

# 地震動・津波計算について

令和4年8月25日

宮城県復興・危機管理部防災推進課

# 今回の主な論点

- 第2回部会において、被害想定を行う地震の規模・タイプを決定した。
- 今回は、その後の条件設定や計算結果及びその注意点、今後の予定について議論を行う。

## 第2回部会（前回）での決定事項

①最大クラスの地震	M9.0程度	5月公表の津波浸水想定を活用
②プレート間巨大地震	M8.0程度	
③沈み込んだプレート内地震	M7.5程度	
④長町-利府線断層に起因する直下型地震	M7.0～7.5前後	津波なし



## 今回の主な論点

資料 2	1 地震動・津波計算	①最大クラスの地震	②プレート間巨大地震	③沈み込んだプレート内地震	④長町-利府線断層に起因する直下型地震
	地震	今回	今回	今回	今回
	津波	(実施済)	今回	(次回)	(不要)
資料 3	2 まとめと注意点				
	3 今後の予定				

# 1. 地震動・津波計算

## 強震動計算

### 震源モデルの設定 (p.4~8)

- ・ 第2回部会で規模・タイプを決定した地震の詳細な情報を設定

### 解析手法と地盤モデル (p.9~12)

- ・ 今回の被害想定のお趣旨を踏まえた強震動計算手法, 地盤モデルの選定

### 計算結果と評価 (p.13~16)

- ・ 計算結果の妥当性を評価

## 液状化計算 (p.17~20)

### 解析手法, 地質データの選定

### 計算結果の妥当性を評価

## 津波計算 (p.21~22)

### 波源モデルの設定

### 計算結果の妥当性を評価

# ①最大クラスの地震

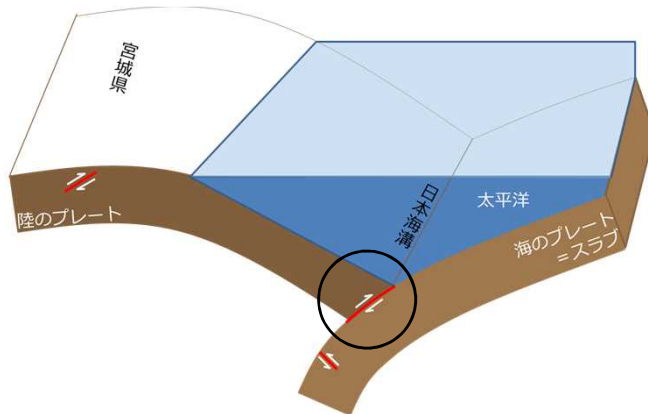
①最大クラスの地震	M9.0程度	5月公表の津波浸水想定を活用
②プレート間巨大地震	M8.0程度	
③沈み込んだプレート内地震	M7.5程度	
④長町-利府線断層に起因する直下型地震	M7.0～7.5前後	津波なし

- **5月公表の「最大クラスの津波浸水想定」に対応した強震動（震度等）の計算を行う。**
  - ※ **津波浸水想定では、強震動（震度等）を計算していないため。津波はすでに公表したものを活用する。**
  - 津波計算を行った3モデルのうち、震度が最大となる**東北地方太平洋沖地震の強震動計算を実施。**
- 強震断層モデルは、内閣府モデルを用いる。

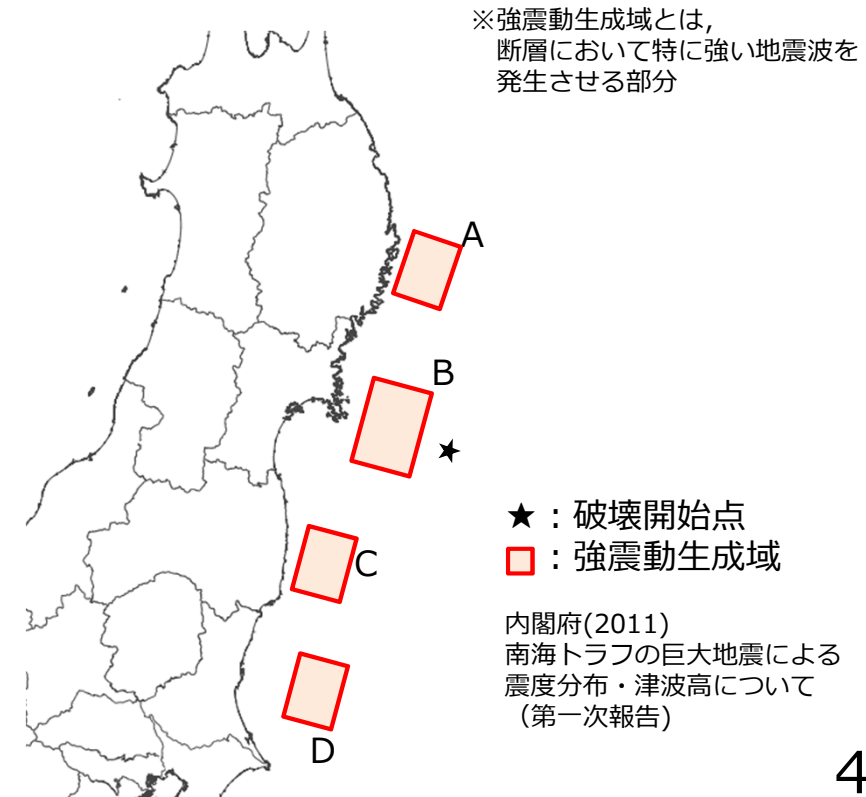
東北地方太平洋沖地震の強震断層パラメータ

	強震動生成域			
	A	B	C	D
面積(km <sup>2</sup> )	2,000	3,500	2,000	2,000
地震モーメントMo(Nm)	9.30×10 <sup>20</sup>	2.10×10 <sup>21</sup>	8.80×10 <sup>20</sup>	8.80×10 <sup>20</sup>
モーメントマグニチュードMw	7.9	8.1	7.9	7.9
応力降下量(MPa)	25.3	24.2	24	24

東北地方太平洋沖地震の概念図



東北地方太平洋沖地震の強震動生成域（SMGA）位置図



# ②プレート間巨大地震

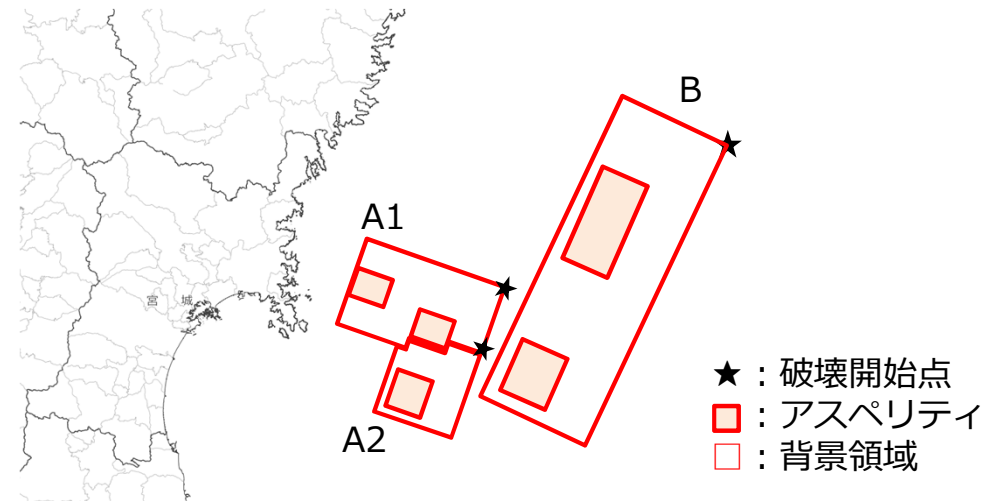
①最大クラスの地震	M9.0程度	5月公表の津波浸水想定を活用
②プレート間巨大地震	<b>M8.0程度</b>	
③沈み込んだプレート内地震	M7.5程度	
④長町-利府線断層に起因する直下型地震	M7.0～7.5前後	津波なし

- **第四次想定で検討していた宮城県沖地震（連動型）を採用**する。
- 断層パラメータは地震本部の「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」（強震動予測レシピ）により設定。
  - ・ アスペリティは、第四次想定を踏襲。

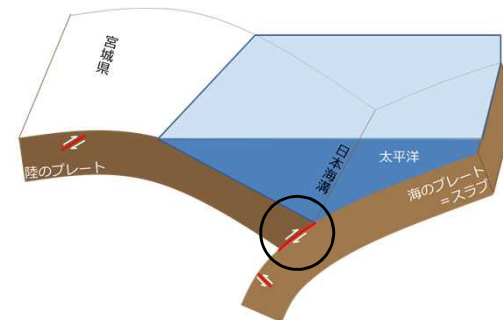
宮城県沖地震（連動型）の強震断層パラメータ

	値	備考		
マグニチュードM	8.0	第四次想定		
モーメントマグニチュードMw	8.0	Mw=M		
地震モーメントM <sub>0</sub> (Nm)	1.26×10 <sup>21</sup>	log <sub>10</sub> M <sub>0</sub> = 1.5Mw + 9.1		
	A1	A2	B	
緯度(°)	38.41	38.20	38.95	
経度(°)	142.49	142.39	143.52	
走向(°)	200	200	205	
傾斜角(°)	21	21	12	
上端深さ(km)	26	26	14	
長さ(km)	36	40	132	
幅(km)	64	36	46	
すべり角(°)	85	85	90	
地震モーメントM <sub>0</sub> (Nm)	2.88×10 <sup>20</sup>	1.41×10 <sup>20</sup>	8.30×10 <sup>20</sup>	
モーメントマグニチュードMw	7.6	7.4	7.9	

宮城県沖地震（連動型）の強震断層位置図



宮城県沖地震（連動型）の概念図



# ③沈み込んだプレート内地震 (スラブ内地震※)

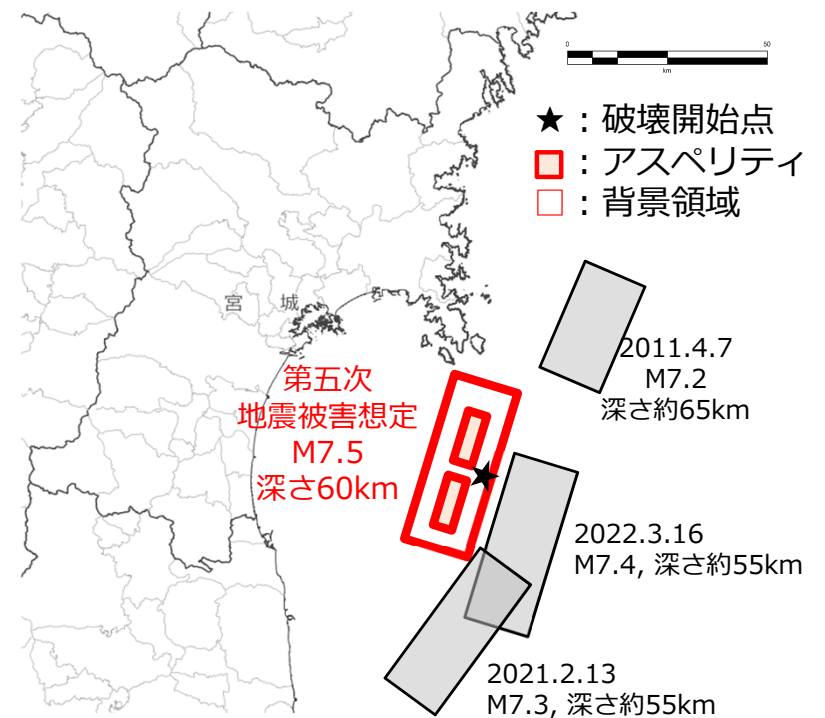
①最大クラスの地震	M9.0程度	5月公表の津波浸水想定を活用
②プレート間巨大地震	M8.0程度	
③沈み込んだプレート内地震	<b>M7.5程度</b>	
④長町-利府線断層に起因する直下型地震	M7.0~7.5前後	津波なし

- 過去の発生位置や、本県への被害の大きさを考慮し、**震源位置を過去よりも陸側かつ仙台圏域側に設定。**
- 断層パラメータは地震本部の「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」(強震動予測レシピ)により設定。

