

### 3. 3 津波及び強震動の予測

#### 3. 3. 1. 津波予測

#### 目 次

##### (1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 8か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
  - 1) 平成25年度
  - 2) 平成26年度
  - 3) 平成27年度
  - 4) 平成28年度
  - 5) 平成29年度
  - 6) 平成30年度
  - 7) 平成31年度
  - 8) 平成32年度
- (e) 平成26年度業務目的

##### (2) 平成26年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
  - 1) 北陸沿岸26か所での日本海における大規模地震に関する調査検討会モデルによる津波高
  - 2) 確率論的津波予測のための頻度分布と浸水計算を行う断層の選定
  - 3) 浸水シミュレーション
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

##### (3) 平成27年度業務計画案

## (1) 業務の内容

### (a) 業務題目

#### 3.1 津波予測

### (b) 担当者

所属機関	役職	氏名
東京大学地震研究所	教授	佐竹健治
	特任研究員	室谷智子
	特任研究員	Gusman Aditya Riadi

### (c) 業務の目的

陸域・海域での構造調査や古地震・古津波・活構造調査などに基づいて得られた断層モデルから日本海沿岸における津波シミュレーションにより日本沿岸での津波波高を予測する。個々の断層モデルに基づく確定論的シナリオモデルの他に、各地に影響を及ぼす可能性のある断層からのシナリオを組み合わせた確率論的な津波予測も行う。

### (d) 8か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

#### 1) 平成25年度：

2011年東北地方太平洋沖地震による日本海で観測された津波波形を用いて、日本海沿岸での津波波形の再現を行い、日本海側での津波シミュレーションを行う上での解析手法や地形データの検証を行った。

津波予測シミュレーションを行うため、海底地形データ（日本海全域は30秒（900m）メッシュ、M7000シリーズの海底地形データが存在する日本周辺の領域は10秒（300m）メッシュ、日本沿岸域は2秒（60m）メッシュと1秒メッシュ（30m））、陸域地形データ（1秒メッシュ）の整備と、これらのデータを用いるための計算コードの整備を行った。以上の地形データと計算コードを用いて、1983年日本海中部地震と1993年北海道南西沖地震の日本海沿岸の津波痕跡高とシミュレーション値との比較、検証を行った。

他業務等との連携を図り、日本海東縁部における既知の断層や津波波源モデルなどを収集・検討し、本プロジェクトで津波危険度評価の対象とする海底活断層・沿岸伏在断層などを選定し、津波波源モデルの検討を開始した。

#### 2) 平成26年度：

北陸沖海域を中心とする海底活断層・沿岸伏在断層について、シナリオ型津波シミュレーションを実施する。また、当該沿岸に影響を及ぼす断層をリストアップし、確率論的津波予測のための準備を進める。

#### 3) 平成27年度：

北陸沖海域を中心とする海底活断層・沿岸伏在断層について、海域構造調査や海陸統合

構造調査により得られた断層モデルに基づき、引き続きシナリオ型津波シミュレーションを実施する。また、当該沿岸に影響を及ぼす断層について、津波発生確率の推定を行い、確率論的な津波波高予測を行う。

4) 平成28年度：

山陰-九州沖海域を中心とする海底活断層・沿岸伏在断層について、海域構造調査や海陸統合構造調査により得られた断層モデルに基づき、シナリオ型津波シミュレーションを行う。また、当該沿岸に影響を及ぼす断層をリストアップする。

5) 平成29年度：

山陰-九州沖海域を中心とする海底活断層・沿岸伏在断層について、海域構造調査や海陸統合構造調査により得られた断層モデルに基づき、引き続きシナリオ型津波シミュレーションを実施する。また、当該沿岸に影響を及ぼす断層について、津波発生確率の推定を行い、確率論的な津波波高予測を行う。

6) 平成30年度：

北海道・東北北部海域を中心とする海底活断層・沿岸伏在断層について、海域構造調査や海陸統合構造調査により得られた断層モデルに基づき、シナリオ型津波シミュレーションを行う。また、当該沿岸に影響を及ぼす断層をリストアップする。

7) 平成31年度：

北海道・東北北部海域を中心とする海底活断層・沿岸伏在断層について、海域構造調査や海陸統合構造調査により得られた断層モデルに基づき、引き続きシナリオ型津波シミュレーションを実施する。また、当該沿岸に影響を及ぼす断層について、津波発生確率の推定を行い、確率論的な津波波高予測を行う。

8) 平成32年度：

本プロジェクトで再検討した断層モデルを用いて、近接する海底活断層あるいは沿岸伏在断層の連動破壊を想定した津波シミュレーションを行い、低頻度の巨大地震も想定した沿岸津波高の評価を行う。

(e) 平成26年度業務目的

日本海における大規模地震に関する調査検討会（以下、調査検討会）でまとめられた北陸沖海域を中心とする海底活断層・沿岸伏在断層について、シナリオ型津波シミュレーションを実施する。また、過去の地震津波による津波堆積物の調査対象領域沿岸での津波高や浸水域の計算を行い、当該沿岸に影響を及ぼす断層をリストアップし、確率論的津波予測のための準備を進める。

## (2) 平成 26 年度の成果

### (a) 業務の要約

調査検討会が平成 26 年 9 月にまとめた 60 個の断層モデルを用い、主に北陸地方で津波堆積物調査などが行われている 26 か所の地点における沿岸での津波高を計算した。各地点における津波高の頻度分布を作成して、確率論的津波予測のための基礎資料としたほか、沿岸での津波高が 1 m を超える断層を抽出した。これらのモデルについては、細かい海底・陸上の地形データを用いて、陸上の浸水まで考慮したシミュレーションを行い、津波堆積物をもたらす可能性のある断層モデルの検討を行った。

### (b) 業務の成果

#### 1) 北陸沿岸 26 か所での調査検討会モデルによる津波高

本プロジェクト（2-1-2）で津波堆積物などの調査が行われている東北・北陸地方の沿岸 26 地点を選び（図 1、表 1）、調査検討会が平成 26 年 9 月にまとめた 60 断層モデル<sup>1)</sup>からの津波高を計算した（図 2）。

調査検討会における沿岸津波高の計算では 60 断層モデルについて大すべり域のある不均質すべりを仮定しているが、本検討ではすべり量は調査検討会モデルの平均すべり量を用いて一様とした。また沿岸での津波高については、格子サイズ 30 秒（約 900 m）の線形計算を行った。

