

津波と液状化について  
—岡山南部地域の地震災害—

土質工学(株) 橘 徹

## 本日の内容

自然災害とは？

地震について

地盤の液状化

津波災害

被害を少なくするために

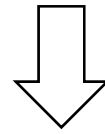
# 自然災害とは？

## 近年（2007～2016）の日本の主な自然災害

発生年月	誘因	主な災害現象	主な被災地域
2016年4月	熊本地震	強震動・液状化	熊本・大分
2015年9月	豪雨（台風18号）	洪水	茨城・宮城
2014年9月	御嶽山噴火	噴火	長野・岐阜
2014年8月	豪雨	土石流	広島
2013年10月	台風26号	土石流	伊豆大島
2012年7月	豪雨（梅雨前線）	洪水・土砂災害	九州北部
2011年8月	台風12号	土砂災害	奈良・和歌山・三重
2011年3月	東北地震	津波・強震動・液状化	東北～関東
2010年7月	豪雨（梅雨前線）	洪水・土砂災害	九州・山口・広島・岐阜
2009年8月	台風9号	土砂災害	兵庫・岡山
2009年7月	豪雨（梅雨前線）	洪水・土砂災害	九州北部・山口
2008年6月	岩手宮城内陸地震	強震動・崩壊	岩手・宮城
2007年7月	中越沖地震	強震動・崩壊	新潟県
2007年3月	能登半島沖地震	強震動	能登半島

自然災害とは

非日常的な激しい自然現象によって人命や財産に被害が及ぶこと



自然災害をよりよく理解するための枠組みとして  
自然災害とは誘因が素因に作用する結果  
としてとらえる

誘因：災害を引き起こす自然の力  
（地震動や集中豪雨など）

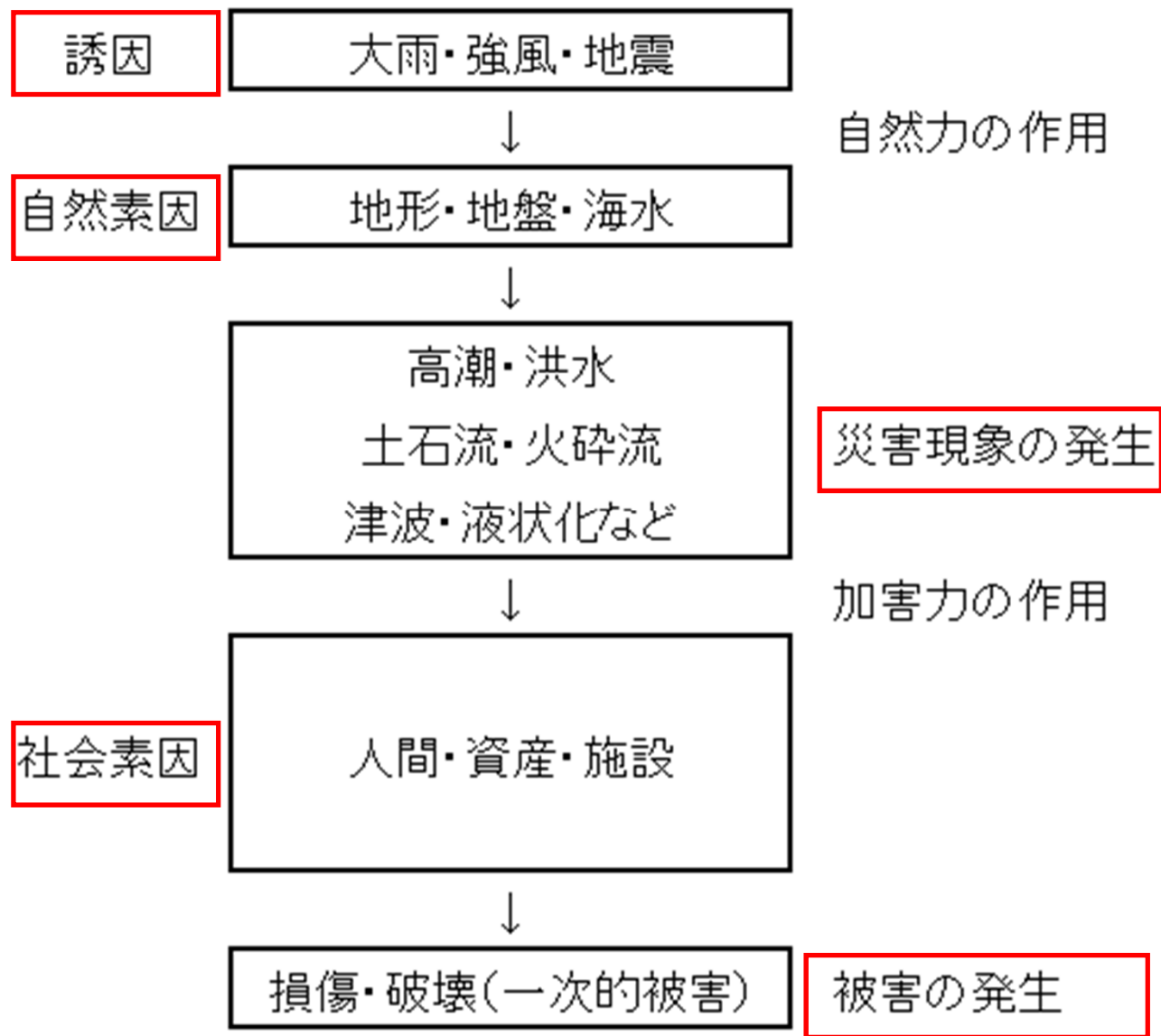
素因：自然素因と社会素因に分けられる

自然素因：災害が発生するような（しやすい）

自然条件（地形や地質、地盤の状態など）

社会素因：災害が発生するような社会的条件

（人口分布や土地利用など）



(防災科学研究所HPの資料を一部改編)