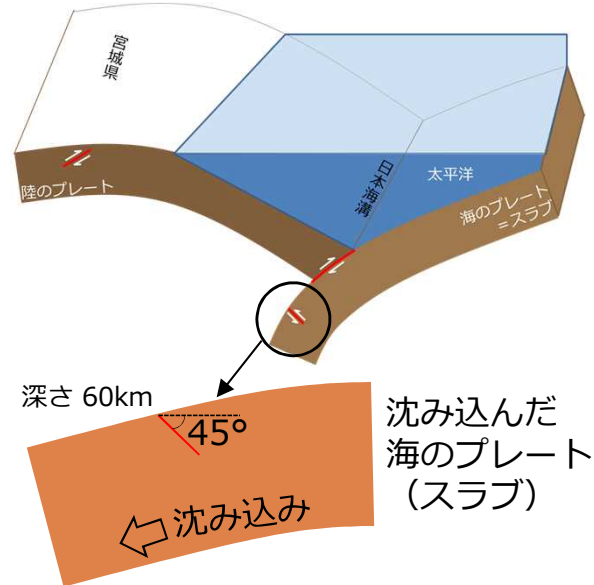
スラブ内地震の強震断層パラメータ

	値	備考
マグニチュードM	7.5	地震本部による長期評価上限
モーメントマグニチュード Mw	7.5	Mw=M
地震モーメントMo(Nm)	$2.24 \times 10^{20}$	$\log_{10}M_0 = 1.5M_w + 9.1$

スラブ内地震の強震断層位置図



スラブ内地震の概念図



	値
緯度(°)	37.85
経度(°)	141.35
走向(°)	17
傾斜角(°)	45
上端深さ(km)	60
長さ(km)	43.2
幅(km)	25
すべり角(°)	90

※「沈み込んだプレート内地震」のことを地震学では一般に「スラブ内地震」と呼称することから、今後「スラブ内地震」と呼ぶ。  
 (スラブ(slab)は「平たい板」を意味しており、沈み込んだ海のプレート(太平洋プレート) = スラブ)



# ④長町-利府線断層に起因する直下型地震

①最大クラスの地震	M9.0程度	5月公表の津波浸水想定を活用
②プレート間巨大地震	M8.0程度	
③沈み込んだプレート内地震	M7.5程度	
④長町-利府線断層に起因する直下型地震	M7.0~7.5前後	津波なし

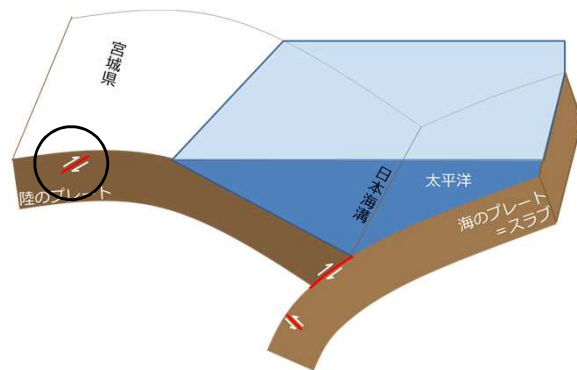
- 断層パラメータは地震本部の「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」（強震動予測レシピ）及び「全国地震動予測地図2020年版」を参考に設定する。
  - ・ **上端深さ、アスペリティは第四次想定で検討していた長町-利府線断層帯地震に基づき設定。**

長町-利府線断層帯地震の強震断層パラメータ

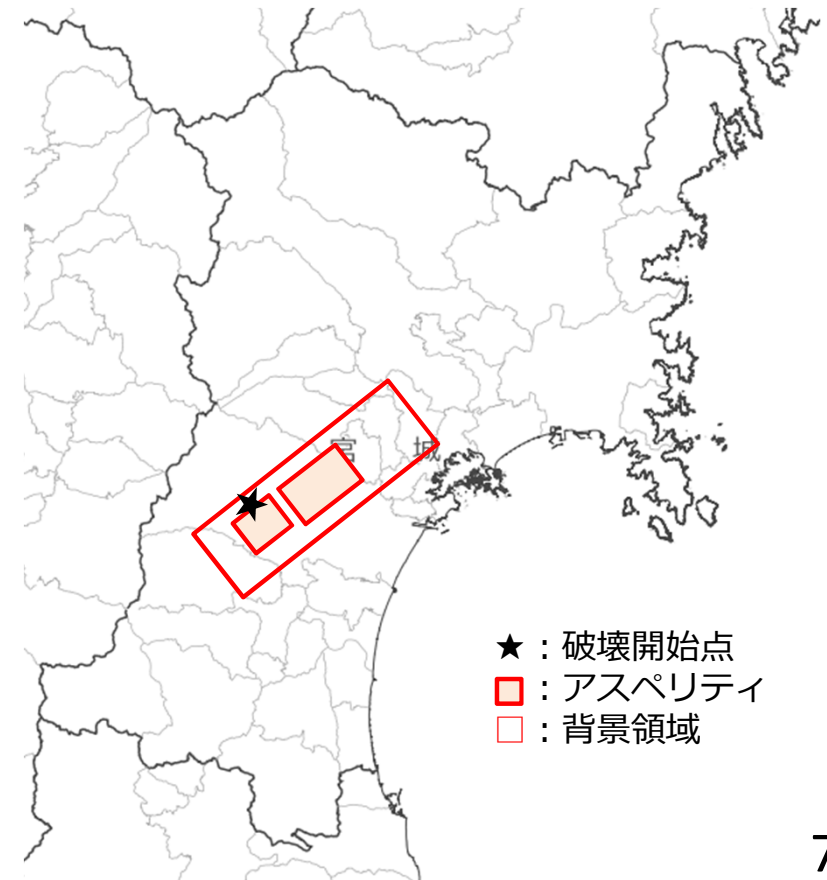
	値	備考
マグニチュードM	7.5	第四次想定
モーメントマグニチュードMw	6.9	$\log_{10}M_0 = 1.5M_w + 9.1$
地震モーメントM <sub>0</sub> (Nm)	$3.15 \times 10^{19}$	$\log_{10}M_0 = 1.17M + 10.72$

	値
緯度(°)	38.387
経度(°)	141.043
走向(°)	231.9
傾斜角(°)	40
上端深さ(km)	1 (地震本部は3km)
長さ(km)	40
幅(km)	18
すべり角(°)	90

長町-利府線断層帯地震の概念図



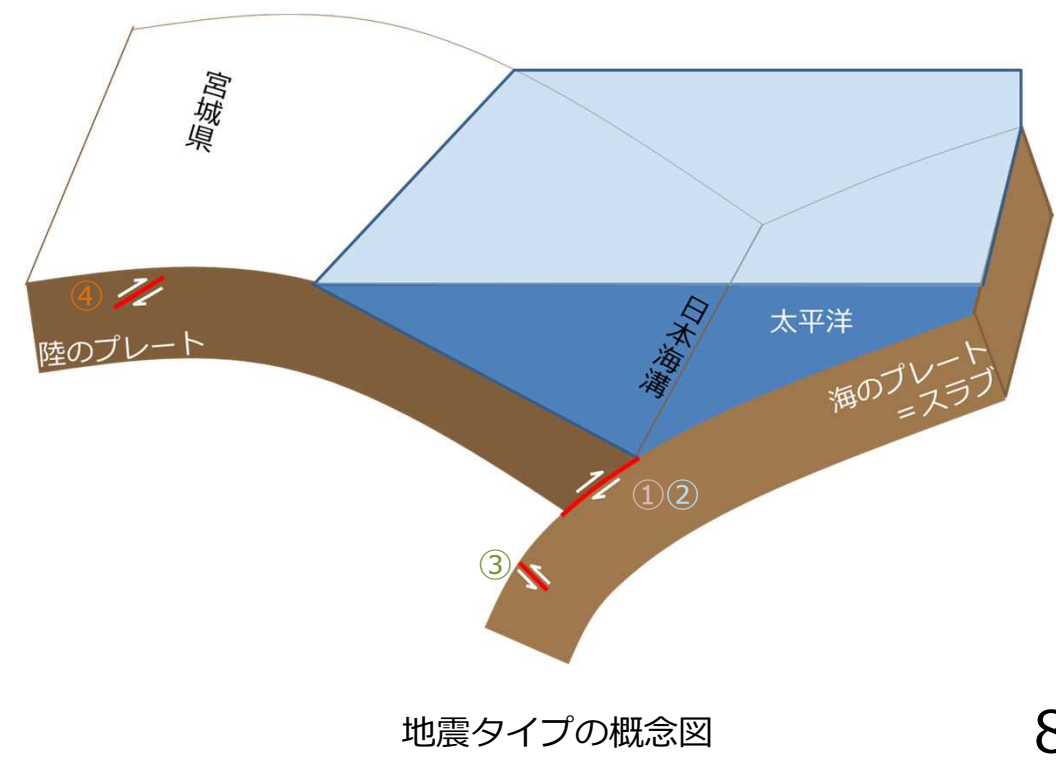
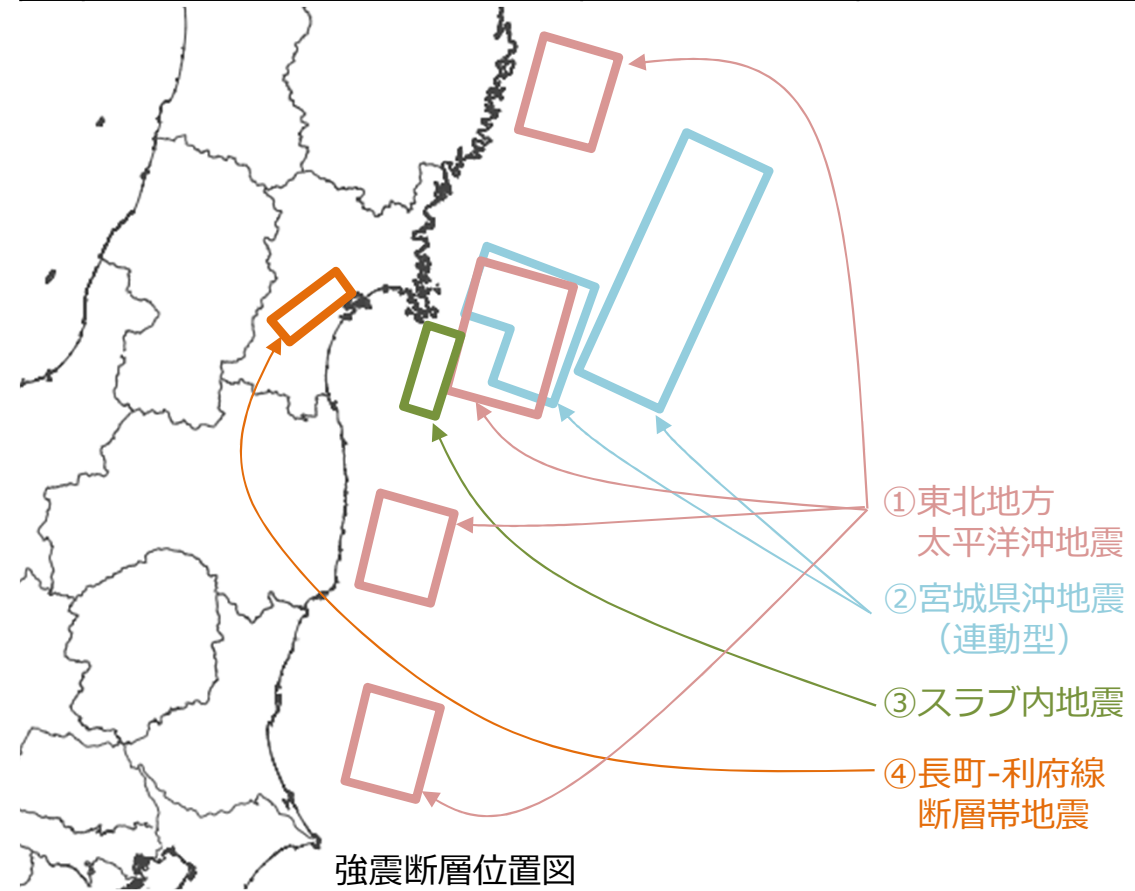
宮城県沖地震（連動型）の強震断層位置図



- ★ : 破壊開始点
- : アスペリティ
- : 背景領域

# ①～④の強震断層位置と地震名称

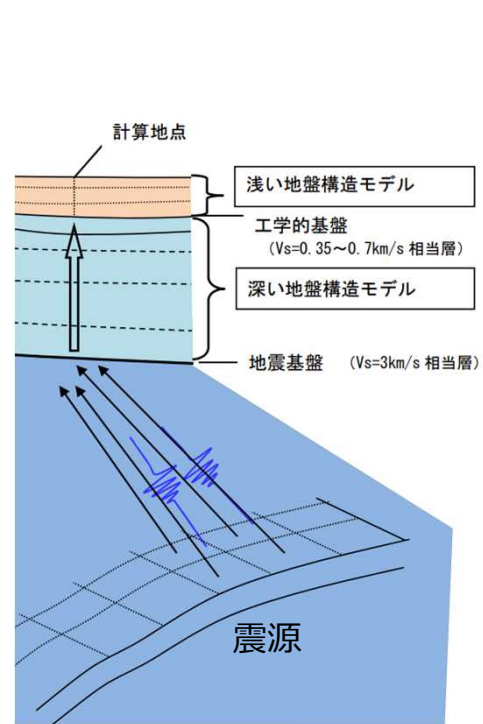
	第2回部会結果		第3回部会検討		備考
	タイプ	規模(M)	名称	M	
①	最大クラスの地震	9.0程度	東北地方太平洋沖地震	9.0	具体的な地震名に変更
②	プレート間巨大地震	8.0程度	宮城県沖地震（連動型）	8.0	第四次想定と同じ名称に変更
③	沈み込んだプレート内地震	7.5程度	スラブ内地震	7.5	地震学における一般名称に変更 ※スラブ(slab)は「平たい板」を意味しており、沈み込んだ海のプレート（太平洋プレート）＝スラブの内部で発生する地震
④	長町-利府線断層に起因する直下型地震	7.0～7.5前後	長町-利府線断層帯地震	7.5	第四次想定と同じ名称に変更