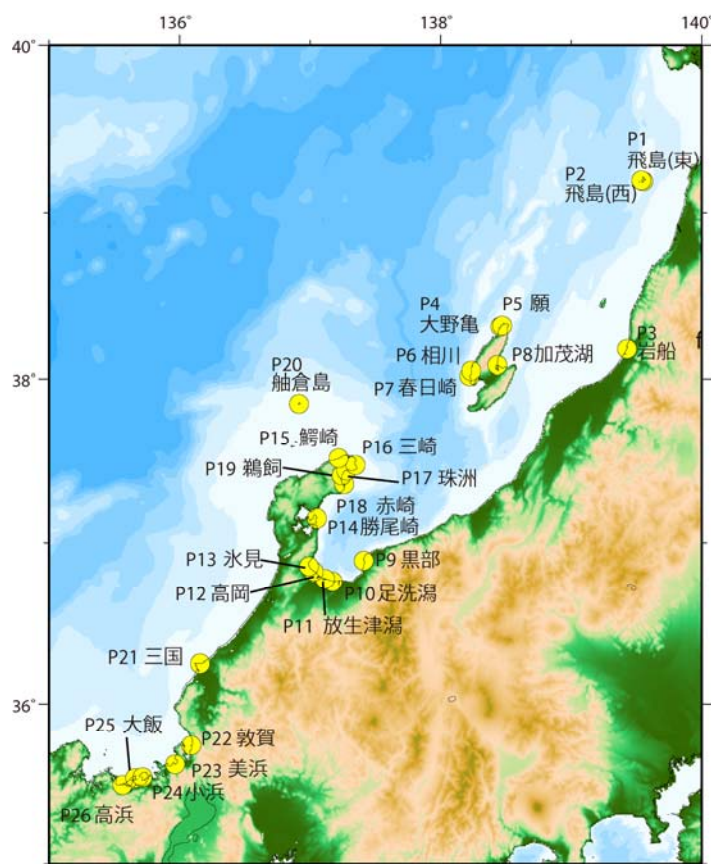


図 1 調査検討会の 60 断層モデルからの津波高を計算した 26 地点。

表1 調査検討会の60断層モデルからの津波高を計算した26地点とそれらの地点で浸水計算を行った断層名。\*印がついている地点は、本報告で詳細を掲載している地点。

地点 番号	地点名	緯度 (°N)	経度 (°E)	浸水計算を行った断層名
P1	飛島(東)*	39.19	139.55	F25, F27, F28, F29, F30, F31, F33
P2	飛島(西)*	39.20	139.54	
P3	岩船*	38.18	139.43	F14, F15, F16, F17, F18, F19, F20, F23, F24, F26, F27, F28, F29, F30, F31, F32, F33, F34, F35, F36, F37, F38, F39, F41
P4	大野亀*	38.32	138.46	F20, F23, F24, F26, F28, F30, F33, F35, F36, F37
P5	願*	38.32	138.47	
P6	相川*	38.05	138.24	F20, F23, F26, F28, F30, F39, F41, F42
P7	春日崎*	38.02	138.22	
P8	加茂湖*	38.08	138.44	F14, F15, F16, F17, F18, F19, F20, F23, F24, F26, F27, F28, F30, F31, F32, F33, F34, F35, F36, F37, F38, F41
P9	黒部	36.89	137.41	F41
P10	足洗瀉*	36.76	137.17	F20, F34, F38, F41, F45
P11	放生津瀉*	36.78	137.12	
P12	高岡	36.82	137.03	
P13	氷見	36.85	136.99	
P14	勝尾崎*	37.15	137.05	F38, F41, F45
P15	鰐崎*	37.52	137.22	F15, F20, F23, F24, F26, F28, F30, F31, F34, F35, F38, F39, F40, F41, F42, F44, F45
P16	珠洲	37.44	137.28	
P17	三崎	37.47	137.35	
P18	赤崎*	37.36	137.26	
P19	鵜飼*	37.41	137.24	
P20	舳倉島*	37.85	136.92	F20, F30, F35, F47
P21	三国	36.25	136.16	F49, F51
P22	敦賀	35.74	136.09	F49, F52, F53
P23	美浜	35.62	135.97	
P24	小浜	35.54	135.72	F18, F20, F28, F30, F31, F35, F41, F49, F51, F52, F53, F54
P25	大飯	35.54	135.66	
P26	高浜*	35.49	135.56	



各地点における津波高の頻度あるいは確率分布を示す。

これらの地点で津波高が 1 m を超える断層を選出し、詳細な浸水シミュレーションの対象とした。各地点について選出された断層モデルを表 1 に示す。選出された断層の数は 1 断層（黒部）から 24 断層（岩船）と、地点によって大きく異なる。

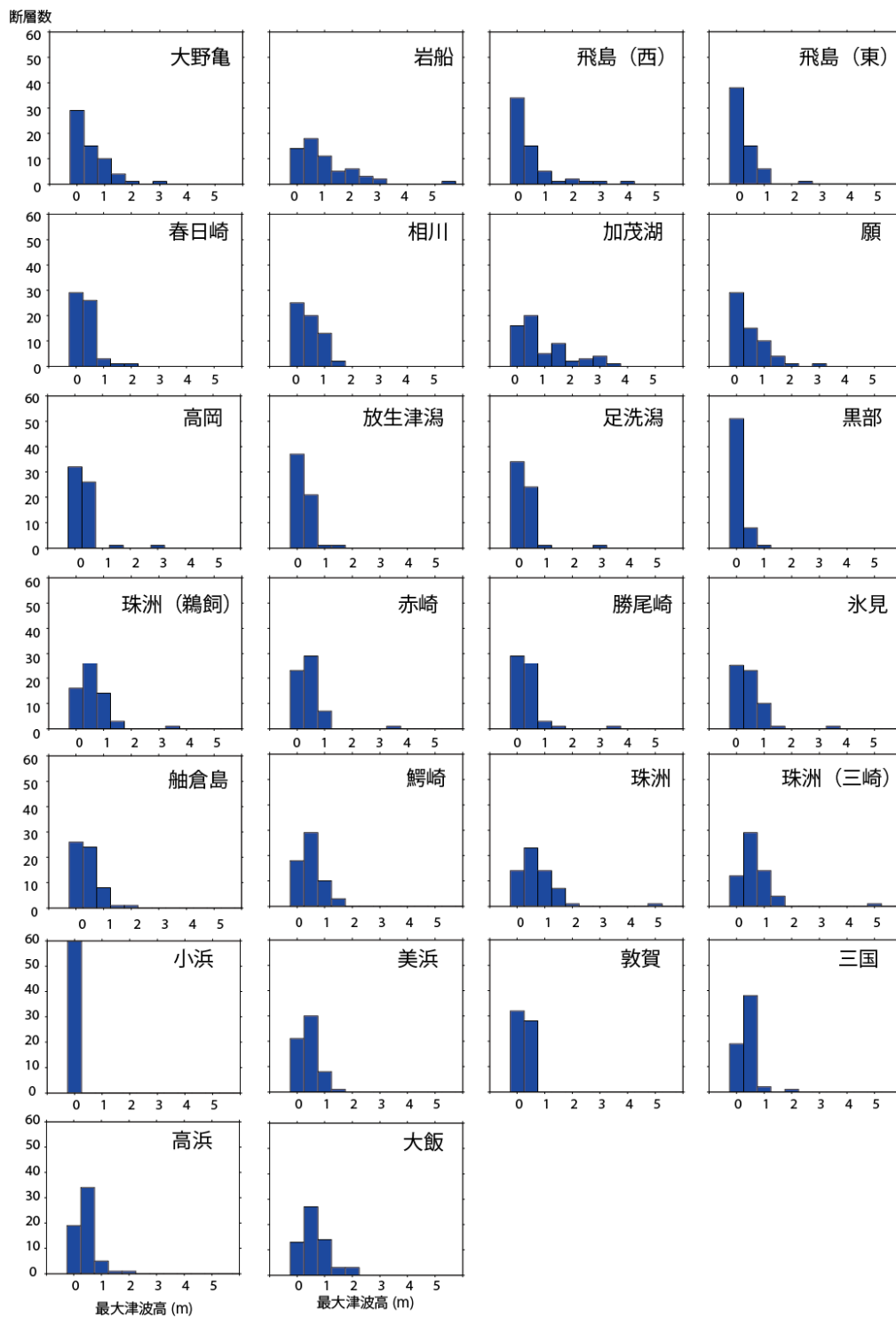


図 3 26 地点における調査検討会 60 断層モデルからの津波高の頻度分布

### 3) 浸水シミュレーション

浸水計算には、昨年度の業務で整備した日本海とその沿岸域における 27 秒、9 秒、3 秒、1 秒メッシュの海底地形データと 3 秒、1 秒メッシュの陸域地形データを用いた。以下の図で示す浸水域はすべて 1 秒（約 30 m）格子を用いたものである。津波浸水計算は、移流項と海底摩擦項（マニングの粗度係数は  $0.03 \text{ m}^{-1/3}$  とした）の入った非線形浅水波方程式を利用し、地震発生から 5 時間後までの計算を行った。

以下では 26 地点のうち、本プロジェクトの 2-1-2 など津波堆積物が確認されている 16 点での結果のみを掲載する。

#### ○飛島

山形県酒田市の飛島（P1、P2）では F28 断層からの津波高が最大である。東海岸（P1、図 1）では、線形計算で 2.5 m、非線形計算では 3.5 m となった（図 4）。西海岸（P2）では非線形計算の結果は 4.55 m とさらに大きく浸水している。西海岸では F30 断層（4.14 m）、F31 断層（4.50 m）による津波高も大きい（表 1）、これらの断層は飛島近傍に位置するため、地殻変動（隆起）の影響も含まれている。

