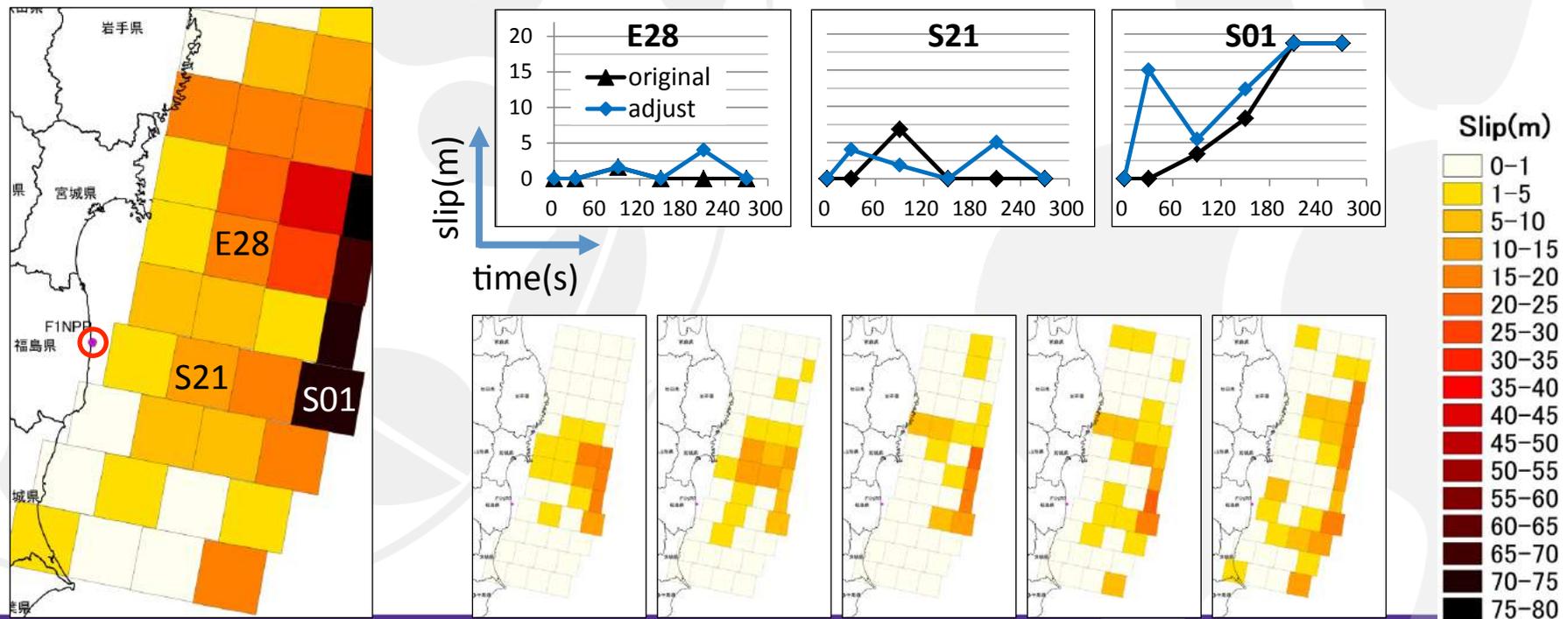
波源モデル	波高計記録の再現性	遡上域の再現性 $K \cdot \kappa$ (n=19)
杉野ら(2013)	第二波1段目と2段目の段差が明瞭 第一波から第二波まで全体的に低い	1.04 · 1.15
内閣府(2012)	第二波1段目と2段目の段差が不明瞭 第二波1段目の到達が1分半程早い	1.06 · 1.13
東電L67(2013)	第二波1段目と2段目の段差が不明瞭 第二波1段目が約2.3m高い	1.05 · 1.10