# 地震動解析手法と地盤モデルについて

- 解析手法は、強震動予測レシピで説明のある強震動計算のうち、**国や自治体の被害想定調査で広く採用されている以下の方法**を用いる。
  - ① **工学的基盤まで：統計的グリーン関数法による波形計算**
  - ② 地表震度の算出：工学的基盤最大速度とAVS30（地表から深さ30mまでの平均S波速度）による増幅率から最大地表速度を算出し、最大地表速度と地表震度の関係式から算出
    - ・ 長周期地震動、撓曲（地表に生じるたわみ地形）については過去の事例をもとに定量的に想定することで対応。
- **地盤モデルは浅部・深部ともに地震本部（J-SHIS）モデルを採用**
  - ・ 第四次想定地の盤モデルは深部構造が第三次以前のもので最新の知見が反映されていないことから採用しない。
  - ・ 地震本部（J-SHIS）モデルは、本県の実性を反映しており、かつ、最新の知見が反映されている。

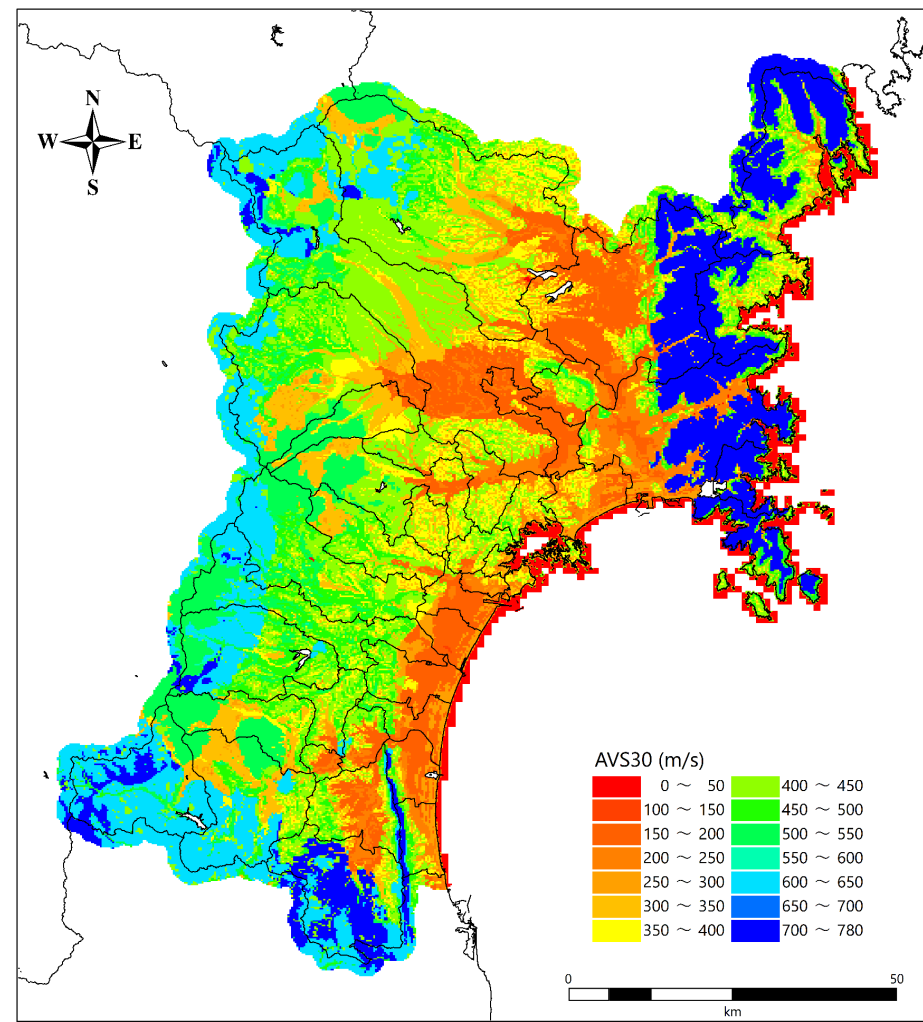
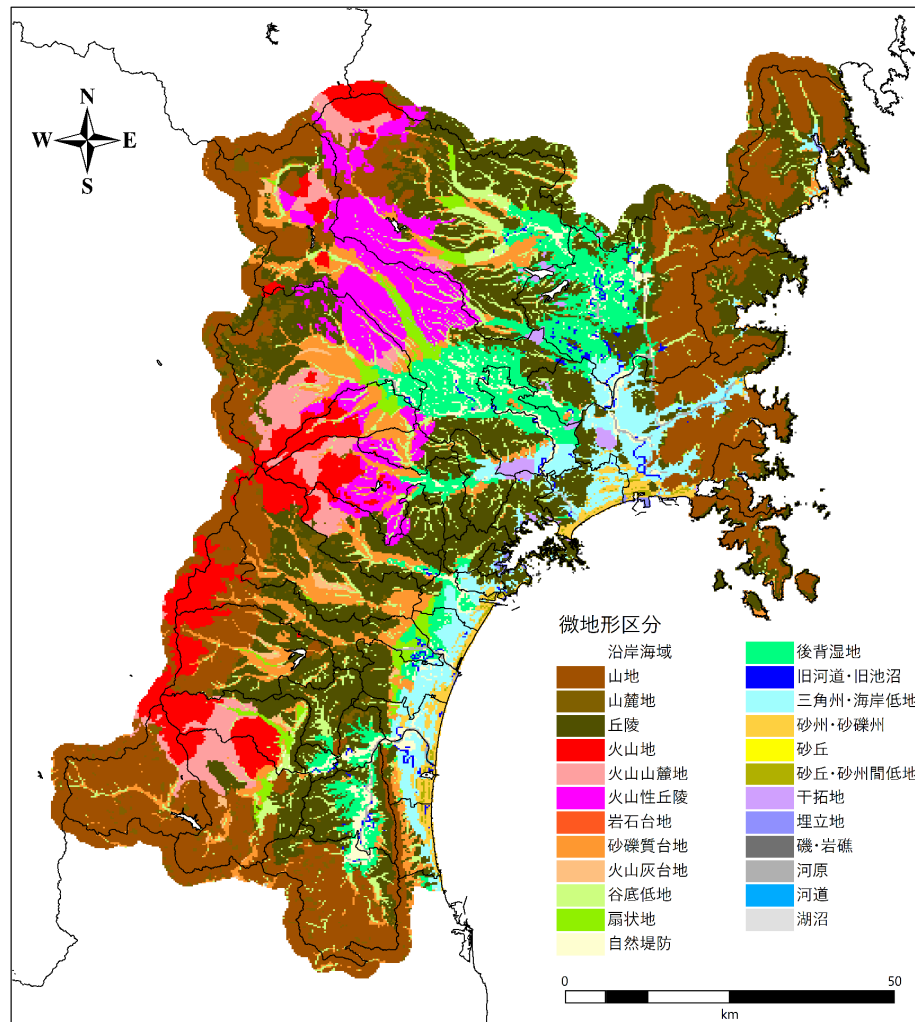


工学的基盤における強震波形計算の概念

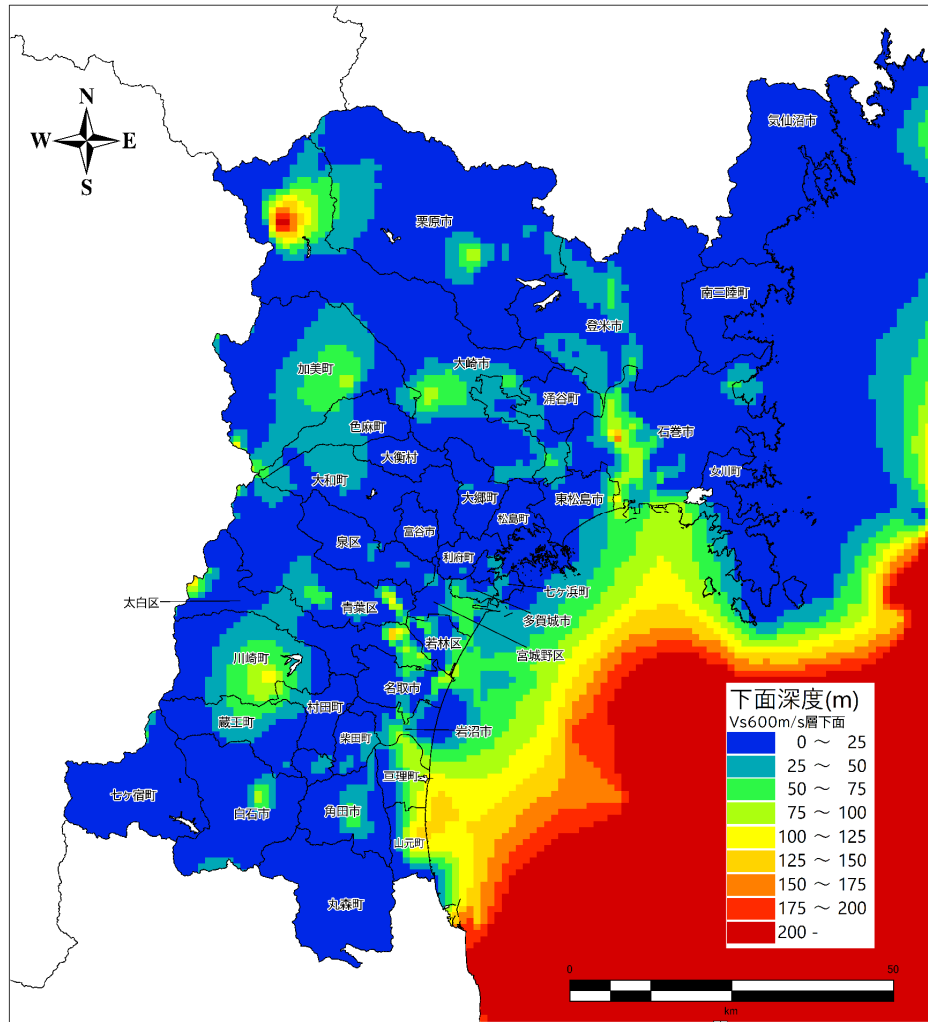
	第四次想定の手法を踏襲した場合	第五次想定（今回採用）
工学的基盤における波形計算	統計的グリーン関数法	統計的グリーン関数法
地表震度の算出	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 工学的基盤波から最大速度を算出</li> <li>・ 工学的基盤最大速度とAVS30による増幅率から最大地表速度を算出</li> <li>・ 最大地表速度と地表震度の関係式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 工学的基盤波から最大速度を算出</li> <li>・ 工学的基盤最大速度とAVS30による増幅率から最大地表速度を算出</li> <li>・ 最大地表速度と地表震度の関係式</li> </ul>
地盤モデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 宮城県独自のモデル（浅部・深部）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>地震本部(J-SHIS)モデル(浅部・深部)</b> J-SHIS地震ハザードステーションで公開されている「地震動予測地図データ」</li> </ul>
利点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>第四次想定と同じ手法である。(H15の第三次想定を踏襲)</b></li> <li>・ 本県の被害の大部分を占める戸建て住宅の被害想定は可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>解析手法、地盤モデルは最新の知見に基づく。</b></li> <li>・ <b>第四次想定との地盤モデルの整合性が高い</b></li> <li>・ 本県の被害の大部分を占める戸建て住宅の被害想定は可能。</li> </ul>
欠点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 広帯域（主に長周期側）の地震動が考慮できない。</li> <li>・ <b>第三次から相当期間が経過しており、最新の知見が反映されていない</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 広帯域（主に長周期側）の地震動が考慮できない。</li> </ul>