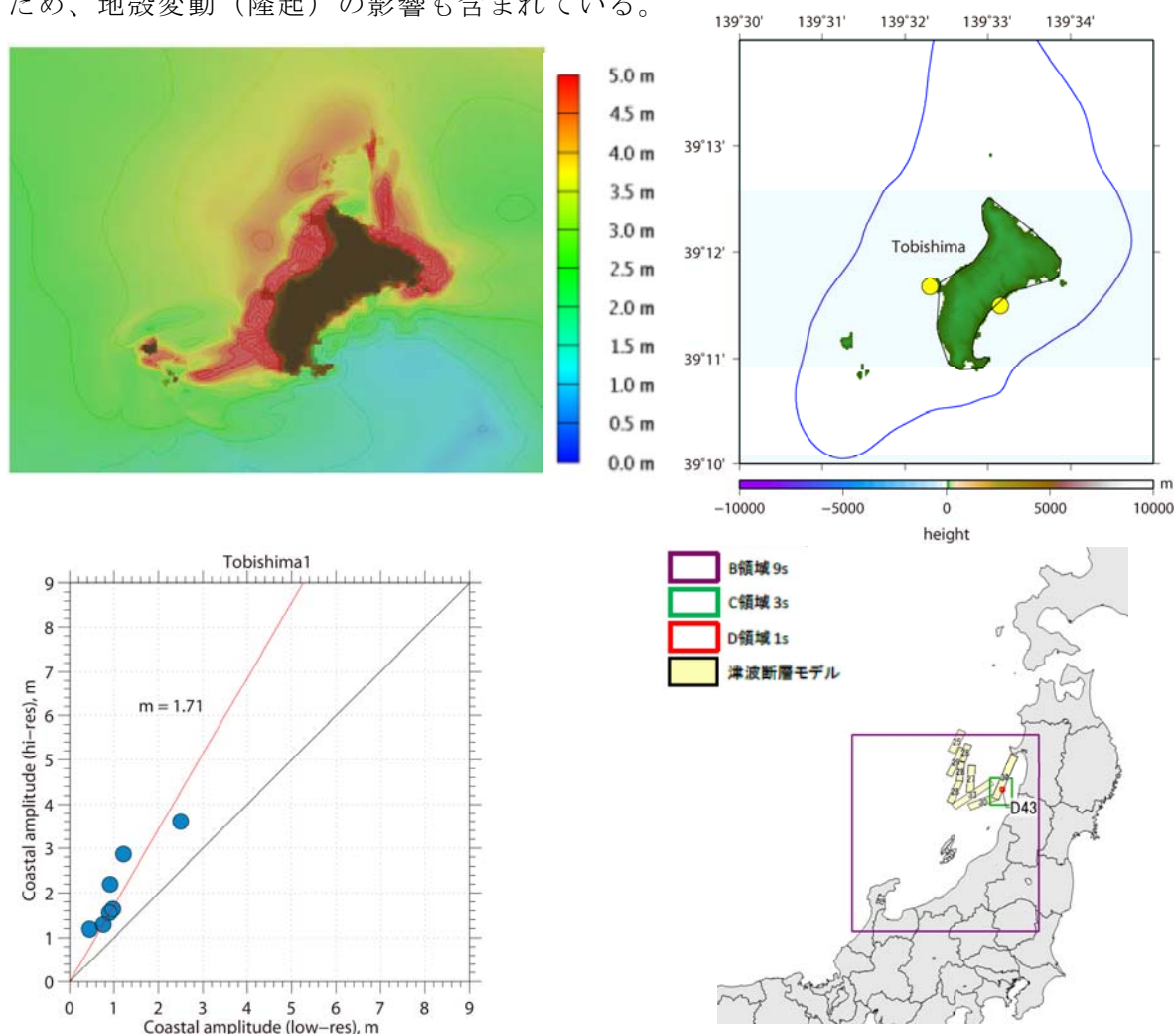


図 4 飛島（右上）における浸水シミュレーション（断層 F28、左上）、線形計算(low-res)と非線形(high-res)浸水シミュレーションによる水位の比較（飛島東、左下）と断層の位置図（右下）。左下図の  $m$  (1.71) は非線形と線形計算による津波高の比の平均値を表す。



○岩船

新潟県岩船市（P3）においては、線形計算では F35 断層の津波高が 5.69 m と突出して大きい（図 5）が、非線形計算では 4.40 m となり、F34 断層からの津波高（4.82 m）の方が大きくなった。これらの断層からの津波は岩船南方の沿岸で浸水する（図 5）。

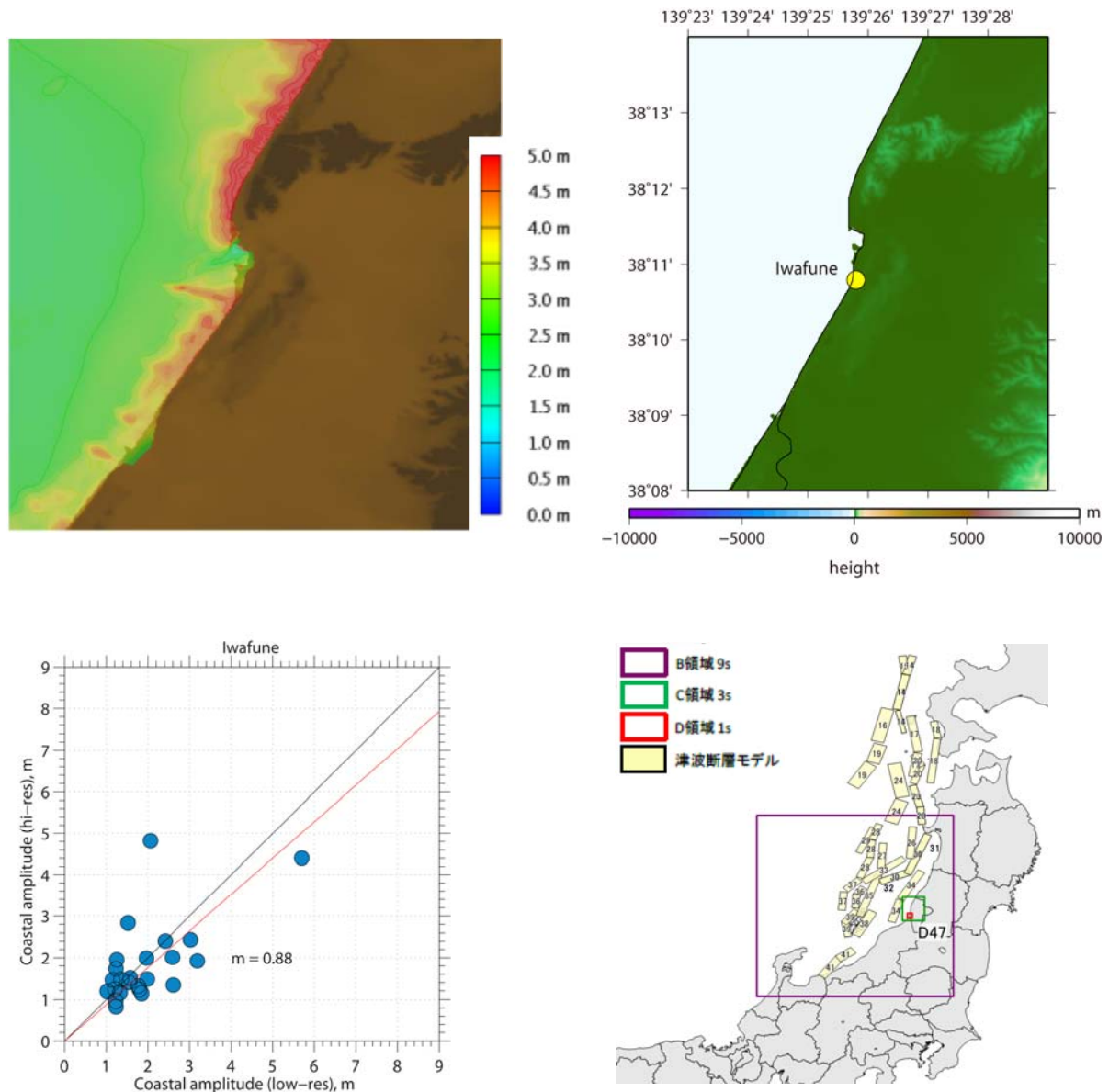


図 5 岩船（右上）における浸水シミュレーション（断層 F35、左上）、線形計算と非線形浸水シミュレーションによる水位の比較(左下)と断層の位置図(右下)。左下図の  $m$  (0.88) は非線形と線形計算による津波高の比の平均値を表す。

○大野亀・願

佐渡島北東部の大野亀 (P4)、願 (P5) においては、線形計算では F20 断層からの津波高が最大であった。非線形計算によると大野亀では F20 断層、F30 断層からの津波高が 4 m を超え、願では F26 断層からの津波高が 6 m を超えて最大であったほか (図 6)、F20、F33 断層からの津波高も 5 m を超えた。