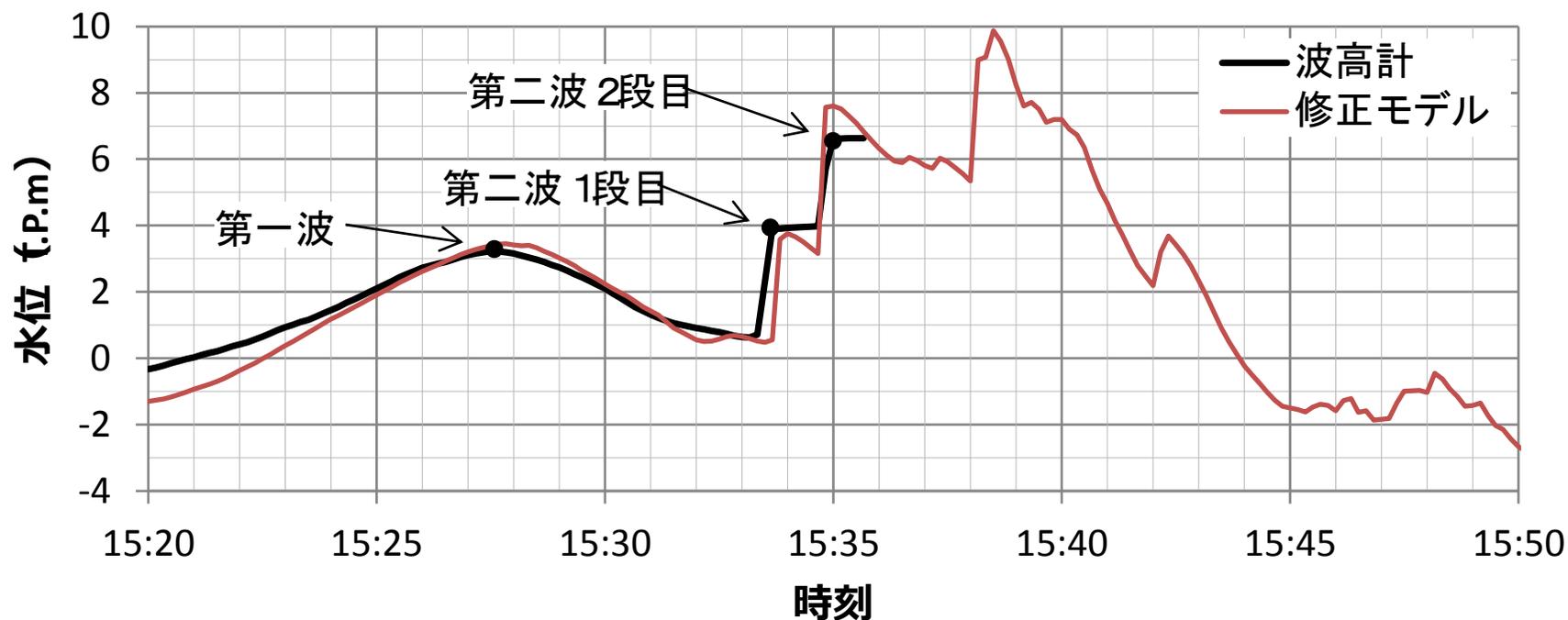
➤ 目標

波高計記録再現性および遡上域の痕跡記録再現性向上
 発電所各施設への津波到達時刻を数値計算上から詳細に説明できる波源モデル

➤ 波源モデルの選定と修正方法

断層数が少ないことにより修正が容易な杉野モデル(2013)を選定
 すべり量及び発生タイミングを波高計記録と一致するまでトライアルで調整





波源モデル	波高計記録の再現性	遡上域の再現性 $K \cdot \kappa$ (n=19)
杉野ら(2013) 修正モデル	第一波の初期段階で差異は見られるが概ね良好	0.96 · 1.13

4. サイトに記録された津波来襲状況との検証

波高計から南防波堤屈曲部までの第二波2段目の伝播時間

数値計算による第二波2段目の伝播時間は約46秒
 数値計算による第二波2段目の伝播時間は約60秒
 波の進行方向は真西に対して約11度北向き

原子力規制委員会による簡易的な推定値約76秒より速い
 (津波高さO.P.7.5m+水深10mより)