## 微地形区分

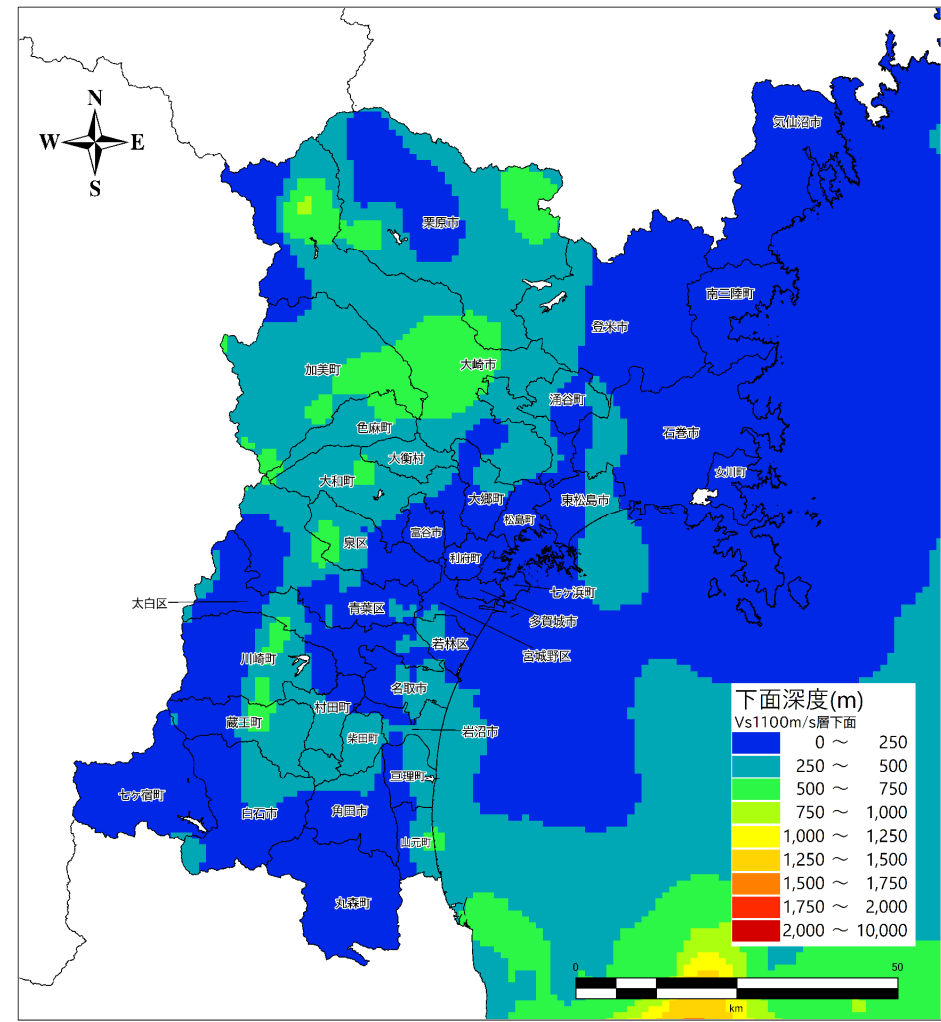
## 表層30m平均S波速度(AVS30)



## Vs600m/s層下面

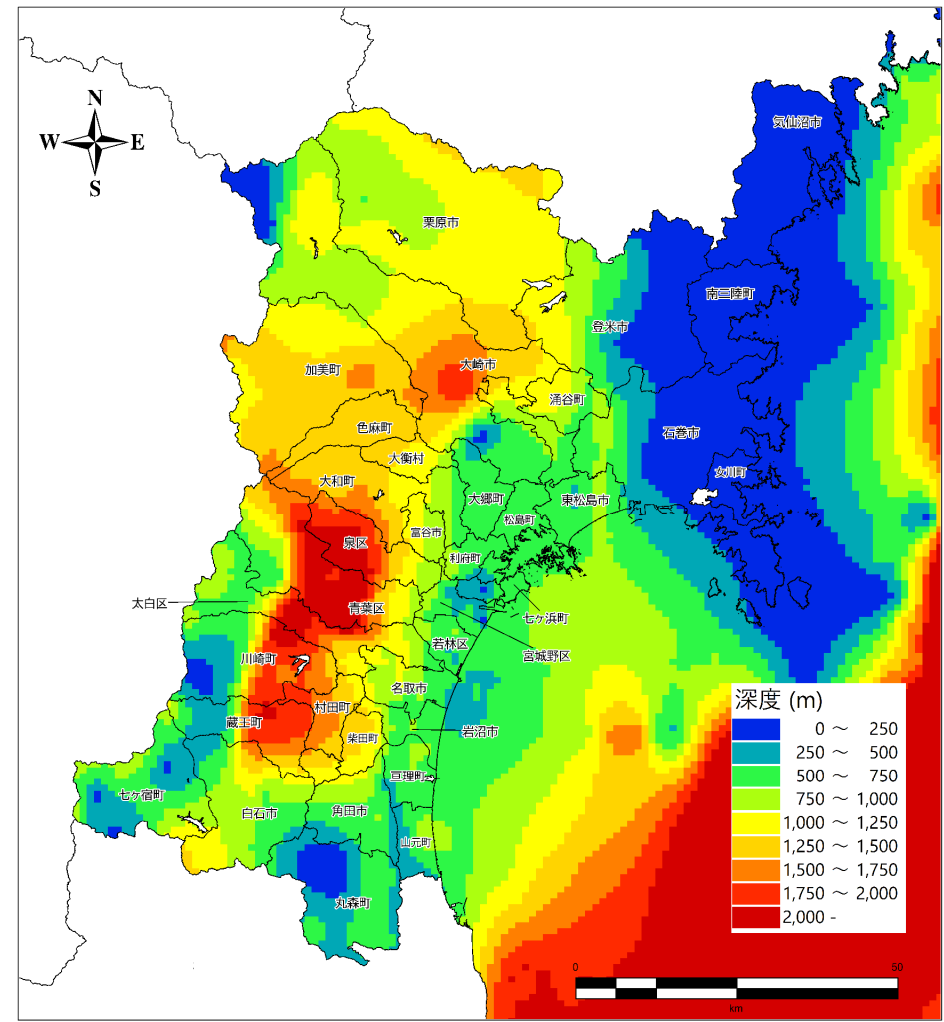
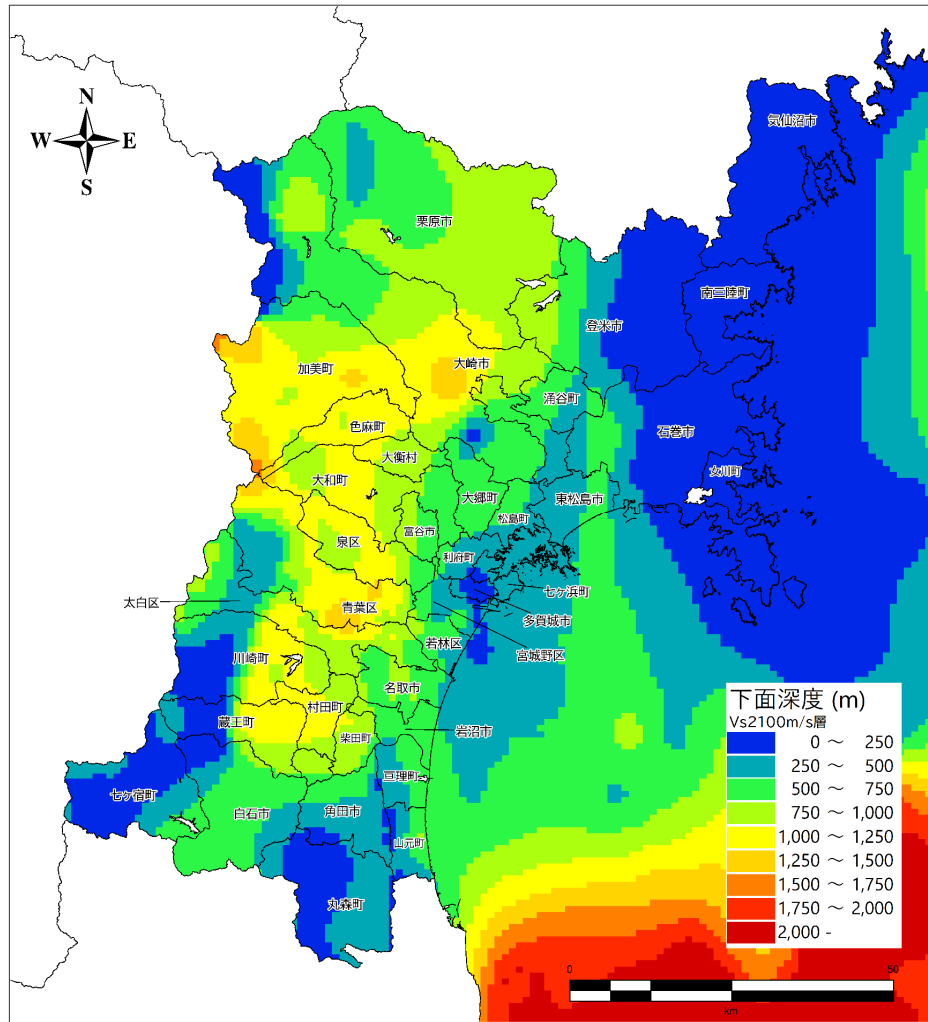


## Vs1100m/s層下面



## Vs2100m/s層下面

## 地震基盤面

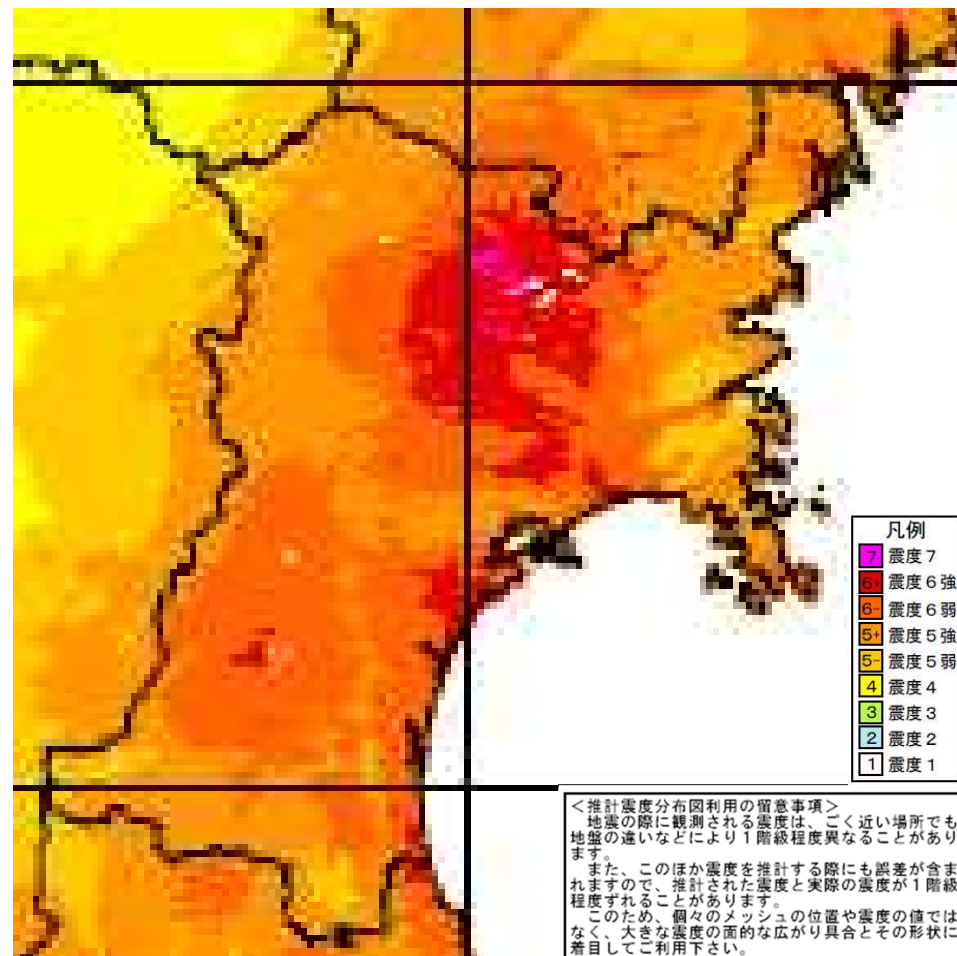
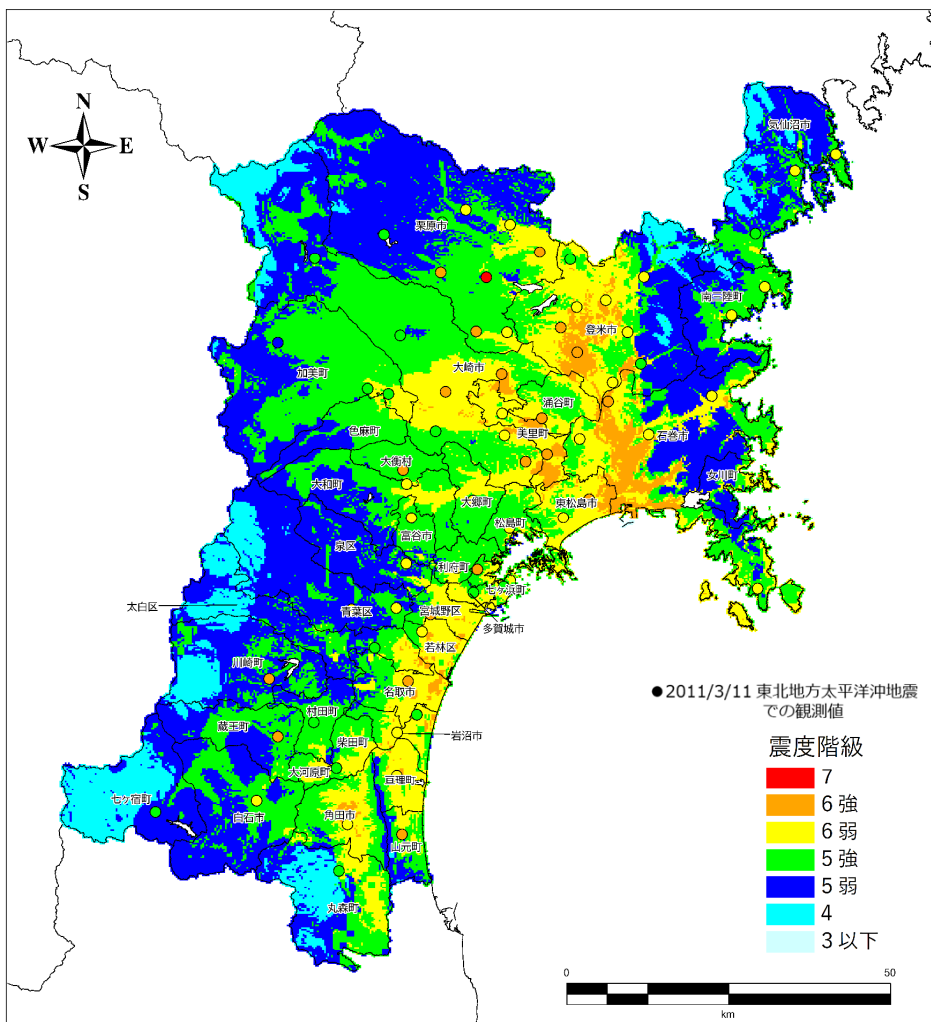