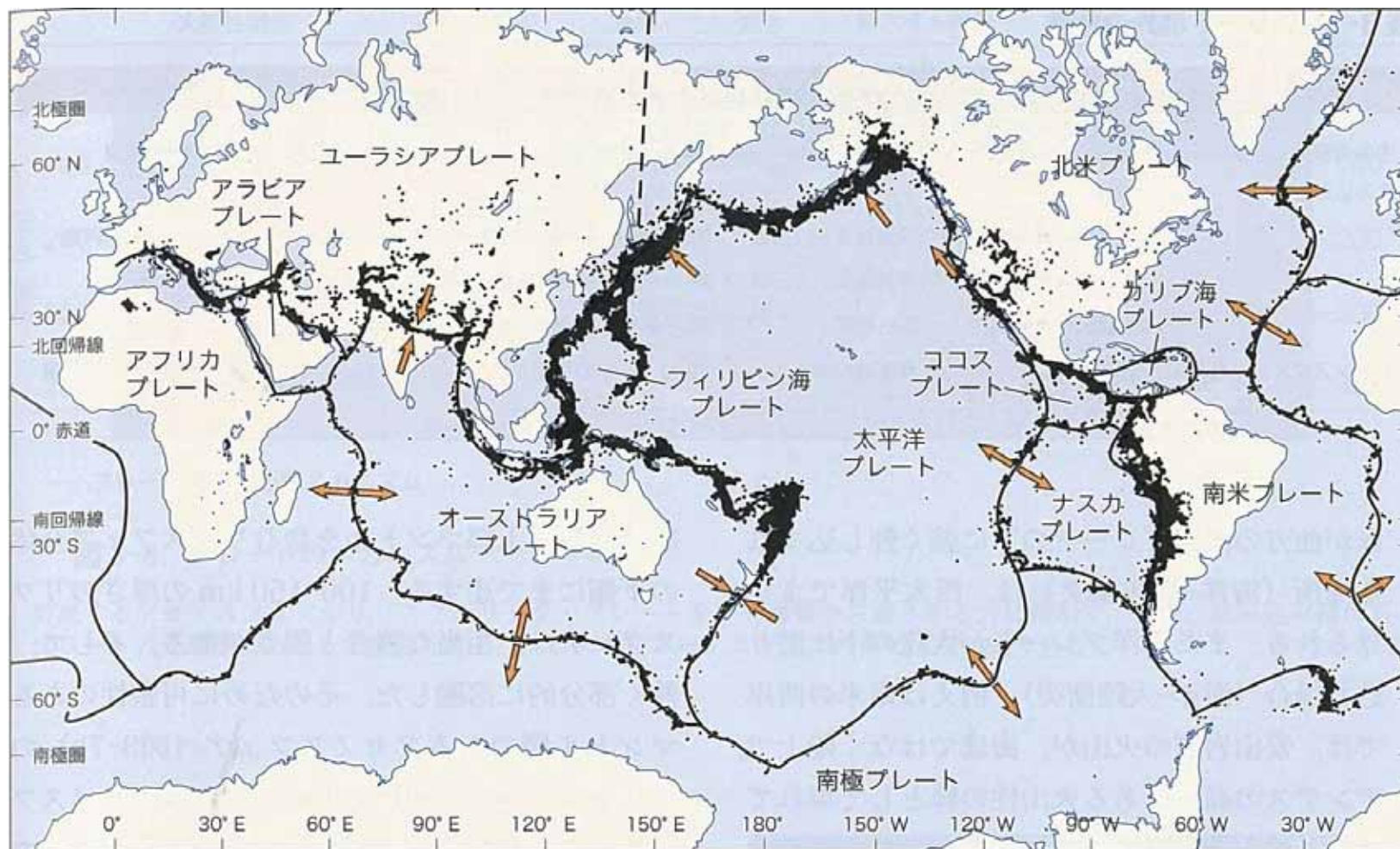
## 岡山南部の主な誘因と災害現象

誘因	自然素因	災害現象
地震	軟弱地盤	強震動（強い揺れ）
	砂質地盤	液状化
	沿岸低地	津波
気象	沿岸低地	高潮
	河川流域	洪水
	丘陵地	土砂災害（土石流）



# 地震について

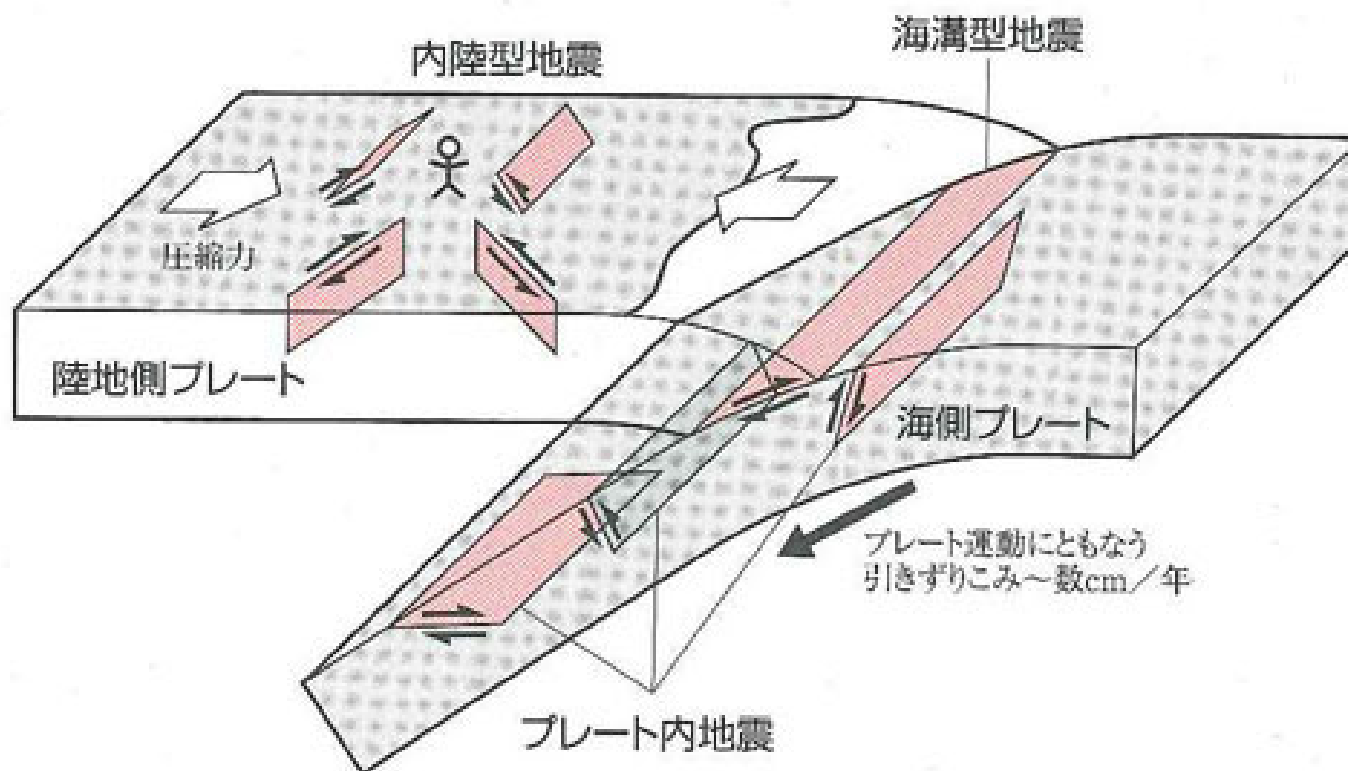
# 世界の地震の分布



(Pinet, 2006, (木暮他訳). 海洋学, 東海大学出版会を改変)

日本でよく起こる地震は以下の2タイプ

- 海溝型地震
- 内陸型地震 ≡ 活断層地震



(国土地理院WEBより)