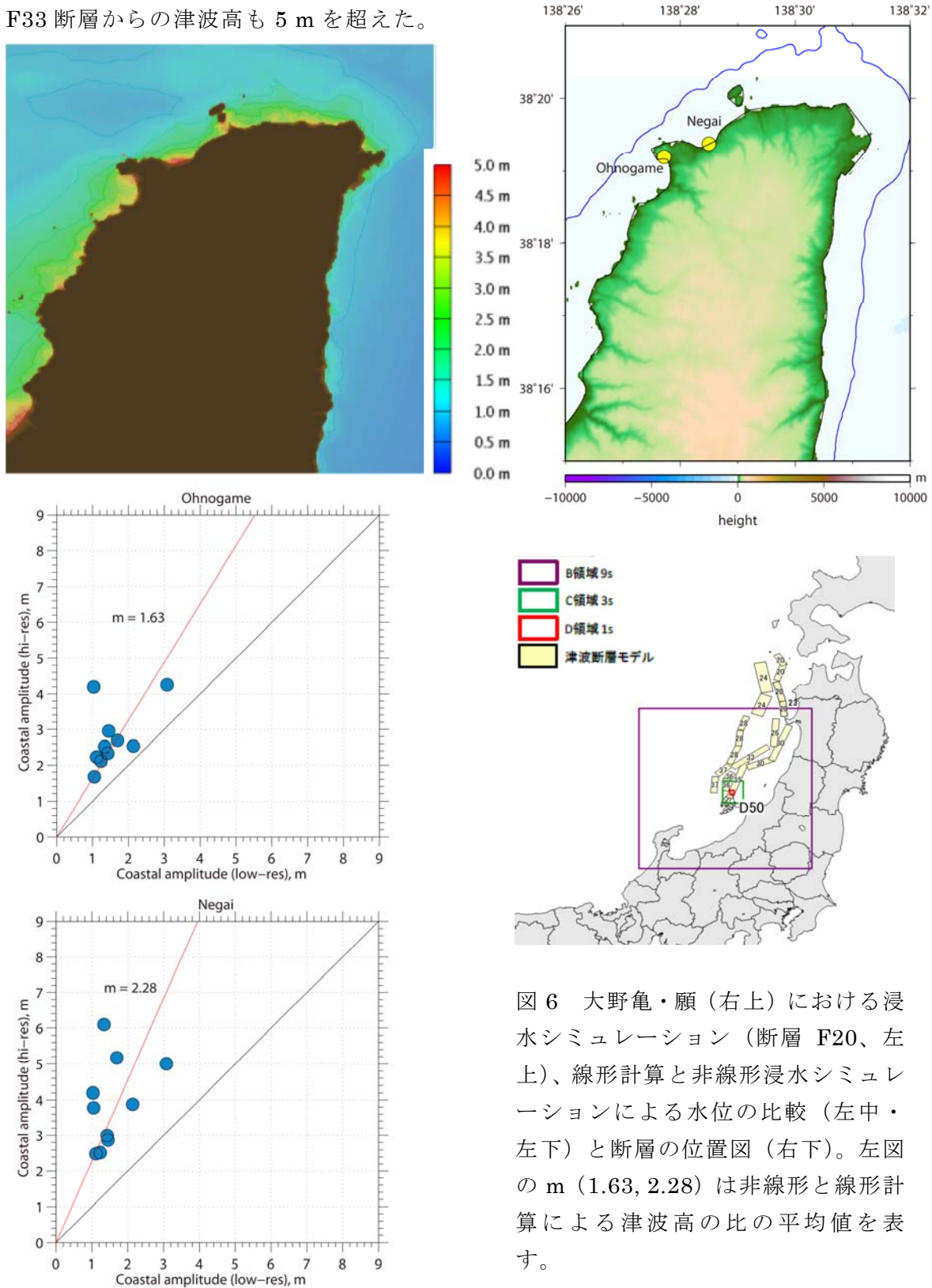


図 6 大野亀・願 (右上) における浸水シミュレーション (断層 F20、左上)、線形計算と非線形浸水シミュレーションによる水位の比較 (左中・左下) と断層の位置図 (右下)。左図の  $m$  (1.63, 2.28) は非線形と線形計算による津波高の比の平均値を表す。

○相川・春日崎

佐渡島西部の相川（P6）、春日崎（P7）では、線形・非線形計算ともに F39 断層からの津波高が最大であった（図 7）が、線形計算ではともに 2 m 未満であった津波高が、非線形計算では 3.82 m（相川）、3.19 m（春日崎）と大きくなった。

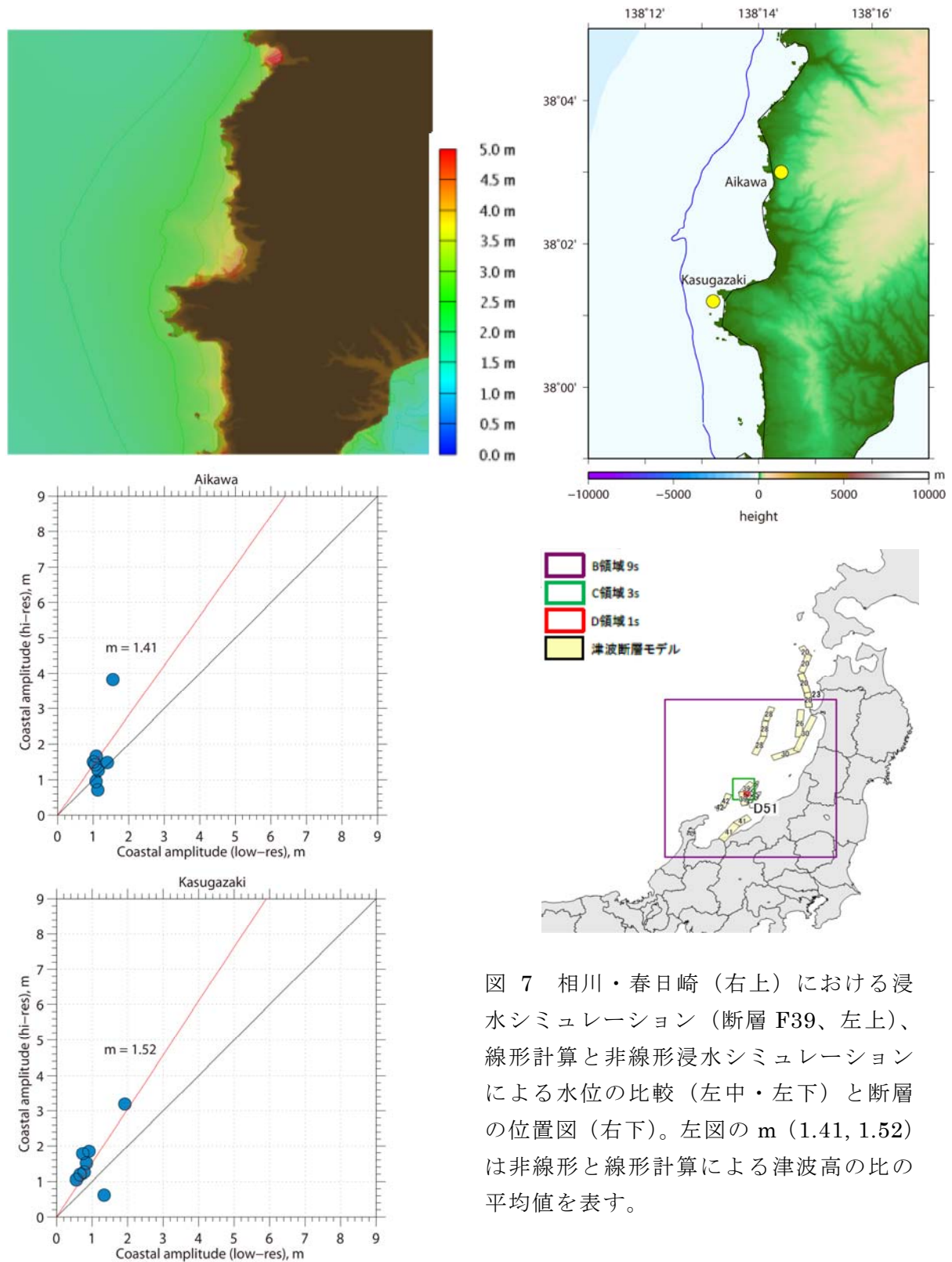


図 7 相川・春日崎（右上）における浸水シミュレーション（断層 F39、左上）、線形計算と非線形浸水シミュレーションによる水位の比較（左中・左下）と断層の位置図（右下）。左図の  $m$  (1.41, 1.52) は非線形と線形計算による津波高の比の平均値を表す。

○加茂湖

佐渡島中央部の加茂湖（P8）では、線形計算によると F26、F33、F34 の断層からの津波高が 3 m を超え、その他の 6 断層（F20、F28、F30、F31、F35、F38）からの津波高が 2 m を超える。現在の地形は外海と幅 20–30 m 程度、長さ 500 m 程度の水路で接続されたほぼ閉じた湖となっている。現在の地形のまま非線形浸水計算を行ったところ、これらの断層からの津波はいずれも加茂湖に進入しなかった。そこで、外海との境界部で標高 1 m 以下の部分を海として、加茂湖内を含め水深をすべて 5.5 m に変更して浸水計算を行った（図 8）。その結果、F34 断層からの津波高が最大となったが、その高さは 2 m 以下であった。津波高がほぼ 1 m 以上になるのは、F28、F30、F34、F35、F38 の 5 断層であった。