- 県内の広い範囲で6弱～6強の震動が予想される。
- **実績と比較して1階級程度震度が異なっているものの、おおむね再現できていると判断される。**
  - ・ 250m四方の区画単位（250m メッシュ）で計算を行っており、1区画（メッシュ）内はすべて同一として取り扱っている。地震計が設置されている環境を必ずしも正確に反映していないため差が発生したものと推測される。

## 地表震度（今回計算）と実測値との比較

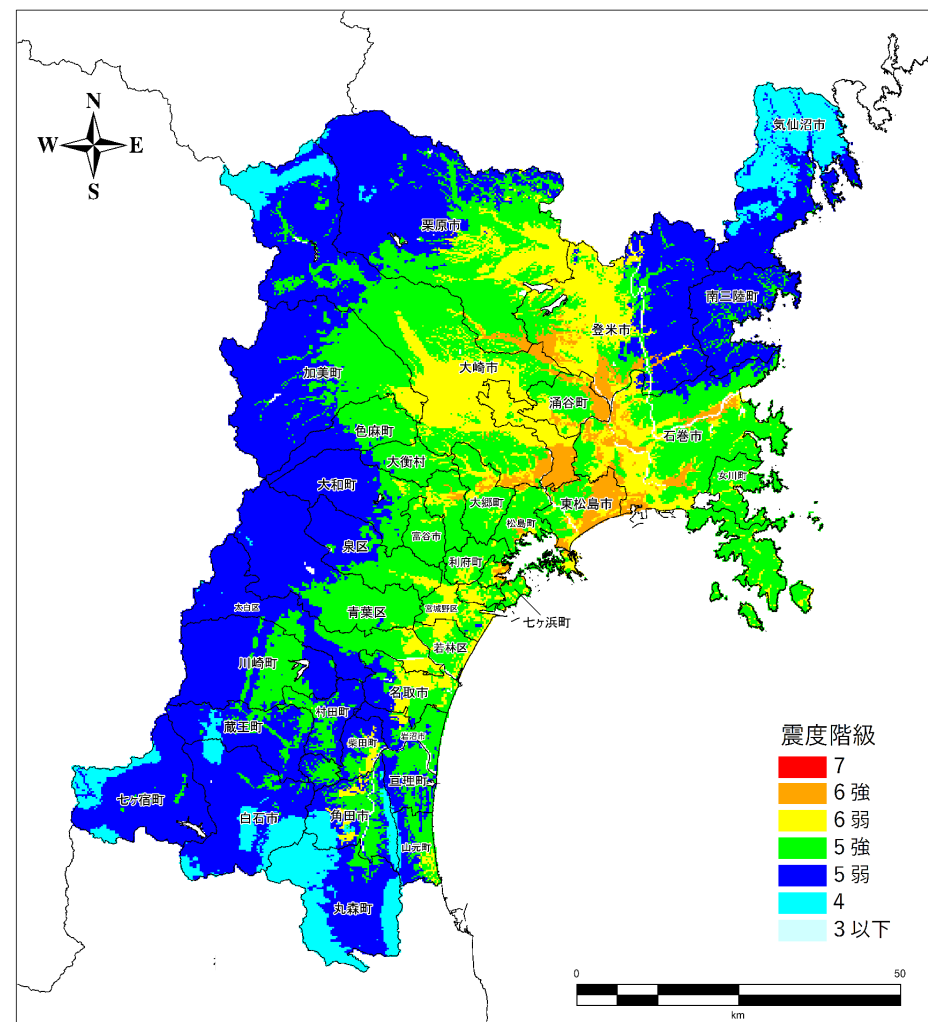
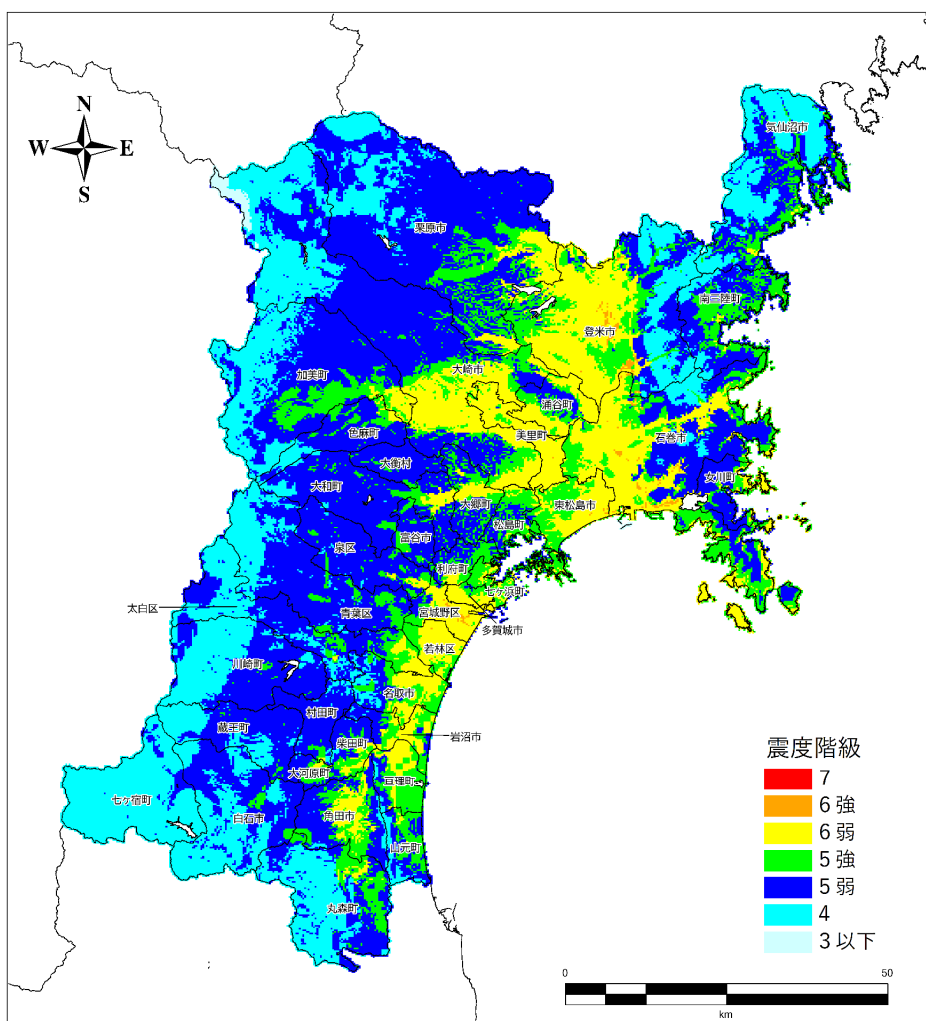
（参考）2011/3/11 東北地方太平洋沖地震  
気象庁による推計震度分布



- **県内の広い範囲で6弱、一部の地域で6強の震動が予想される。**
  - ・ 東北地方太平洋沖地震よりもマグニチュードが小さいため、震度も小さくなっている。
- **第四次想定での検討と比較して1階級程度震度が異なっている。**
  - ・ 強震動解析手法，地盤モデルを更新したことが主な原因と推測される。

## 地表震度（今回計算）

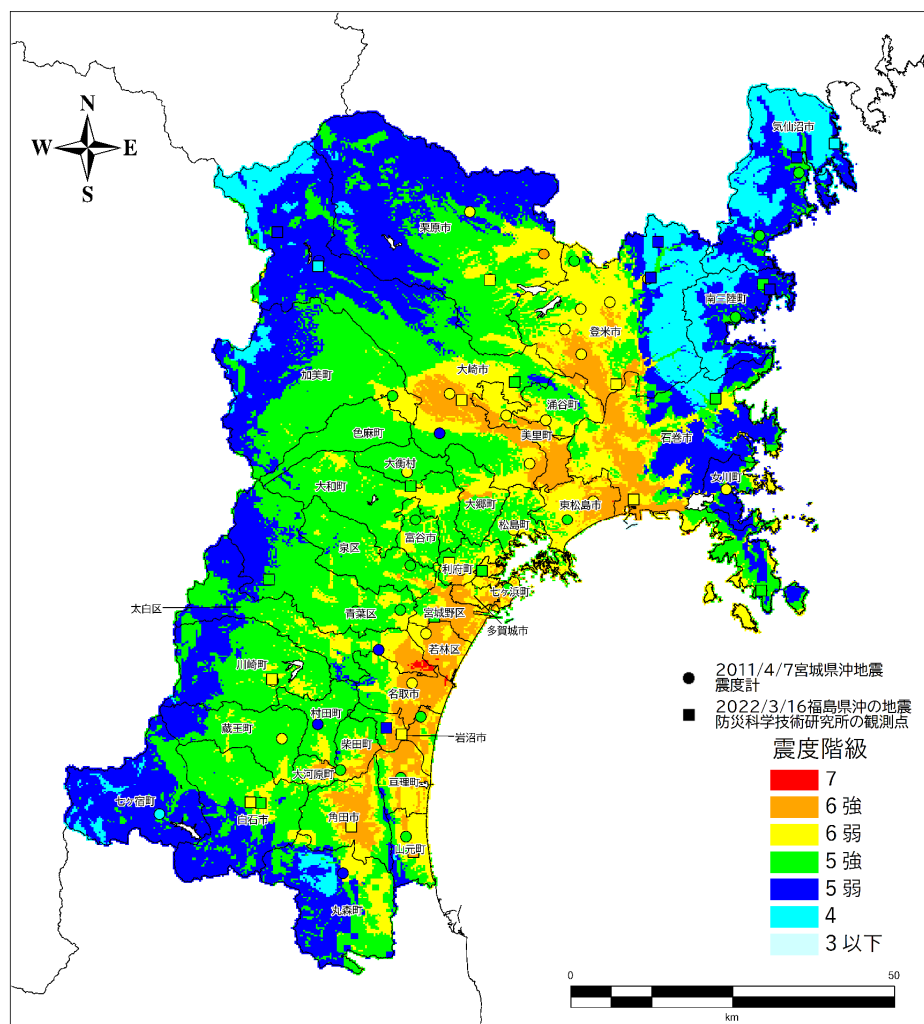
## （参考）第四次想定





- 県内の広い範囲で6強、一部の地域で震度7の震動が予想される。
- 過去のスラブ内地震と比較して全体的に震度が1階級程度大きくなっている。
  - ・ 過去のスラブ内地震より、マグニチュードが大きく震源も近いためと推測される。