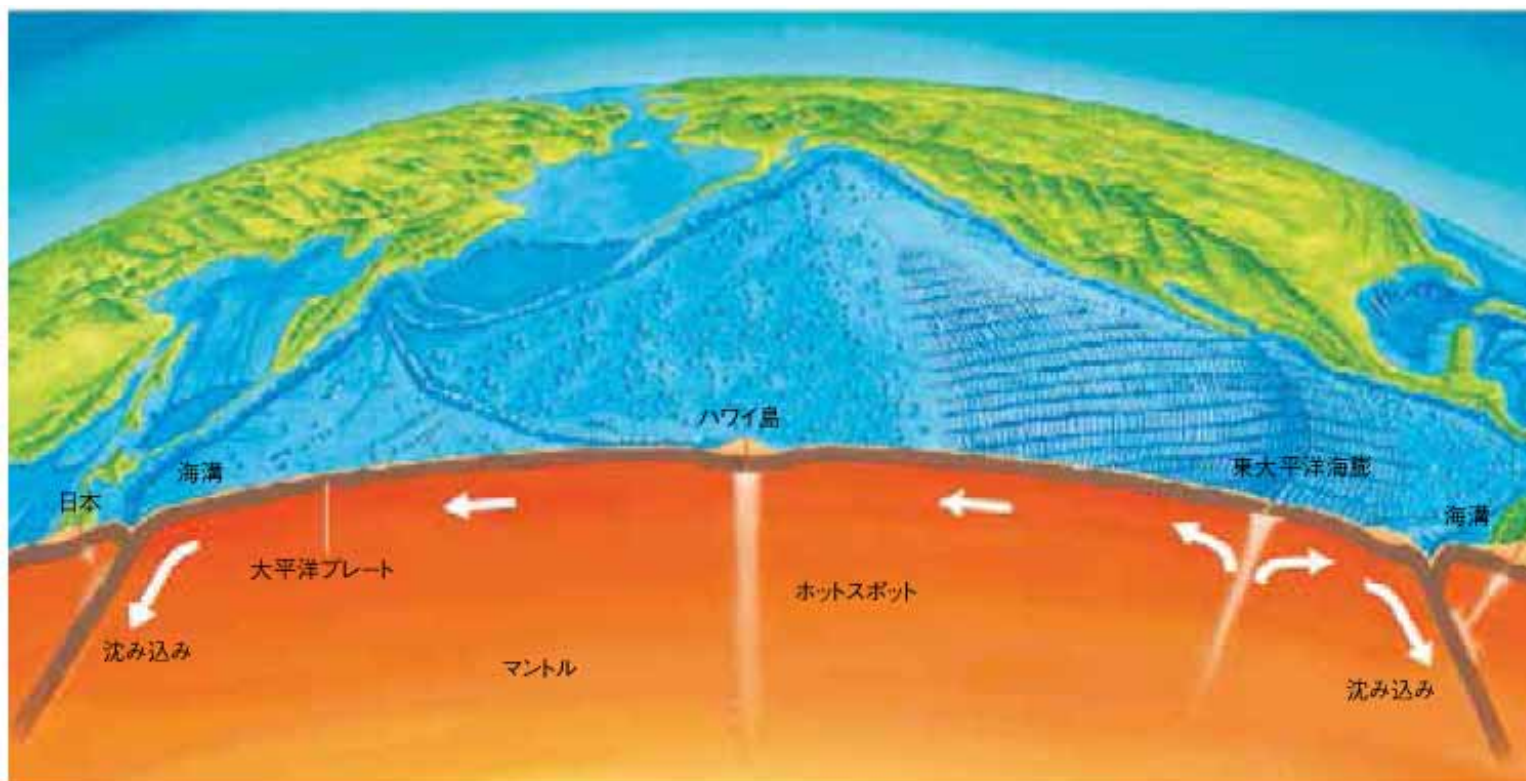
## 海溝型地震と活断層地震との違い

	海溝型地震	活断層地震
発生場所	沖合（深海）	主に陸上
間隔と周期	発生間隔が短く、周期的	発生間隔が長く、周期性も不明瞭
規模	最大でM9程度	最大でM8程度
主な災害現象	津波・強震動・液状化	強震動・液状化・地震性斜面災害