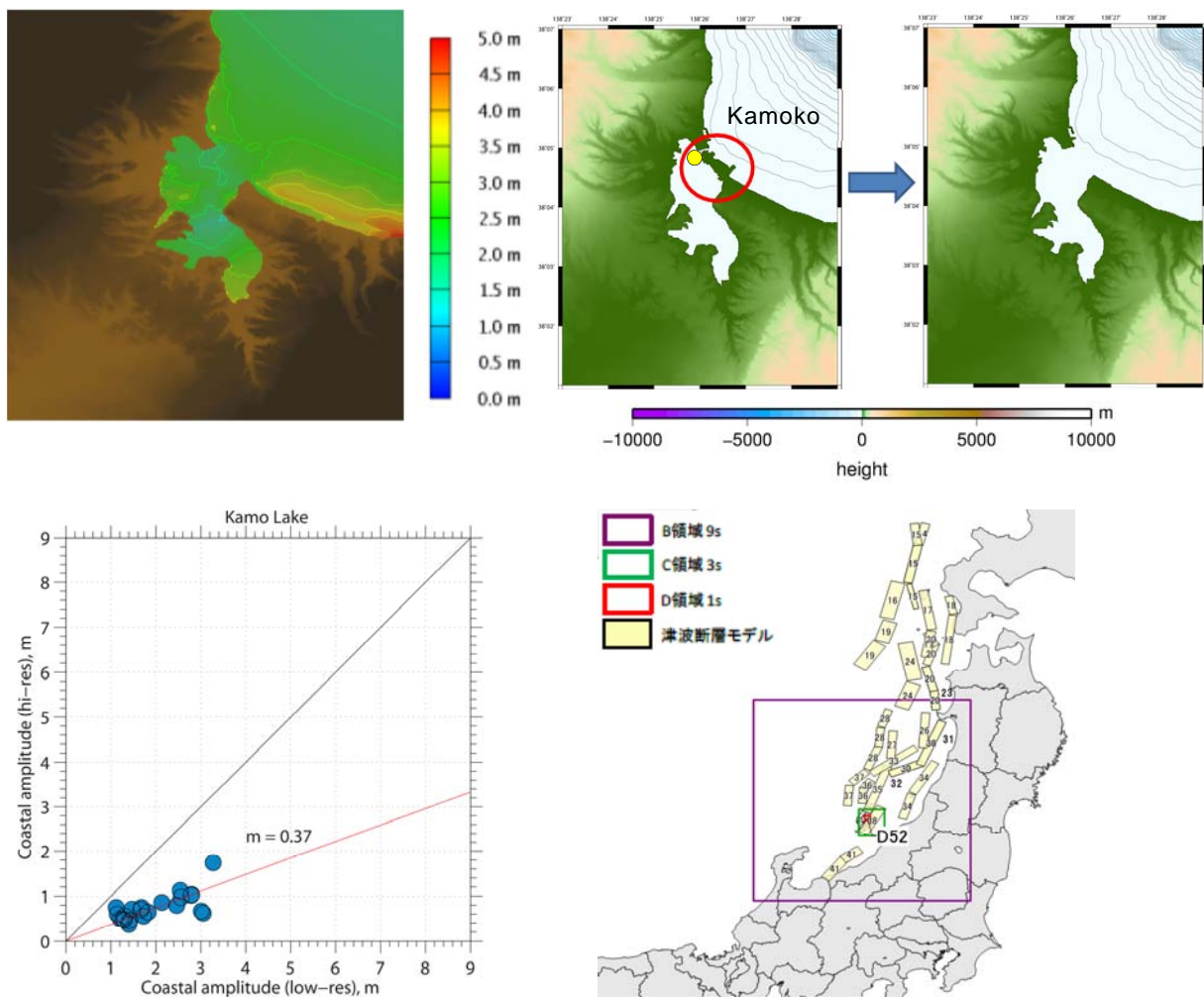


図 8 加茂湖（右中）における浸水シミュレーション（断層 F34、左上）、線形計算と非線形浸水シミュレーションによる水位の比較（左下）と断層の位置図（右下）。加茂湖内への浸水のため、湾口部を標高 1 m 以下の格子を水深 5.5 m に変更して修正した（中）。左下図の  $m$  (0.37) は非線形と線形計算による津波高の比の平均値を表す。

○足洗潟・放生津潟

富山県射水市の足洗潟（P10）及び新湊市の放生津潟（P11）では線形・非線形計算ともに F41 断層からの津波高が他の断層と比べて大きかった。足洗潟では非線形計算による高さは 2.5 m であり、海岸で若干の浸水が見られた（図 9）が、放生津潟では 1.5 m でほとんど浸水しなかった。

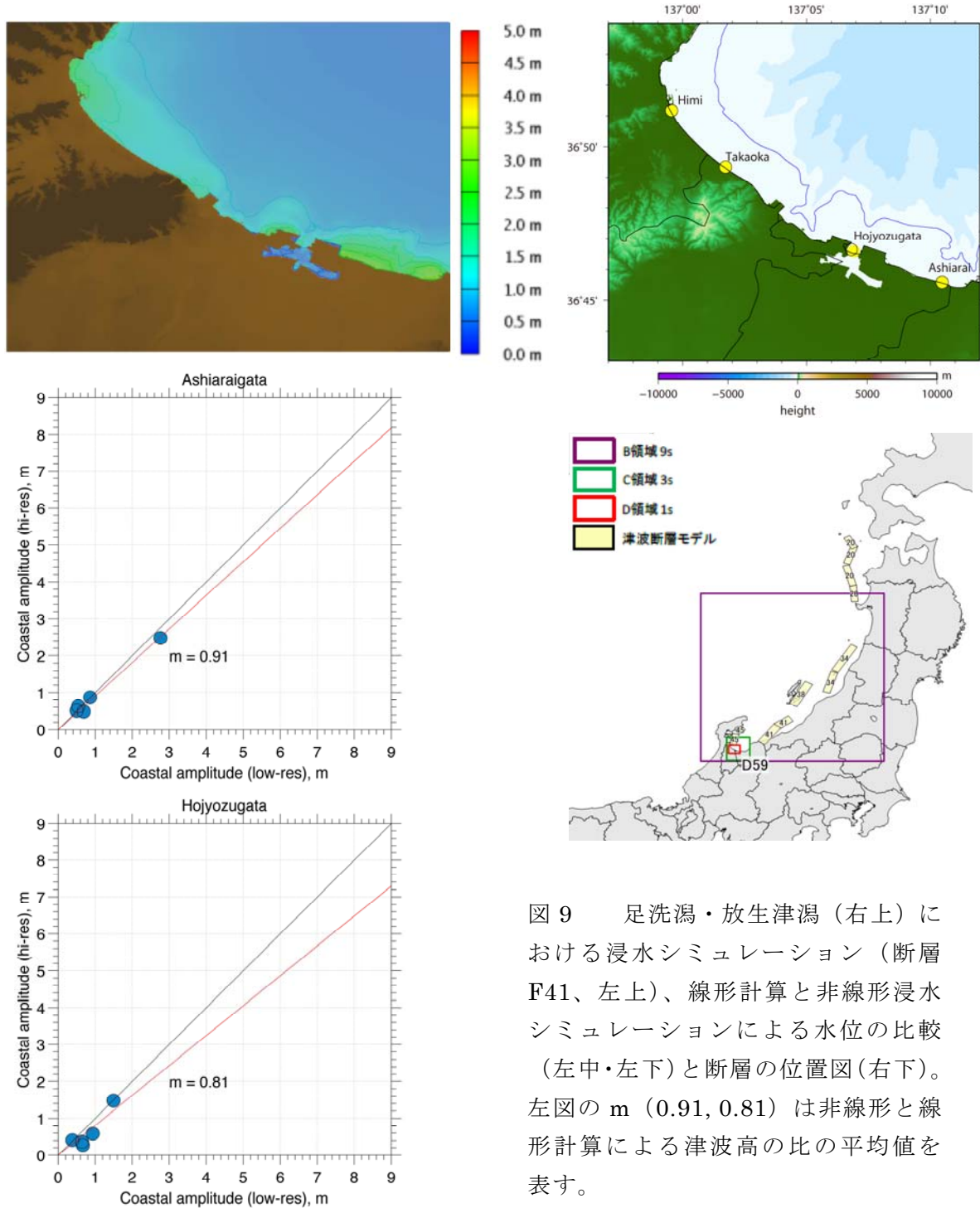


図 9 足洗潟・放生津潟（右上）における浸水シミュレーション（断層 F41、左上）、線形計算と非線形浸水シミュレーションによる水位の比較（左中・左下）と断層の位置図（右下）。左図の  $m$  (0.91, 0.81) は非線形と線形計算による津波高の比の平均値を表す。