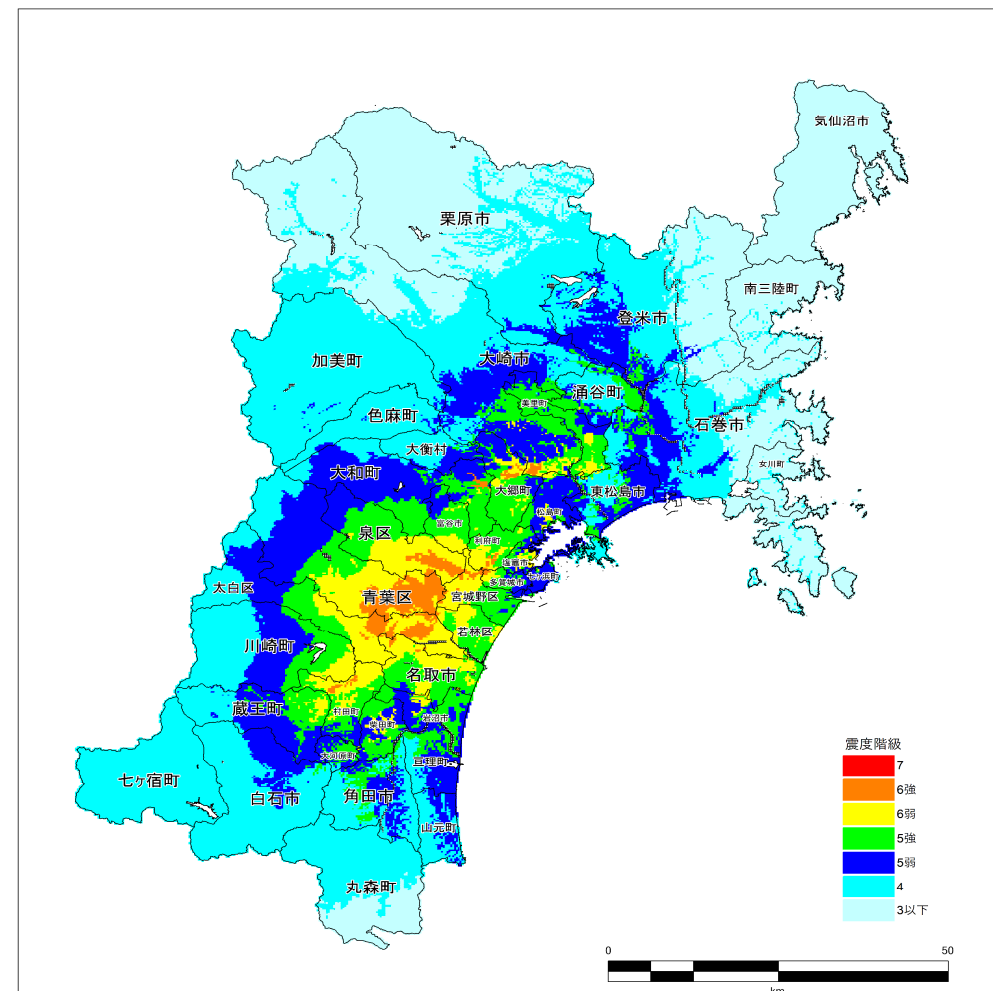
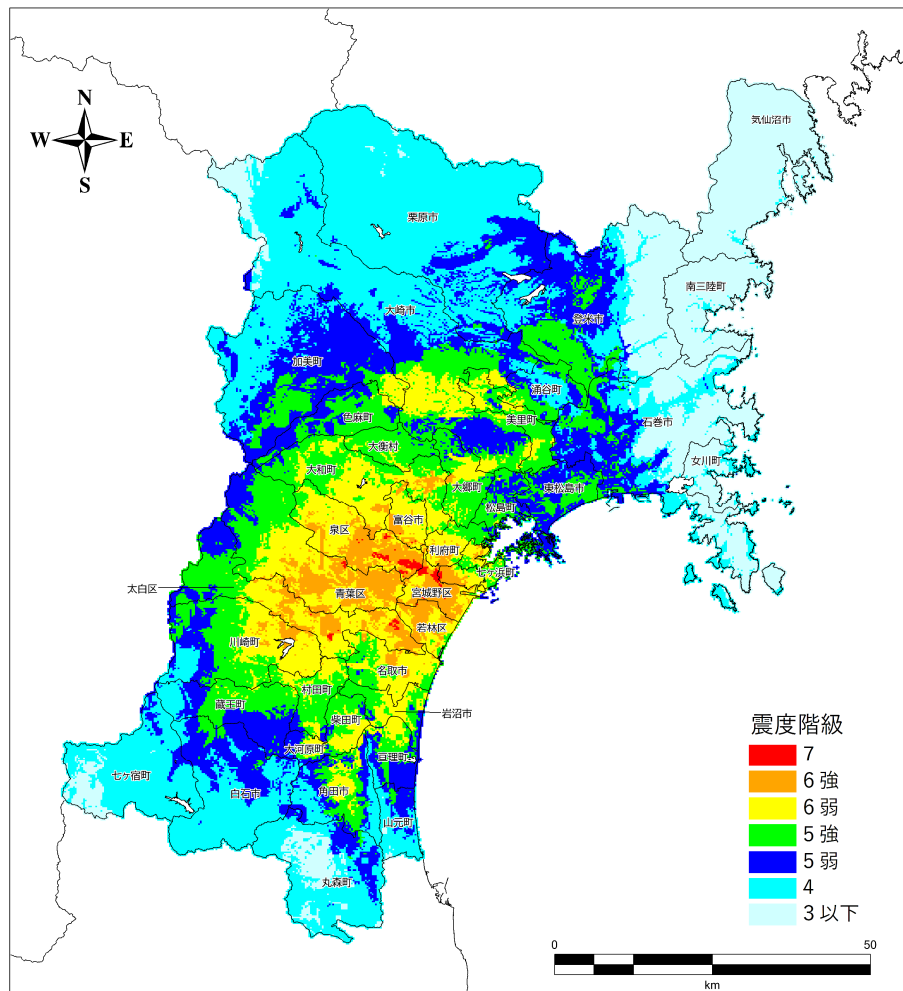
## 地表震度（今回計算）と過去スラブ内地震との比較



- **仙台圏を中心に6強、一部の地域で震度7の震動が予想される。**
  - ・ 震源が浅いため、局所的に強い震動が予想される。
- **第四次想定での検討と震度階級1程度の誤差がある。**
  - ・ 強震動解析手法、地盤モデルを更新したことが主な原因と推測される。

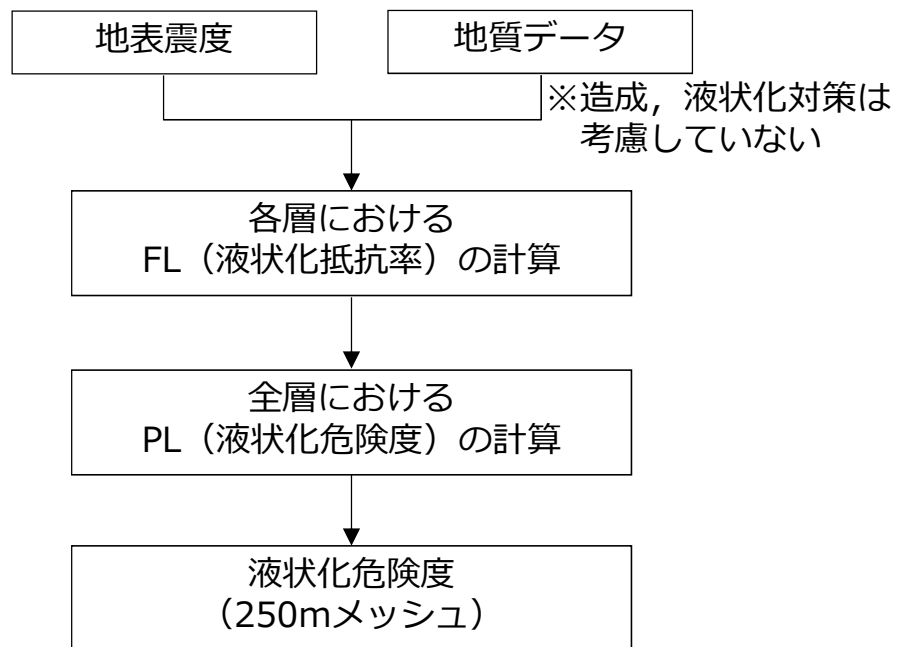
## 地表震度 (今回計算)

## (参考) 第四次想定



- 国や自治体の被害想定調査で広く採用されているFL法, PL法を用いる。
  - ・ 液状化判定対象地形, 物性値, 地下水位等の条件は内閣府による被害想定で用いたものと同様。
- 本検討では, 個別の造成や液状化対策は考慮していない。

## 液状化危険度の流れ



## ○液状化判定対象地形

微地形区分 (地形を形態, 成り立ち, 性質などから分類したもの) が「谷底低地, 扇状地, 自然堤防, 後背湿地, 旧河道・旧湖沼, 三角州・海岸低地, 砂丘, 干拓地, 埋立地, 河川敷・河原, 湖沼」のメッシュ

## ○地下水位

一律G.L.-1m

## ○造成, 液状化対策

考慮していない

## ○PL値による液状化危険度判定 ※相対的な危険度

$P_L > 15$	メッシュがもつ相対的な液状化危険度は高い。
$5 < P_L \leq 15$	メッシュがもつ相対的な液状化危険度はやや高い。
$0 < P_L \leq 5$	メッシュがもつ相対的な液状化危険度は低い。
$P_L = 0$	メッシュ内の自然地盤の液状化危険度はほとんどない。