プレート境界地震に比べ活断層の地震は規模（マグニチュード）が概して小さい。しかし、生活圏により近いところでおきることが多いため、被害は必ずしも小さくない

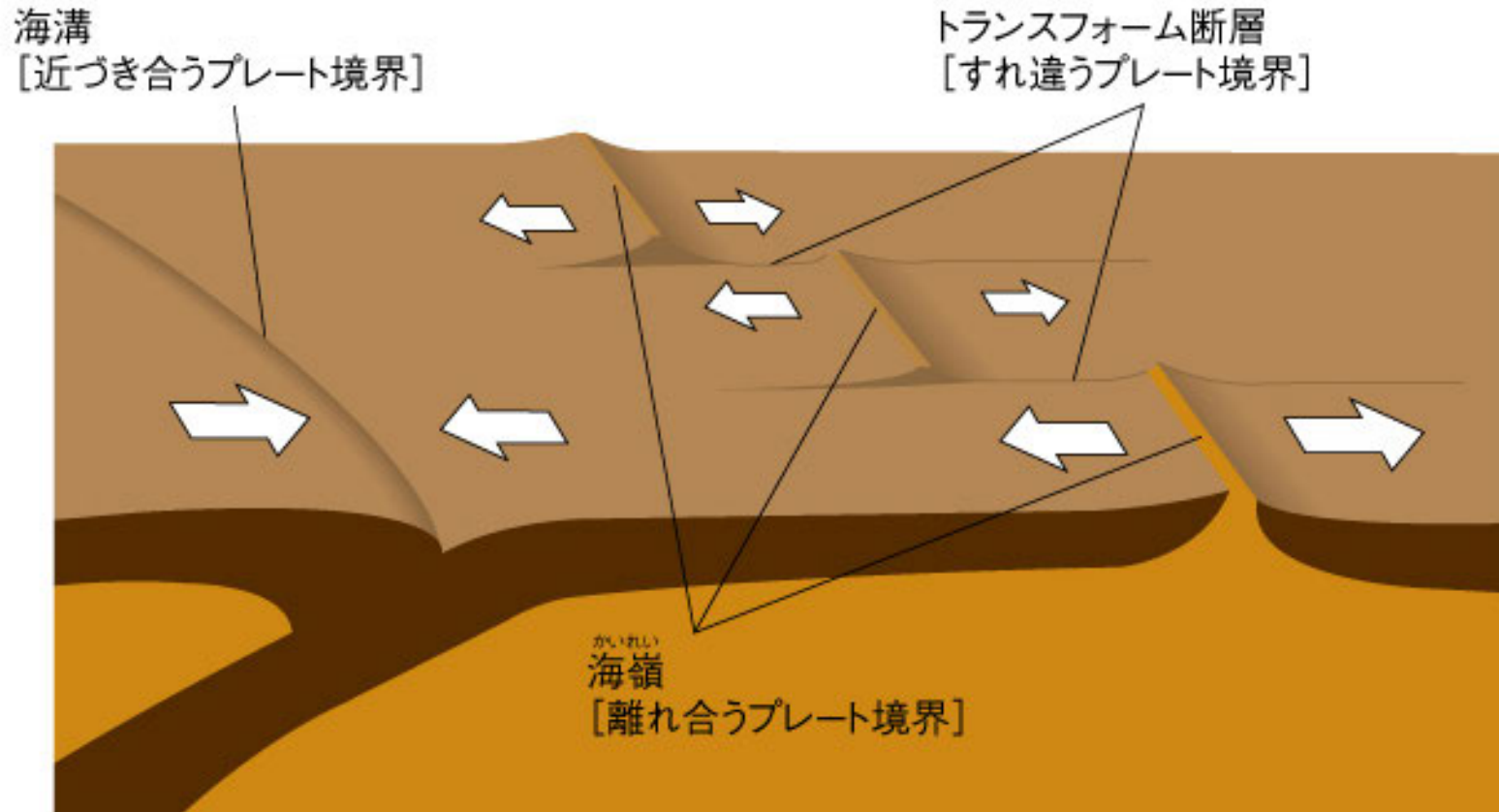
## 海溝型地震とは？

プレートの境界の1つである沈み込み帯で発生する地震。沈み込み帯にはしばしば海溝（トラフ）が形成されるため、海溝型地震と呼ばれる。



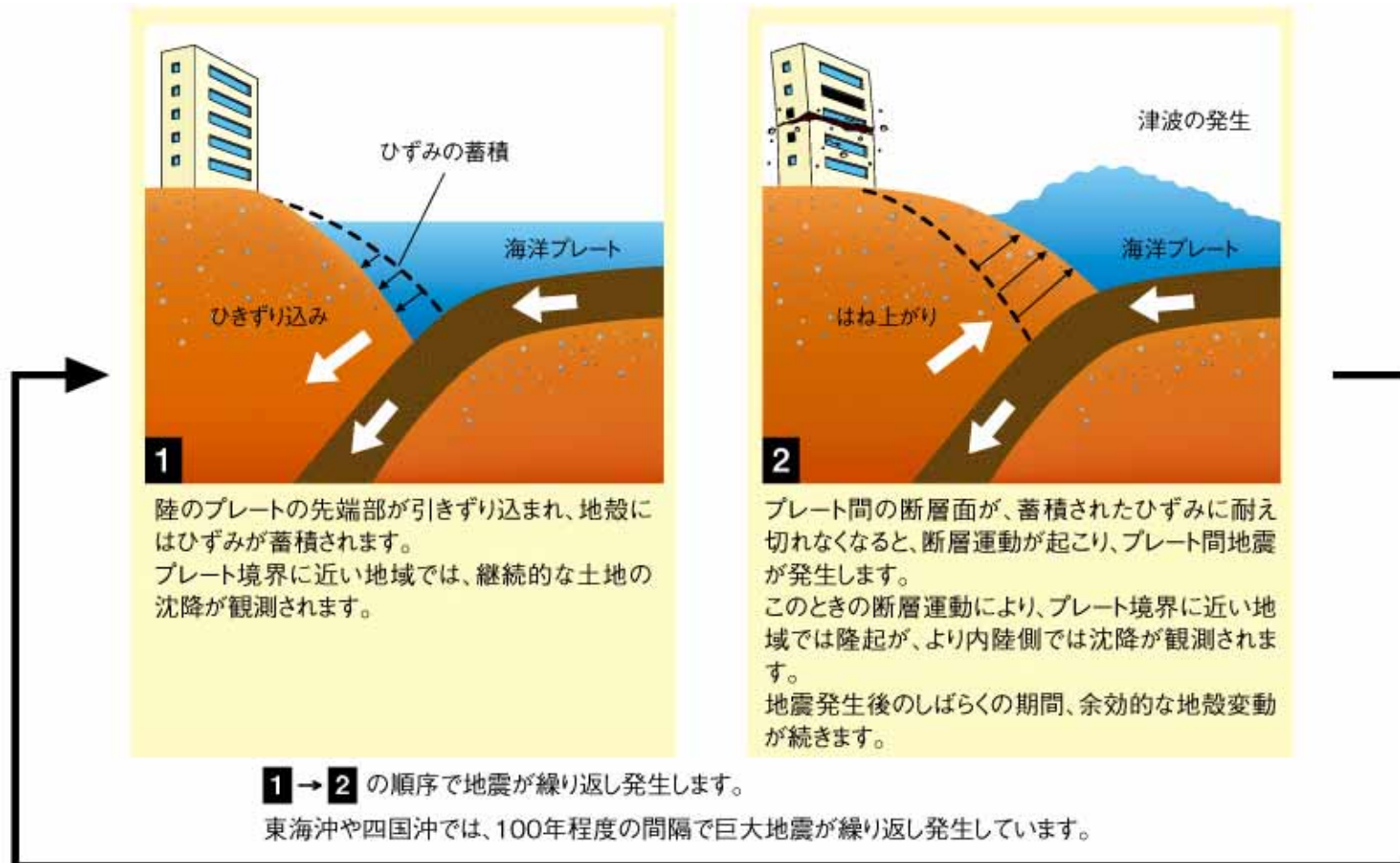
(地震調査推進本部パンフレットより)

# プレート境界の種類



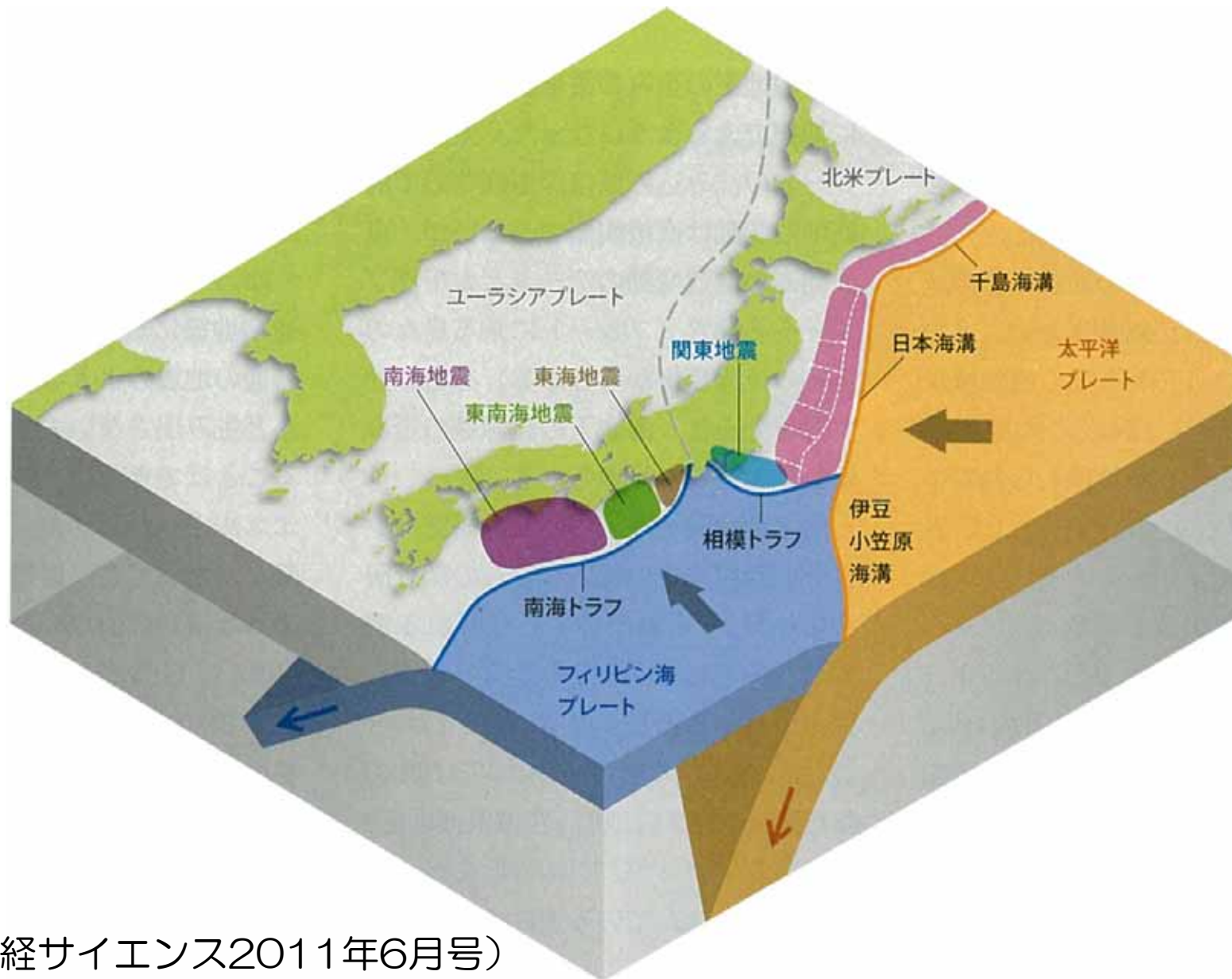
(地震調査推進本部パンフレットより)

# 海溝型地震の発生



(地震調査推進本部パンフレットより)