○勝尾崎

石川県七尾市能登島の勝尾崎（P14）では、線形・非線形計算ともに F41 断層からの津波高が最大であったが、線形計算によると 3.4 m の津波高が非線形計算では 1.67 m となり、沿岸の一部が浸水するのみであった（図 10）。

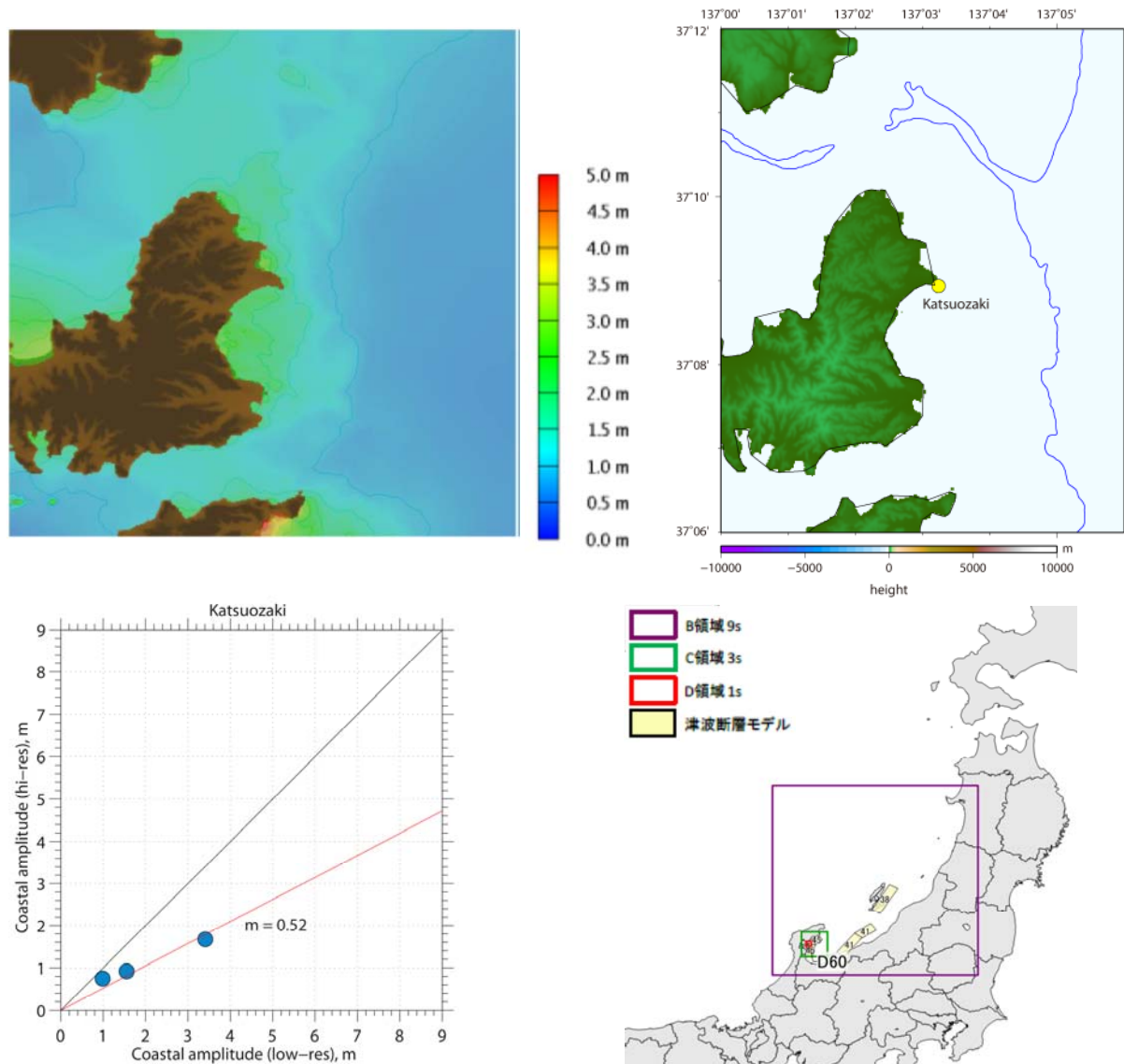


図 10 勝尾崎（右上）における浸水シミュレーション（断層 F41、左上）、線形計算と非線形浸水シミュレーションによる水位の比較（左下）と断層の位置図（右下）。左下図の  $m$  (0.52) は非線形と線形計算による津波高の比の平均値を表す。

○ 鰐崎

能登半島の先端に位置する石川県珠洲市鰐崎（P15）では、線形計算では F20、F23、F39、F42、F44 の 5 断層、非線形計算では F15、F20、F23、F24、F28、F30、F31、F34、F35、F39、F41 の 11 断層からの津波高が 1 m 以上となったが、いずれも 1.5 m 以下であり、陸上にはほとんど浸水しなかった（図 11）。

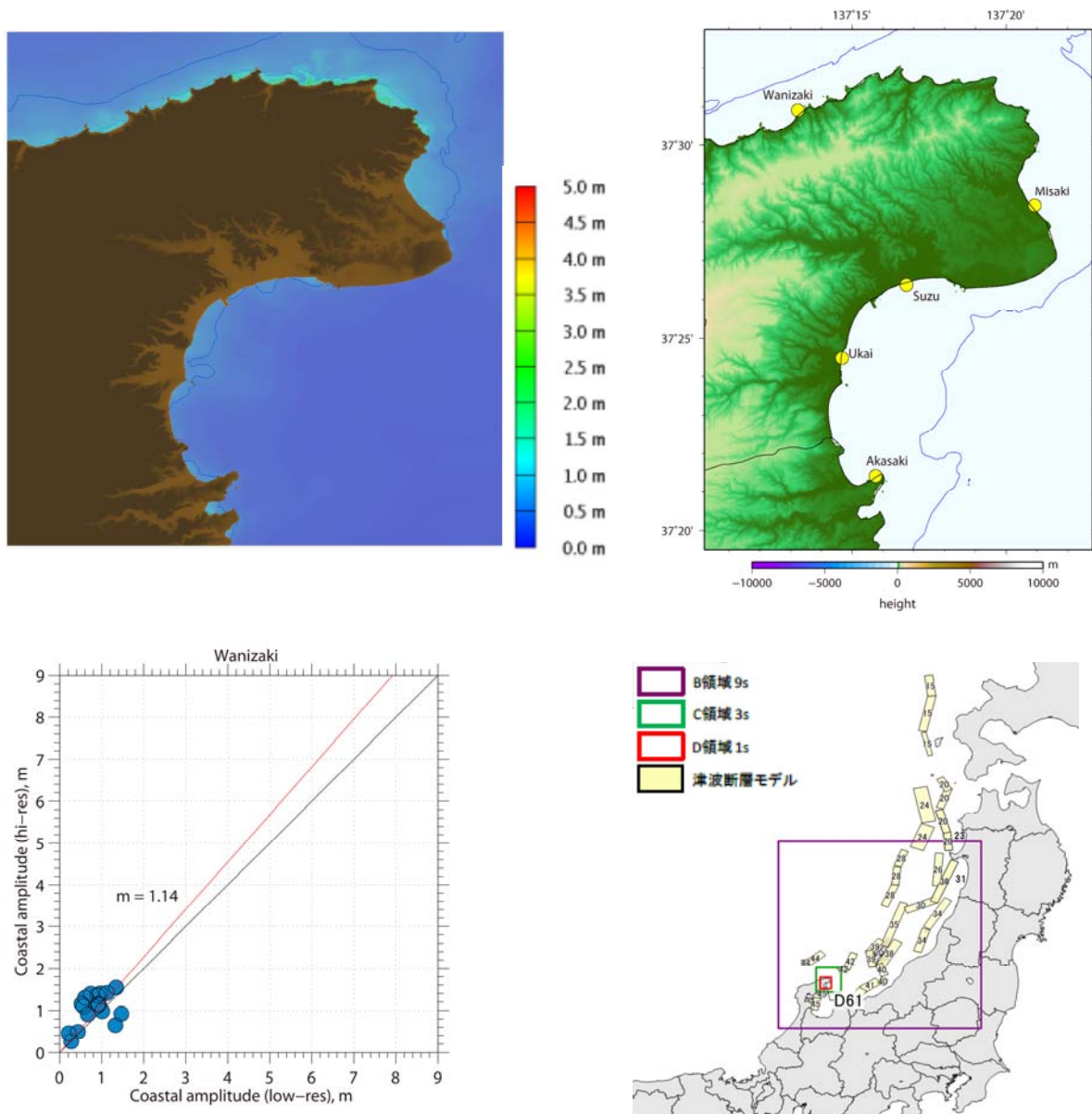


図 11 鰐崎（右上）における浸水シミュレーション（断層 F44、左上）、線形計算と非線形浸水シミュレーションによる水位の比較（左下）と断層の位置図（右下）。左下図の  $m$  (1.14) は非線形と線形計算による津波高の比の平均値を表す。