FL値: 各地層の液状化に対する抵抗率。  
FL < 1.0なら液状化の可能性あり。

$$FL = R/L$$

ここで

Rは動的せん断強度比  
Lは地震時せん断応力比

PL値: FL値を深さ方向に重みづけし, 足し合わせたもの。

## 液状化現象

地下水位の高いゆるく堆積した砂地盤などに強い地震動が加わり, 地層自体が液体状になる現象のこと。

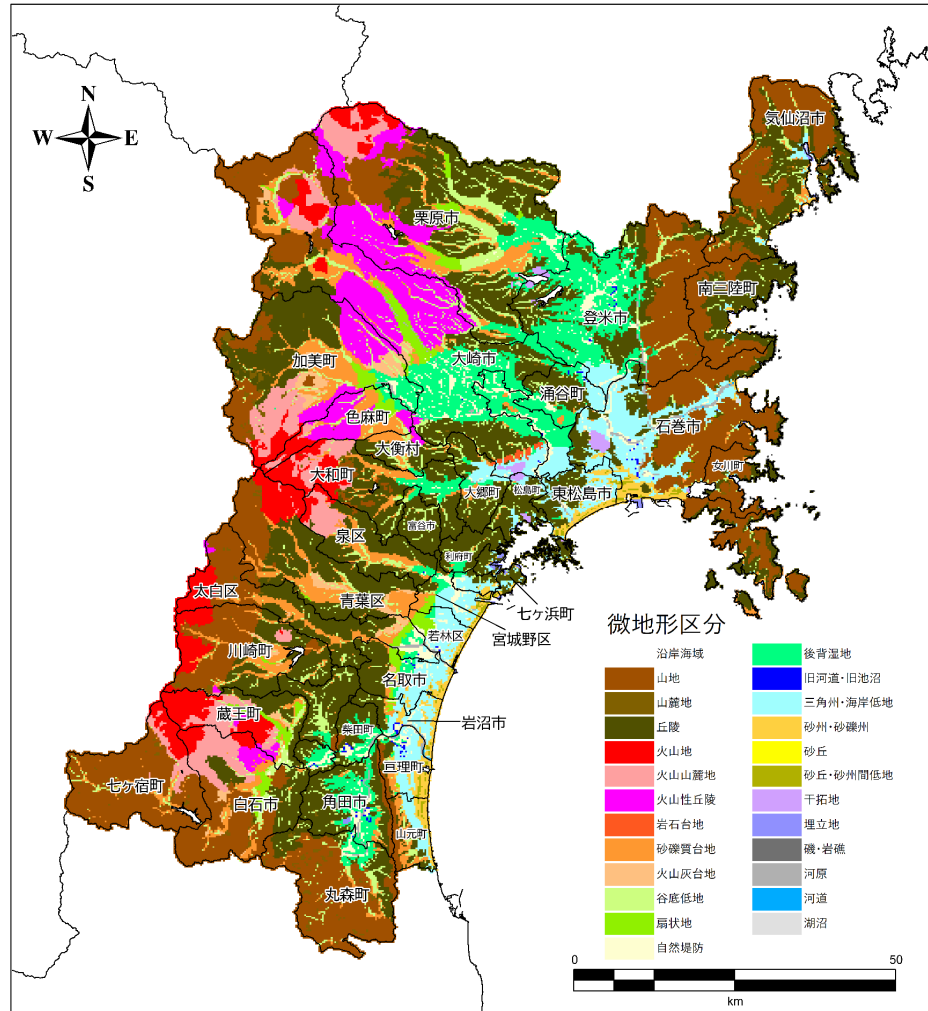


噴砂

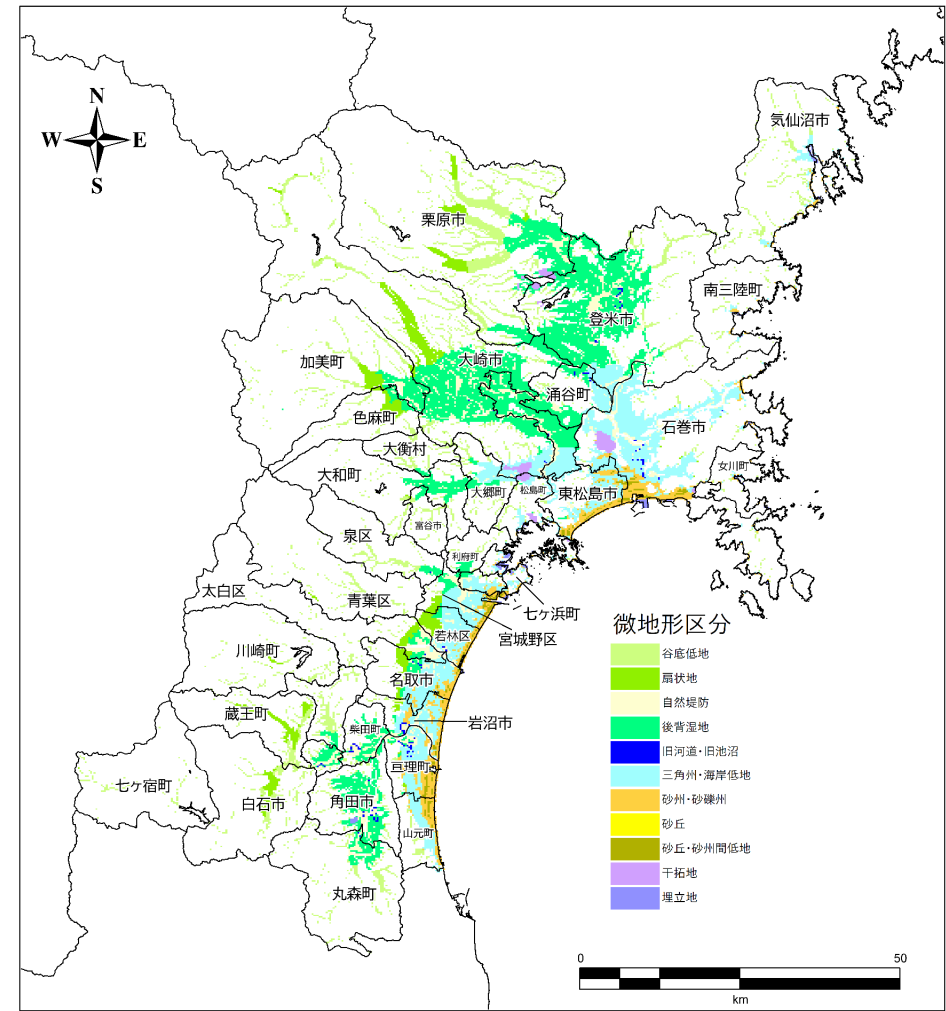


マンホールの浮き上がり

## 微地形区分



## 液状化対象微地形区分

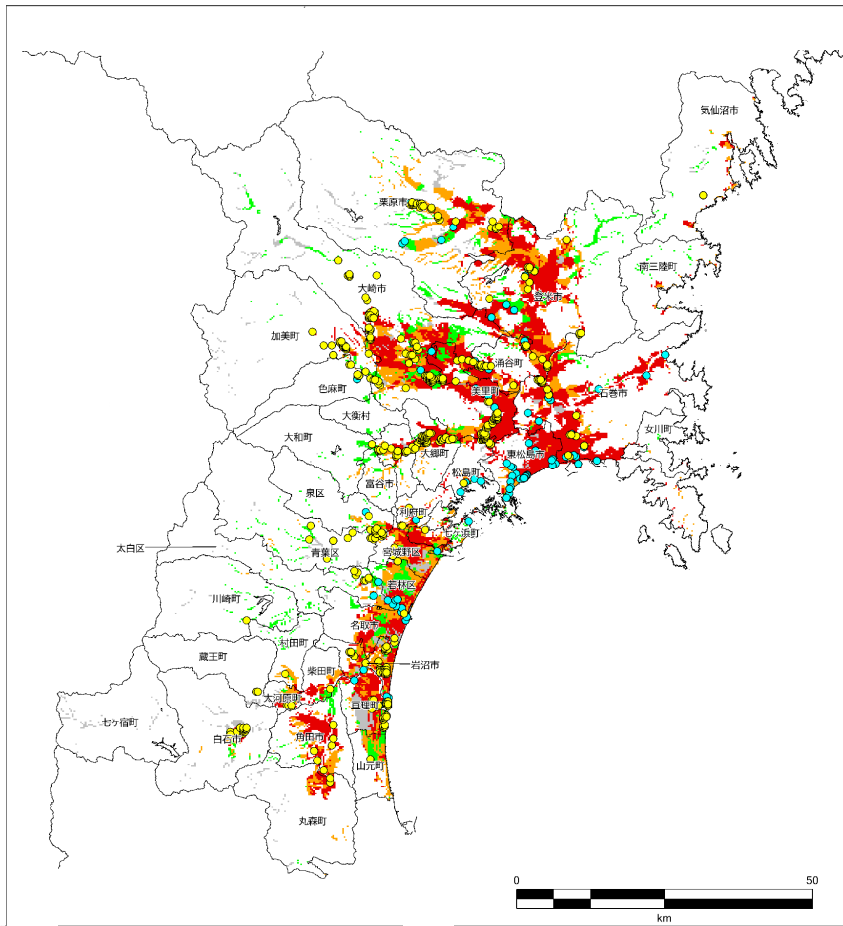




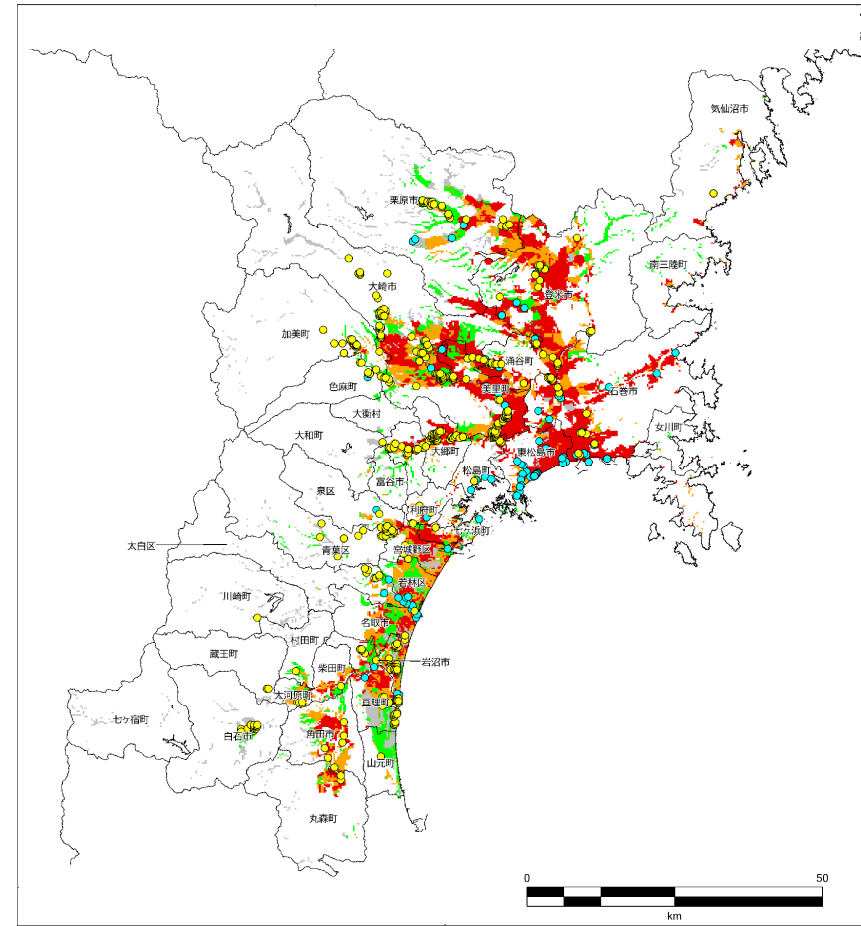
# 相対的な液状化危険度

- PL > 0 の箇所で過去の発生確認地点をほぼ網羅している一方、PL > 0 でも液状化が確認されていない地域が多い。
- 本PL値は液状化の絶対的な危険度を示すものではなくメッシュ間の相対的な危険度を示す指標である（そのため、詳細な判断を行うには個別調査が必要）。
- 個別の造成や液状化対策は考慮していない。

## ① 東北地方太平洋沖地震



## ② 宮城県沖地震（連動型）



液状化危険度

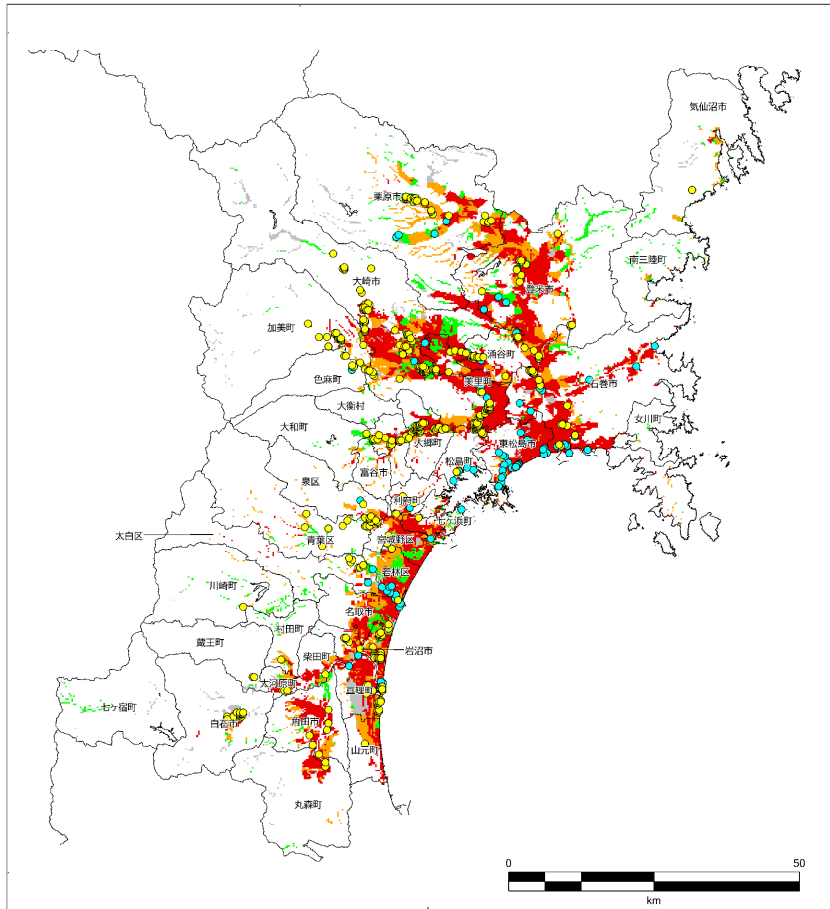
$P_L=0$	$0 < P_L \leq 5$	$5 < P_L \leq 15$	$15 < P_L$
自然地盤の危険度はほとんどない	相対的な危険度は低い	相対的な危険度はやや高い	相対的な危険度は高い

- 東北地方太平洋沖地震での液状化現象確認地点（若松・先名（2014, 2015）, 若松ほか（2016））
- その他の地震による液状化現象確認地点（日本の液状化履歴マップ, 東大出版会）