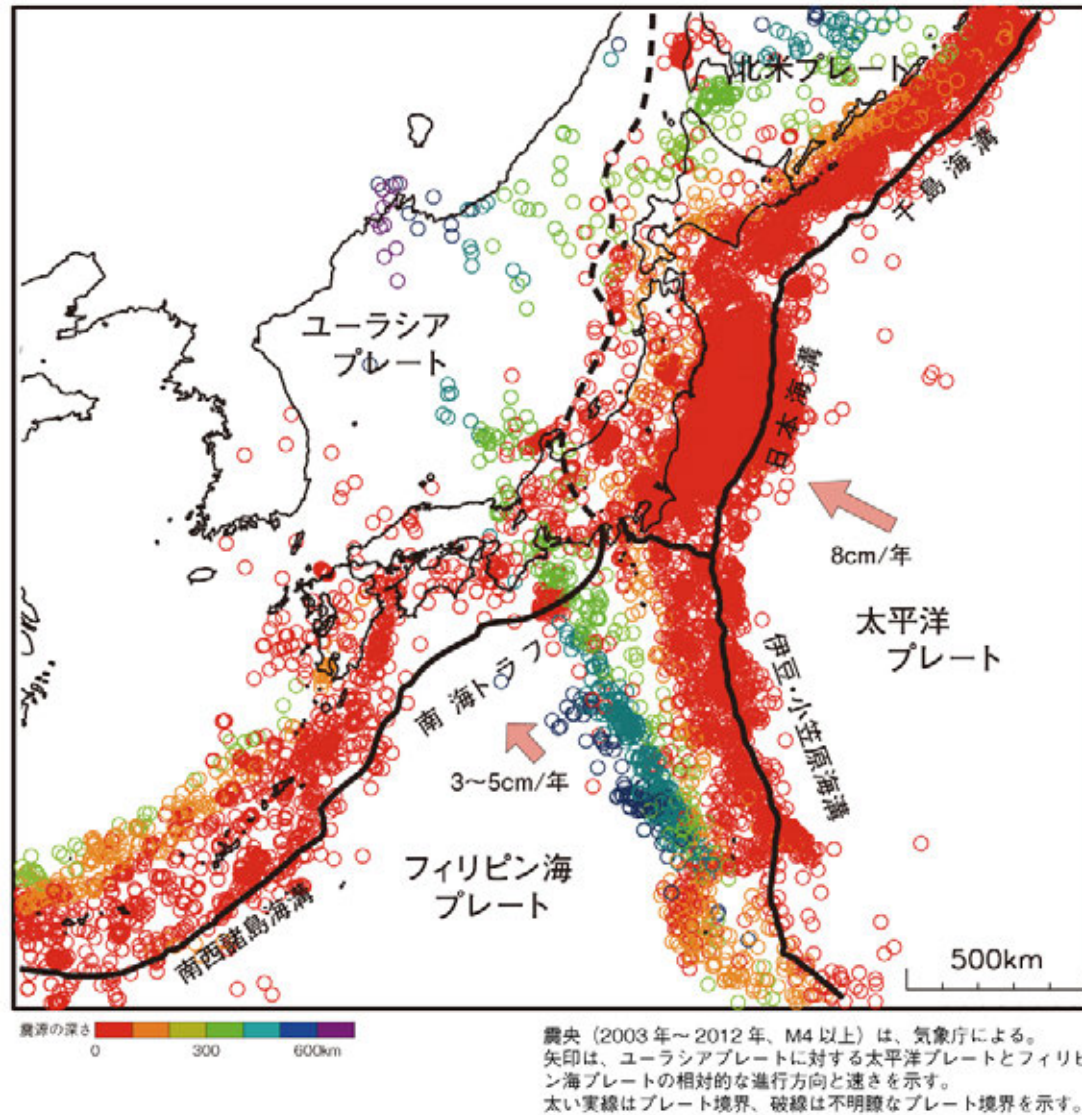
# 日本付近のプレートの分布



(日経サイエンス2011年6月号)



# 日本付近の地震分布



(地震調査推進本部パンフレットより)

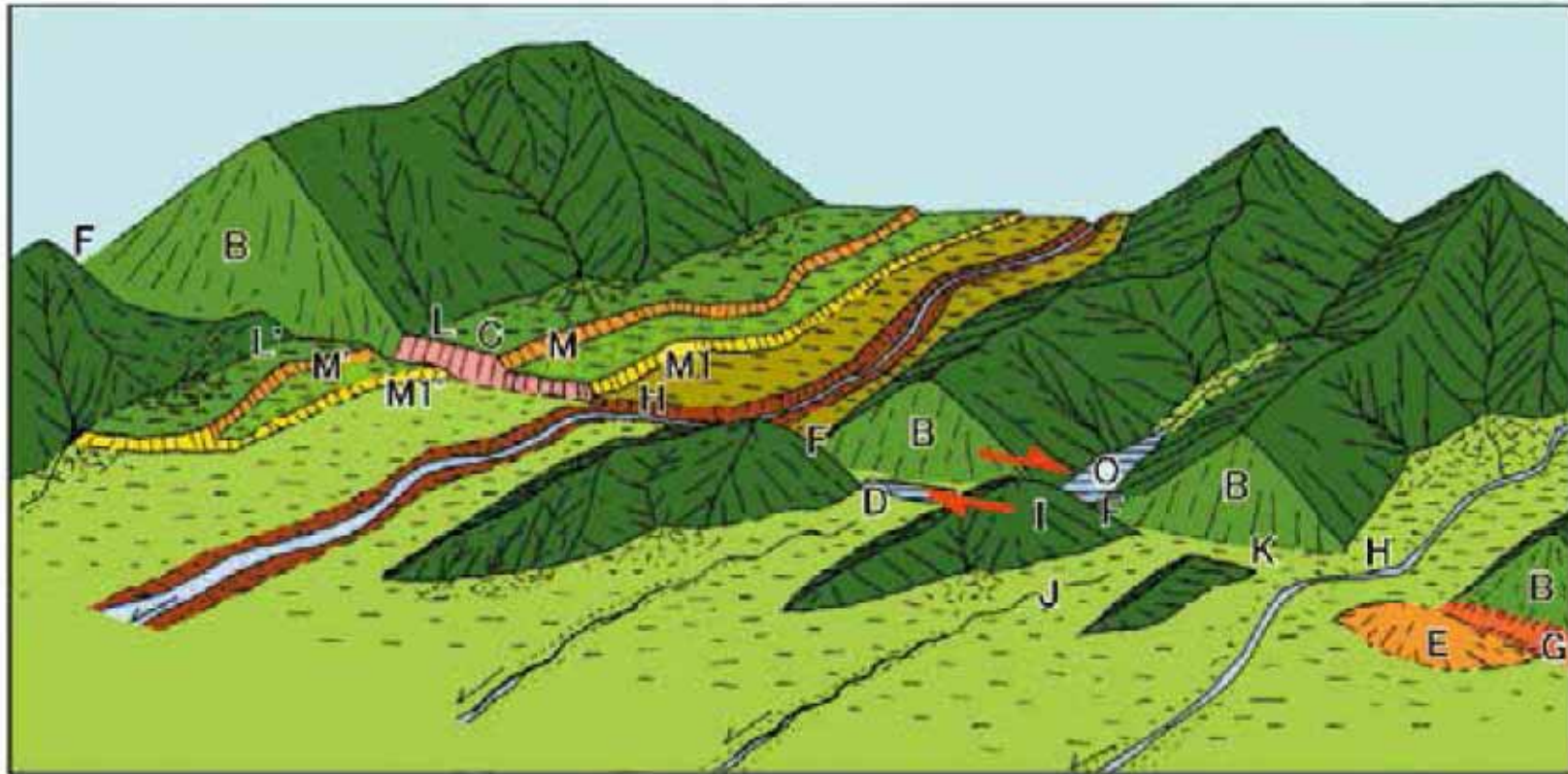
## 活断層地震とは？

活断層（最近の地質時代に繰り返し活動し、**将来も活動する**と考えられる断層）での地盤のずれにより発生する地震。国内で2000ほど確認されているが、未発見のものも多くあると考えられている。



（産総研 活断層データベースより）

# 活断層地形



B:三角末端面, C:低断層崖, D:断層池, E:ふくらみ, F:断層鞍部, G:地溝, H:横ずれ谷, I:閉塞丘, J:載頭谷, K:風隙, L-L':山麓線のくいちがい, M-M'段丘崖(M, M1)のくいちがい, O:堰き止め性の池

直線的な崖などの特徴的な地形として認められる活断層は、過去に非常に大きな規模の地震が繰り返し発生した痕跡こんせきといえます。  
「新編日本の活断層」(活断層研究会編、1991年)に加筆

(地震調査推進本部パンフレットより)

## 地表付近に現れた活断層



(産総研 活断層データベースより)

# 岡山周辺の活断層



(産総研 活断層データベースより)