○赤崎・鵜飼

石川県能都町赤崎（P18）、珠洲市鵜飼（P19）では、線形・非線形計算ともに F41 断層からの津波高が他の断層に比べて突出して大きかった。非線形計算による津波高は赤崎で 2.6 m、鵜飼で 3.7 m であり沿岸の一部が浸水した（図 12）。

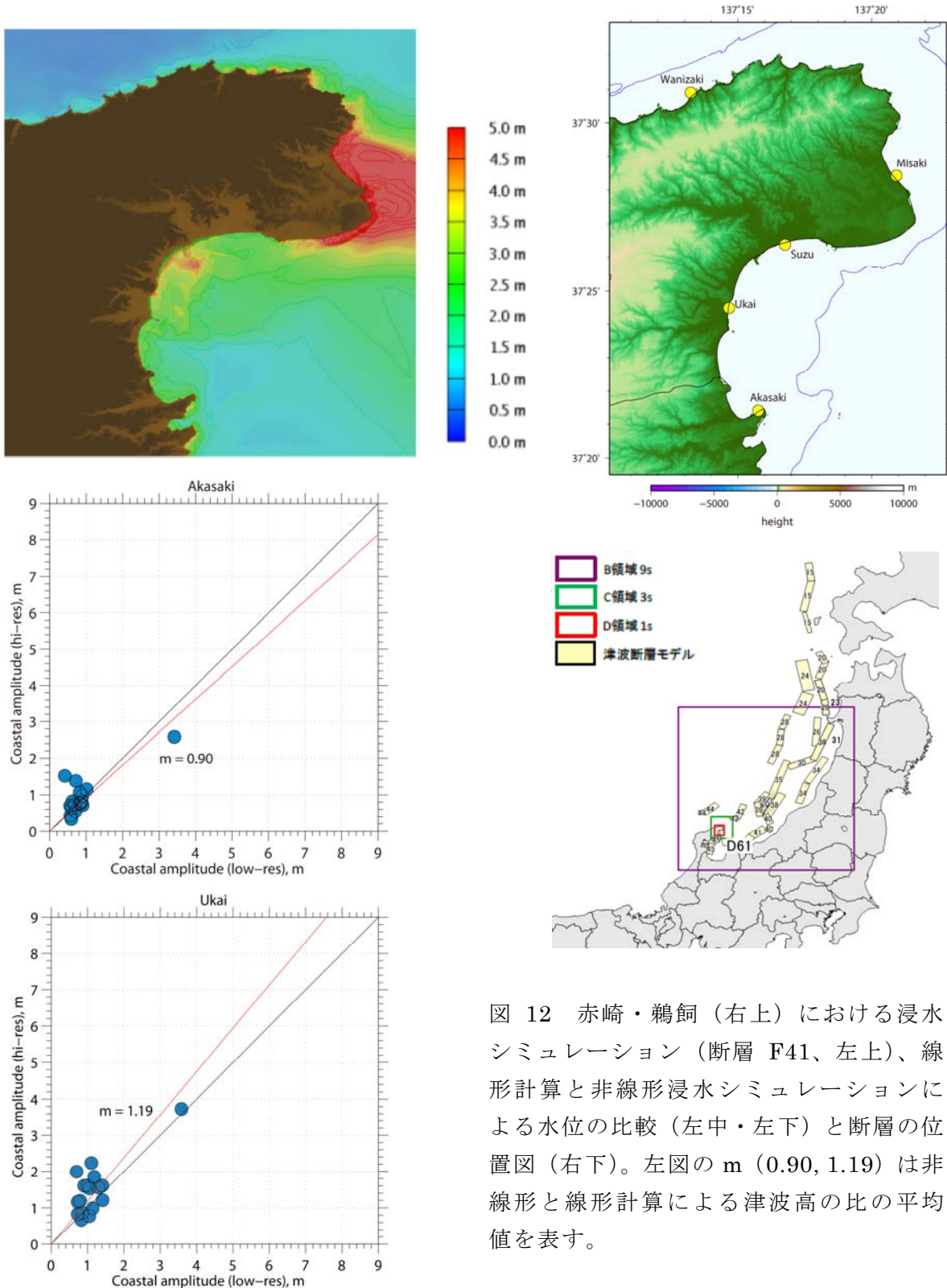


図 12 赤崎・鵜飼（右上）における浸水シミュレーション（断層 F41、左上）、線形計算と非線形浸水シミュレーションによる水位の比較（左中・左下）と断層の位置図（右下）。左図の  $m$  (0.90, 1.19) は非線形と線形計算による津波高の比の平均値を表す。



○舳倉島

能登半島の北方約 50 km に位置する石川県輪島市の舳倉島 (P20) では、線形計算で 1m を超える津波をもたらし 4 断層 (F20、F30、F35、F47) のうち、非線形計算では F30 断層からの津波高が最大で 3.1 m、F35 が 2.7 m、F20 が 2.3 m と続く。これらの断層モデルから津波は島の周囲の一部で陸上に浸水した (図 13)。