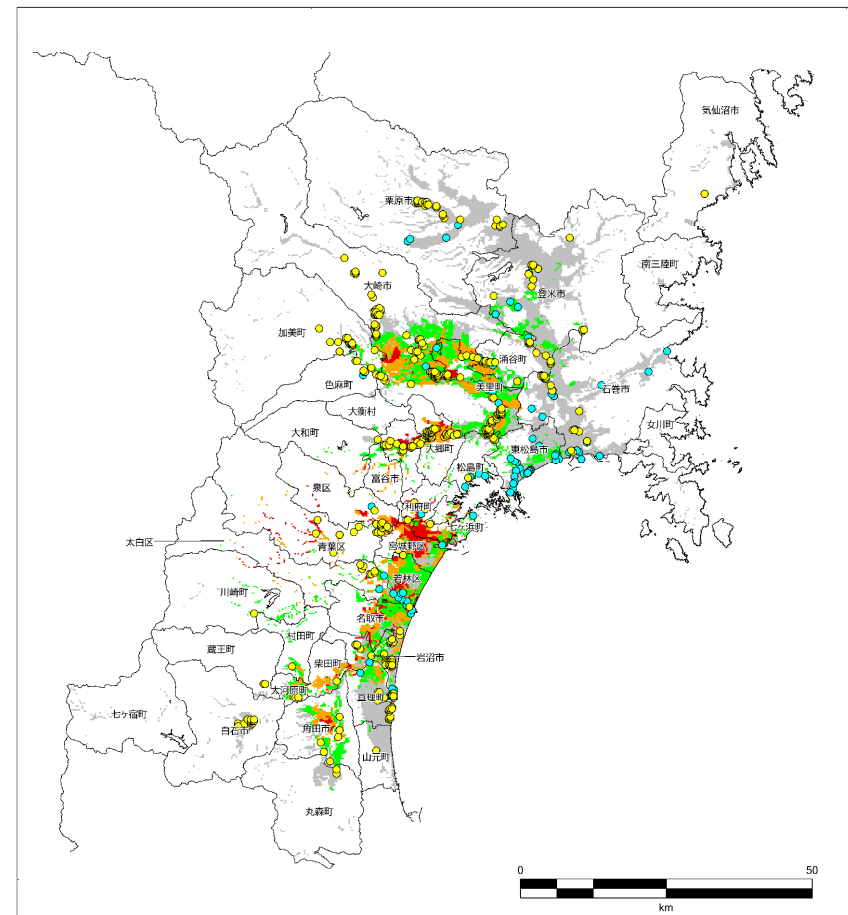
# 相対的な液状化危険度

- 長町-利府線断層帯地震は、揺れが比較的局所的であるため、 $PL > 0$ の地域も比較的局所的。
- **本PL値は液状化の絶対的な危険度を示すものではなくメッシュ間の相対的な危険度を示す指標である（そのため、詳細な判断を行うには個別調査が必要）。**
- **個別の造成や液状化対策は考慮していない。**

## ③ スラブ内地震



## ④ 長町-利府線断層帯地震



液状化危険度

$P_L = 0$	$0 < P_L \leq 5$	$5 < P_L \leq 15$	$15 < P_L$
自然地盤の危険度はほとんどない	相対的な危険度は低い	相対的な危険度はやや高い	相対的な危険度は高い

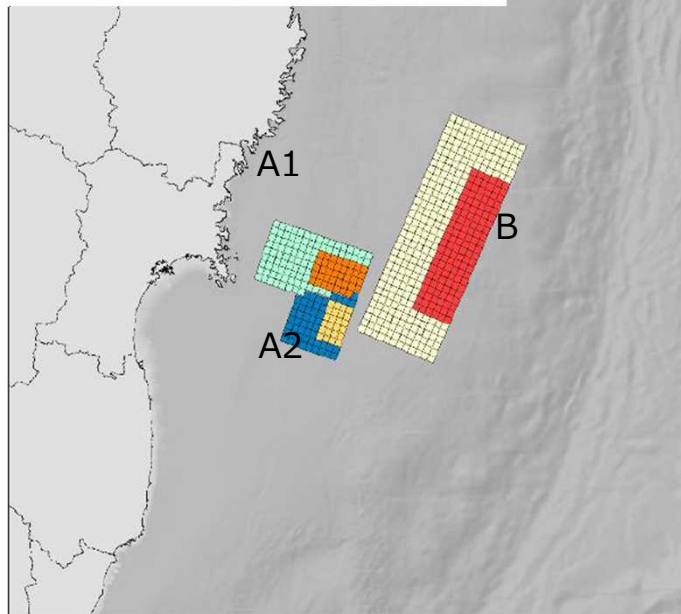
- 東北地方太平洋沖地震での液状化現象確認地点（若松・先名（2014, 2015），若松ほか（2016））
- その他の地震による液状化現象確認地点（日本の液状化履歴マップ，東大出版会）



- **最大クラスの津波浸水想定（5月公表）の条件を採用**することを基本とする。
- 波源断層パラメータは地震本部による「波源断層を特性化した津波の予測手法（津波レシピ）」に基づき設定。
  - ・ **大すべり域は、津波が大きくなるよう太平洋プレートの浅部側に設定。**

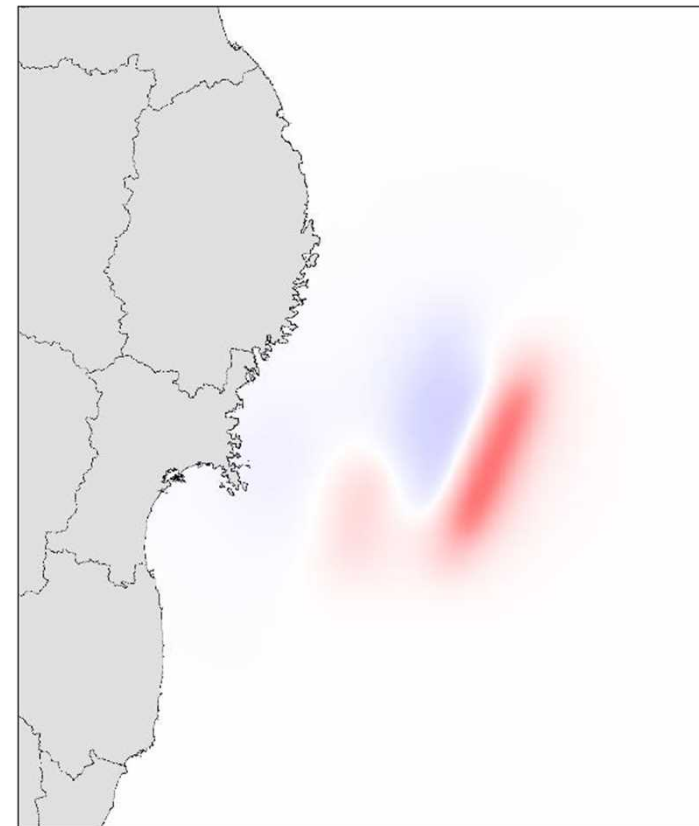
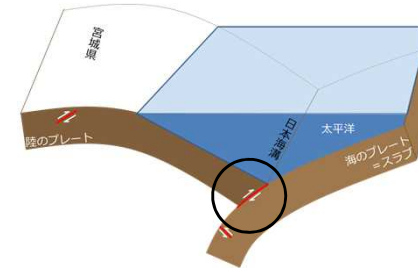
## 宮城県沖地震（連動型）の波源断層パラメータ

巨視的波源断層特性	設定値		
セグメント	A1	A2	B
断層面積 $S$ (km <sup>2</sup> )	2,158	1,341	6,505
地震モーメント $M_0$ (Nm)	$2.9 \times 10^{20}$	$1.4 \times 10^{20}$	$8.3 \times 10^{20}$
モーメントマグニチュード $M_w$	7.6	7.4	7.9
平均応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)	7.0	7.0	3.8
剛性率 $\mu$ (N/m <sup>2</sup> )	$6.5 \times 10^{10}$	$6.5 \times 10^{10}$	$5.0 \times 10^{10}$
平均すべり量 $D$ (m)	2.1	1.6	2.6
微視的波源断層特性	設定値		
大すべり域の平均すべり量 $D_L$ (m)	4.1	3.2	5.1
大すべり域の面積 $S_L$ (km <sup>2</sup> )	647	402	1951
背景領域の平均すべり量 $D_B$ (m)	1.2	0.9	1.5
背景領域の面積 $S_B$ (km <sup>2</sup> )	1,511	939	4,554



波源断層モデル

## 宮城県沖地震（連動型）の概念図

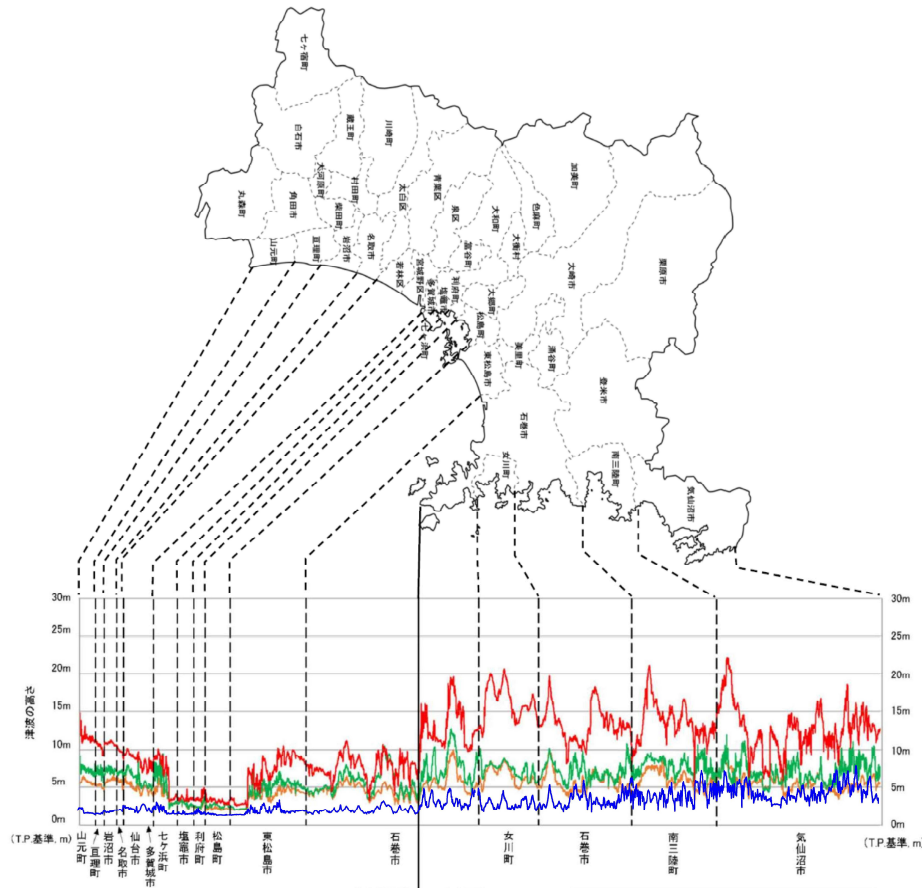


波源断層モデルから計算した津波の初期水位

# 宮城県沖地震（連動型）による津波の計算結果

- **最大クラスの津波と比較すると、マグニチュードが小さいことから津波高は小さい結果**になっている。
- **第四次想定**の宮城県沖地震（連動型）と比較すると、パラメータ・地形データ・計算メッシュ（10mと50m）の違いなどがあるものの、**おおむね一致しており、今回の計算は妥当であると判断される。**

各市町で最大となる沿岸の津波の高さ（今回と第四次想定と比較）



— **今回計算：宮城県沖地震（連動型）の津波**

— 参考：最大クラスの津波（5月公表）

宮城県津波浸水想定【解説】参考資料に今回の計算結果を追記

市町名	今回計算		(参考) 第四次想定
	津波の高さ (T.P. +m)	最大となる地点	津波の高さ (T.P. +m)
気仙沼市	7.7	気仙沼市唐桑町唯越 付近	8.4
南三陸町	7.4	南三陸町歌津馬場 付近	7.0
石巻市	6.3	石巻市雄勝町雄勝 付近	6.4
女川町	4.8	女川町塚浜 付近	5.2
東松島市	3.2	東松島市宮戸鹿蔦 付近	2.6
松島町	1.8	松島町松島桜岡入 付近	1.2
利府町	2.0	利府町赤沼浜田 付近	1.3
塩竈市	1.7	塩竈市新浜町 付近	1.7
七ヶ浜町	2.9	七ヶ浜町葦山 付近	3.1
多賀城市	2.1	多賀城市栄 付近	2.5
仙台市	2.7	仙台市宮城野区港 付近	3.1
名取市	1.9	名取市下増田 付近	3.1
岩沼市	1.9	岩沼市藤曾根 付近	2.8
亶理町	1.4	亶理町荒浜 付近	2.4
山元町	2.2	山元町中浜 付近	3.0

沿岸の津波の高さ（今回と最大クラスの比較）

※沿岸の津波の高さ  
海岸線から20m程度沖合における津波の最大水位（T.P.m）