## 活断層地震の被害例



1995年（平成7年）  
阪神大震災（M7.3）



（神戸震災と戦災資料館HPより）

## 活断層地震の被害例



2016年（平成28年）  
熊本地震（M7.3）

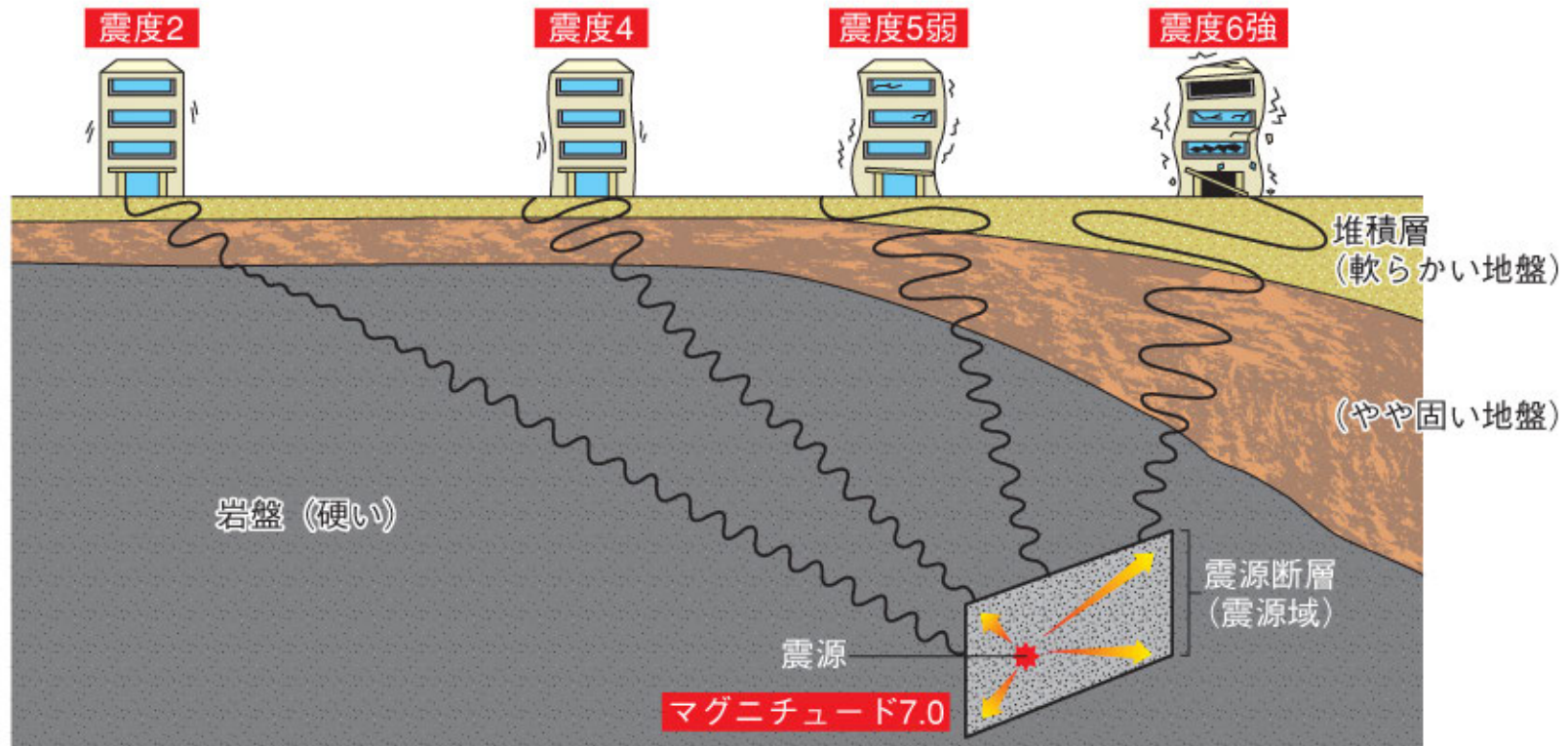
（毎日新聞WEBより）

## 震度階級（気象庁による）

震度階級	人の体感・行動
4	ほとんどの人が驚く。歩いている人のほとんどが、揺れを感じる。眠っている人のほとんどが、目を覚ます。電灯などのつり下げ物は大きく揺れ、棚にある食器類は音を立てる。座りの悪い置物が、倒れることがある。電線が大きく揺れる。自動車を運転していて、揺れに気付く人がいる。
5弱	大半の人が、恐怖を覚え、物につかまりたいと感じる。電灯などのつり下げ物は激しく揺れ、棚にある食器類、書棚の本が落ちることがある。座りの悪い置物の大半が倒れる。固定していない家具が移動することがあり、不安定なものは倒れることがある。まれに窓ガラスが割れて落ちることがある。電柱が揺れるのがわかる。道路に被害が生じることがある。
5強	大半の人が、物につかまらなると歩くことが難しいなど、行動に支障を感じる。棚にある食器類や書棚の本で、落ちるものが多くなる。テレビが台から落ちることがある。固定していない家具が倒れることがある。窓ガラスが割れて落ちることがある。補強されていないブロック塀が崩れることがある。据付けが不十分な自動販売機が倒れることがある。自動車の運転が困難となり、停止する車もある。
6弱	立っていることが困難になる。固定していない家具の大半が移動し、倒れるものもある。ドアが開かなくなることがある。壁のタイルや窓ガラスが破損、落下することがある。
6強	立っていることができず、はわないと動くことができない。揺れにほんろうされ、動くこともできず、飛ばされることもある。固定していない家具のほとんどが移動し、倒れるものが多くなる。壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する建物が多くなる。補強されていないブロック塀のほとんどが崩れる。
7	固定していない家具のほとんどが移動したり倒れたりし、飛ぶこともある。壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する建物がさらに多くなる。補強されているブロック塀も破損するものがある。