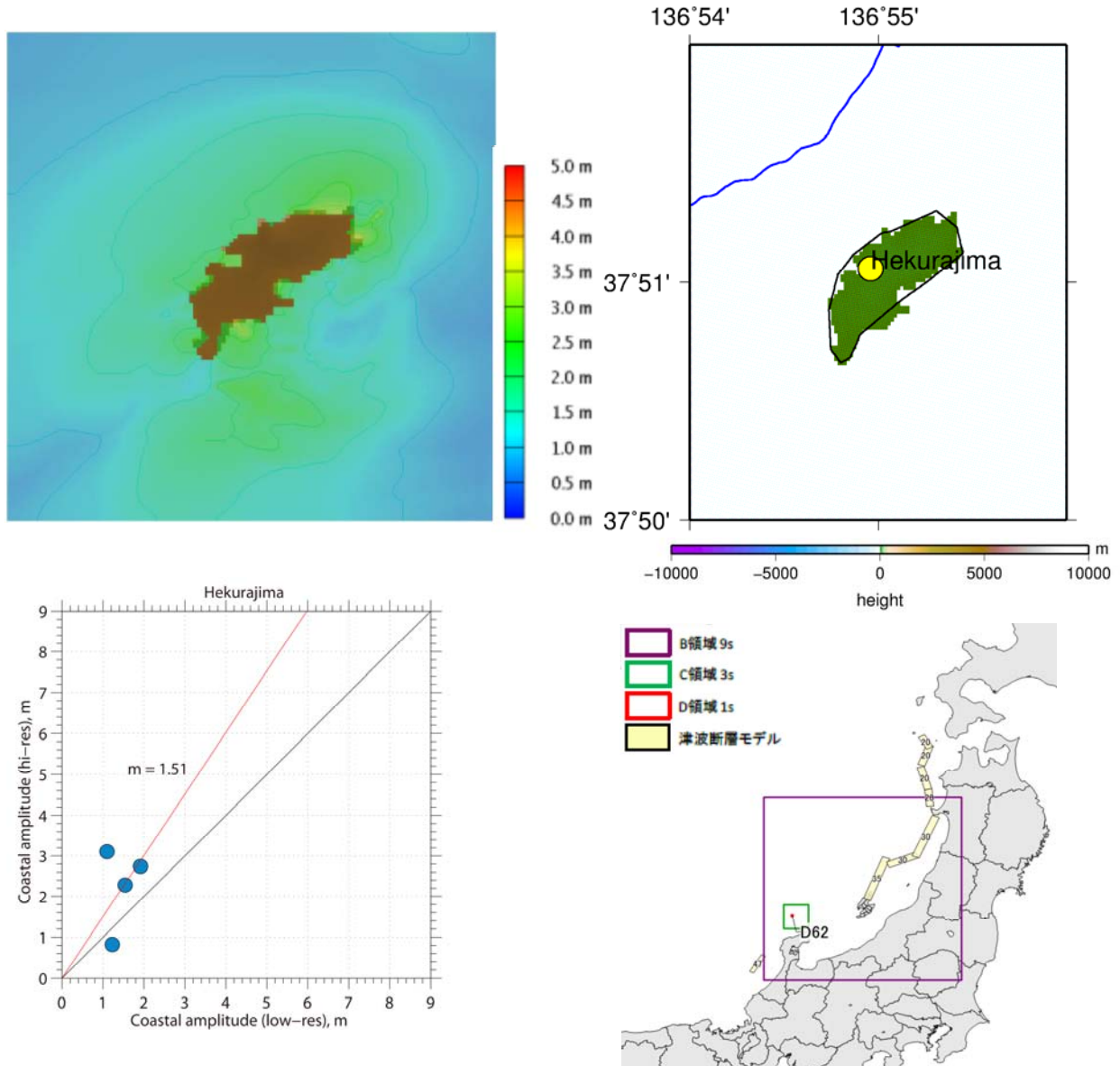


図 13 舳倉島 (右上) における浸水シミュレーション (断層 F35、左上)、線形計算と非線形浸水シミュレーションによる水位の比較 (左下) と断層の位置図 (右下)。左下図の  $m$  (1.51) は非線形と線形計算による津波高の比の平均値を表す。

○高浜

福井県高浜町 (P26) では、線形計算で 1m を超える津波高をもたらしたのは F20、F41、F49、F52、F53 の 5 断層であったが、非線形計算で 1m 程度を超えたのは F18、F20、F52 の 3 断層であった。津波高はいずれも 1 m 程度であり (図 14)、沿岸にはほとんど浸水しなかった。

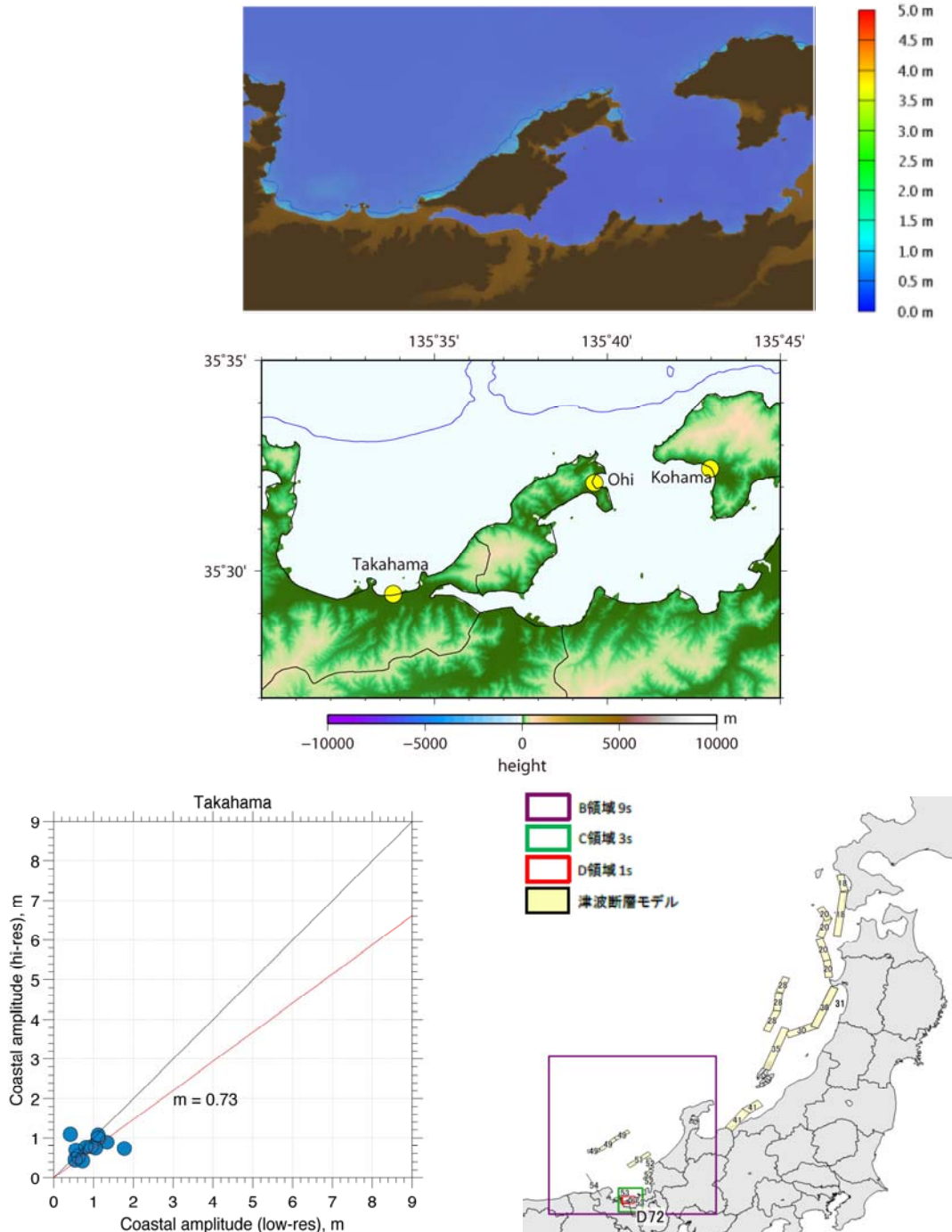


図 14 高浜 (中) における浸水シミュレーション (断層 F49、上)、線形計算と非線形浸水シミュレーションによる水位の比較 (左下) と断層の位置図 (右下)。左下図の  $m$  (0.73) は非線形と線形計算による津波高の比の平均値を表す。

(c) 結論ならびに今後の課題

調査検討会によってパラメーターが与えられた 60 断層について、北陸地方の 26 地点での津波高を計算し、その頻度分布を調べた。特定の断層からの津波高が他の断層に比べて高くなった地点もある一方で、いずれの断層からの津波高も同程度である地点もあった。これらの断層における地震発生の確率を与えることができれば、これらの地点における確率論的な津波高の推定を行うことができる。

これらの地点について、沿岸での津波高が 1m 以上になった断層について、詳細な水深・地形データを用いた非線形浸水計算を行った。その結果、各地で浸水をもたらす可能性のある断層を抽出することができた。これらの結果は、本プロジェクト 2-1-1, 2-1-2 の調査結果と比較することによって、津波堆積物や歴史時代の津波をもたらした波源を特定するのに役立つと考えられる。

今後は、調査検討会の 60 断層モデル以外に、本プロジェクトで推定された断層モデルについても同様な検討をおこなう予定である。

(d) 引用文献

1) 日本海における大規模地震に関する調査検討会：日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書，[http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/daikibojishinchousa/](http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/daikibojishinchousa/)，平成 26 年 9 月公表。

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
Murotani, S., M. Iwai, K. Satake, G. Shevchenko and A. Loslutov	Tsunami Forerunner of the 2011 Tohoku Earthquake Observed in the Sea of Japan	Pure and Applied Geophysics (論文)	2015 年 3 月 1 日
室谷智子・岩井麻樹・佐竹健治	2011 年東北地方太平洋沖地震発生直後の日本海沿岸での微小変動	日本地球惑星科学連合大会 2014 年 (ポスター)	2014 年 5 月 1 日
Murotani, S., M. Iwai, K. Satake	Interpretation of oscillations starting immediately after the 2011 Tohoku earthquake in the Japan Sea	AOGS 11th Annual Meeting (ポスター)	2014 年 8 月 1 日
Gusman, R. A.	Toward the integration of seismic analysis and tsunami model for rapid inundation forecasting system	Indian Ocean Tsunami 10th Anniversary Conference (口頭発表)	2014 年 11 月 25 日
Gusman, R. A., and Y. Tanioka	A Methodology for Near-Field Tsunami Inundation Forecasting	AGU Fall Meeting 2014	2014 年 12 月 16 日

		(ポスター)	
--	--	--------	--

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

### (3) 平成27年度業務計画案

北陸沖海域を中心とする海底活断層・沿岸伏在断層について、海域構造調査や海陸統合構造調査により得られた断層モデルに基づき、引き続きシナリオ型津波シミュレーションを実施する。また、当該沿岸に影響を及ぼす断層について、確率論的な津波波高予測を行う。