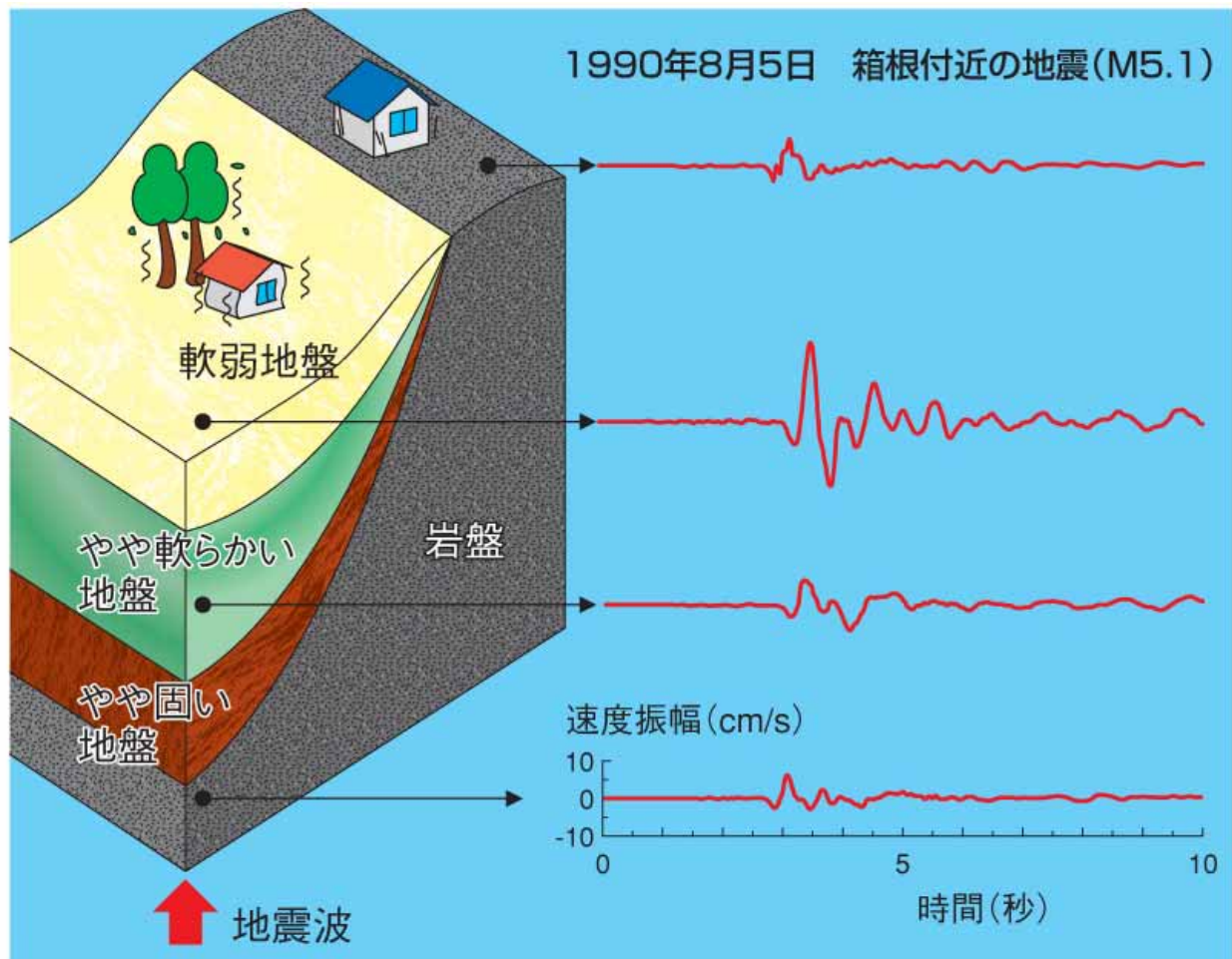
# 震度とマグニチュードの違い



断層運動の規模を表すマグニチュードは1つですが、それぞれの場所の揺れの大きさを示す震度は場所によって異なります。図は震源に近く、地盤が軟らかい場所ほど大きく揺れることを示しています。

(地震調査推進本部パンフレットより)

# 地盤と揺れやすさ



図は岩盤と軟弱な地盤を含む地下の構造を簡略化していますが、地震の記録は実際に観測されたものです。軟弱地盤では、岩盤に比べ振幅が約3倍に達しており、揺れている時間も長いことがわかります。

(工藤一嘉氏の図をもとに作成)

(地震調査推進本部パンフレットより)

## 昭和南海地震の震度分布

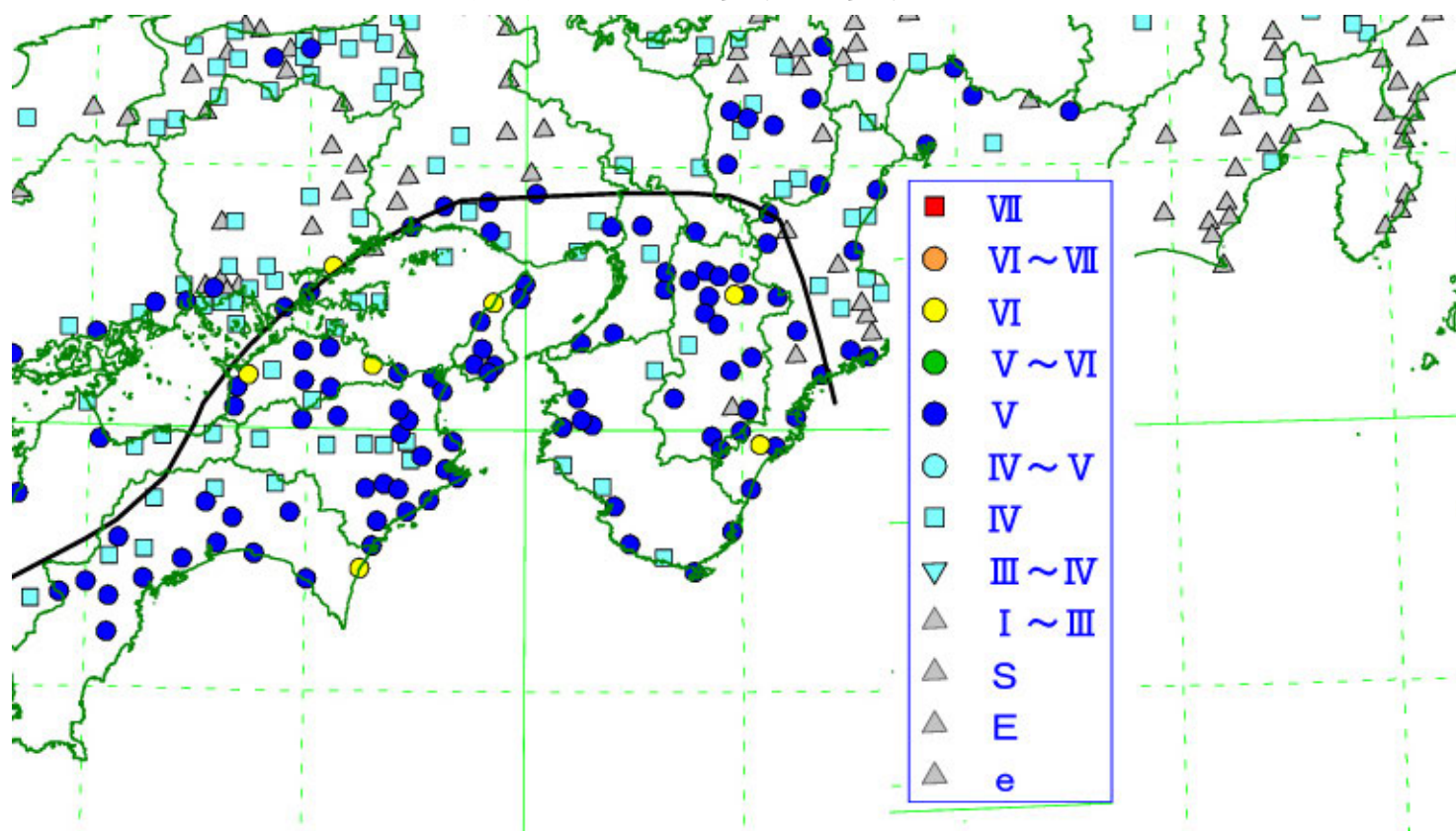


図-5 昭和南海地震震度分布図

震度分布： 日本の地震震度調査表（宇佐美、浜松ほか 1985）

震度コンター： 宇佐美（私信 2002）による

# 岡山地域における地震災害の主な誘因



(産総研 活断層データベースに加筆)

## 岡山地域における地震災害の主な誘因

地震のタイプ	震源	マグニチュード	発生確率 (今後30年以内)
海溝型地震	南海トラフ	M9.0	70%
活断層型地震	山崎断層帯	M8.0	1~2%
	中央構造線活断層系	M8.0	3%
	那岐山断層帯	M7.6	0.2%
	長者ヶ原一芳井断層	M7.4	0.1%

## 地震時の緊急情報



(気象庁WEBより)

# 津波警報

	予想される津波の高さ		とるべき行動	想定される被害
	数値での発表 (発表基準)	巨大地震の 場合の表現		
大津波警報	10m超 (10m<高さ)	巨大	<p>沿岸部や川沿いにいる人は、ただちに高台や避難ビルなど安全な場所へ避難してください。津波は繰り返し襲ってくるので、津波警報が解除されるまで安全な場所から離れないでください。</p> <p>ここなら安心と思わず、より高い場所を目指して避難しましょう！</p> 	<p>木造家屋が全壊・流失し、人は津波による流れに巻き込まれる。</p>  <p>(10mを超える津波により木造家屋が流失)</p>
	10m (5m<高さ≤10m)			
	5m (3m<高さ≤5m)			
津波警報	3m (1m<高さ≤3m)	高い	<p>津波防災啓発ビデオ「津波からにげる」(気象庁)の1シーン</p> 	<p>標高の低いところでは津波が襲い、浸水被害が発生する。人は津波による流れに巻き込まれる。</p>  <p>豊頃町提供 (2003年)</p>
津波注意報	1m (20cm≤高さ≤1m)	(表記しない)	<p>海の中にいる人は、ただちに海から上がって、海岸から離れてください。津波注意報が解除されるまで海に入ったり海岸に近付いたりしないでください。</p> 	<p>海の中では人は速い流れに巻き込まれる。養殖いかだが流失し小型船舶が転覆する。</p> 

# 地盤の液状化



## 地盤の液状化とは？

地震による揺れによって地盤が液体状になること

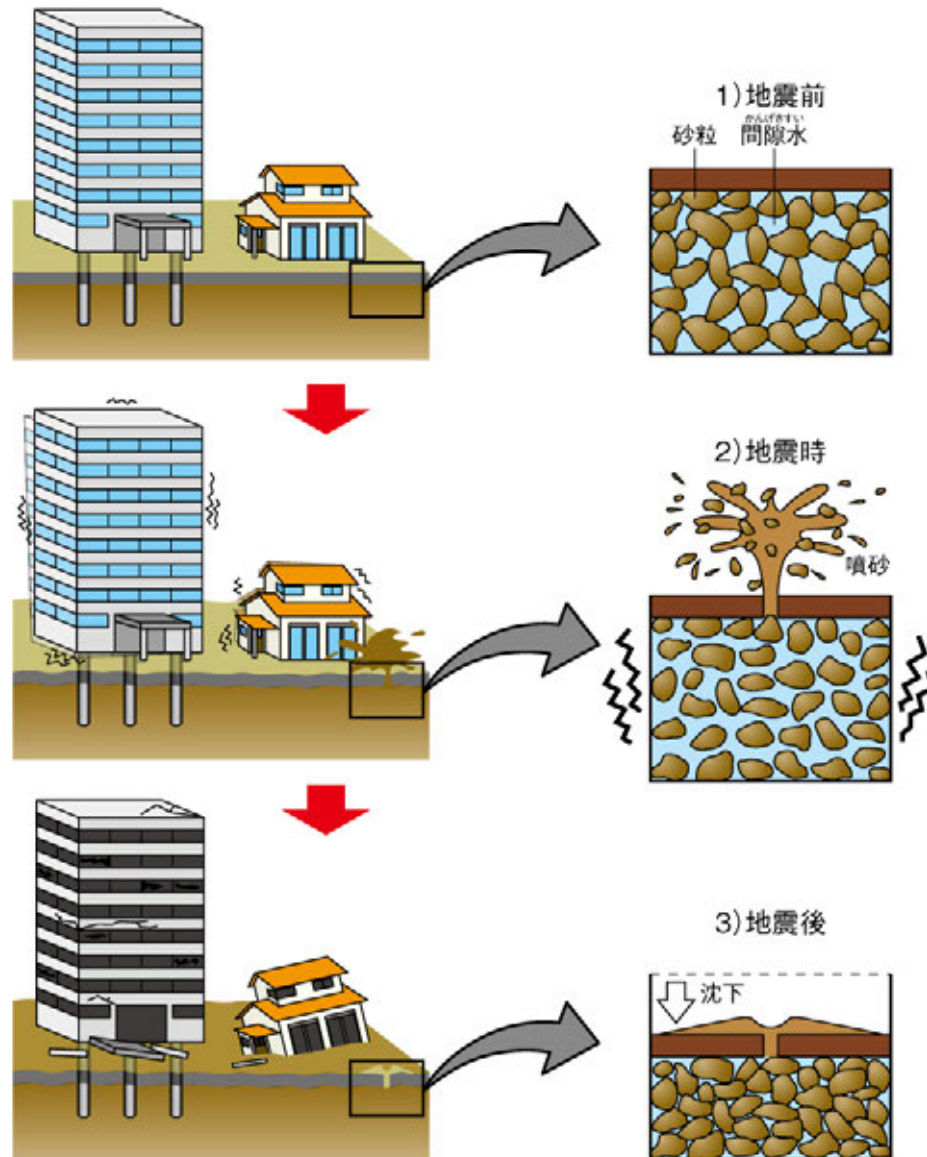
液状化によって、地表に泥水が噴き出したり、建物が沈下や倒壊したり、地下埋設物（上下水道管やガス管）が破損するといった被害が発生する

誘因：地震動

素因：緩く詰まった砂質土

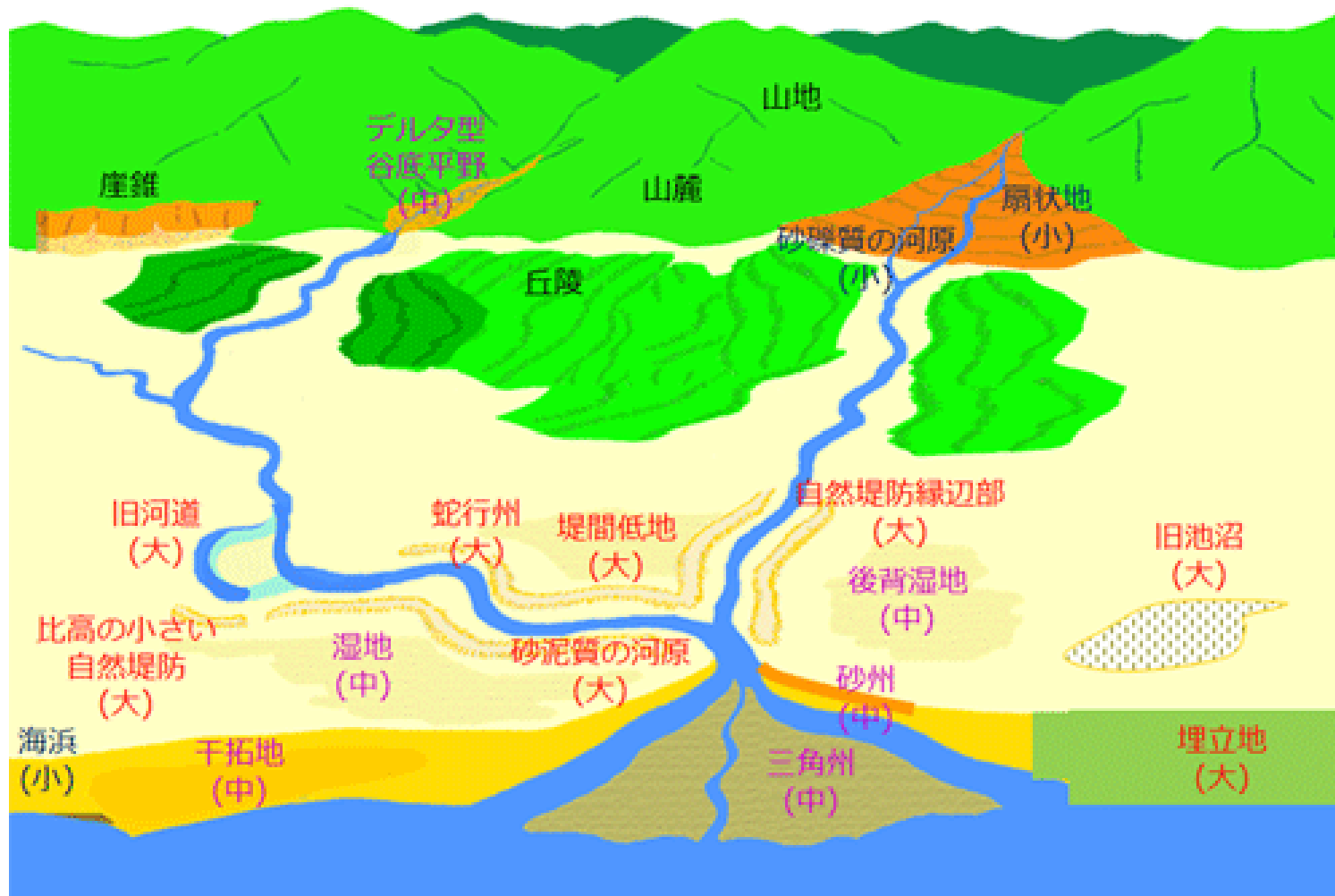
高い（地表付近までである）地下水位

# 液状化の発生メカニズム



(地震調査推進本部パンフレットより)

# 液状化の起こりやすい場所



河川地形と液状化

(日本建築学会WEBより)

## 液状化の発生する震度

震度階級	地盤の状況
5弱～5強	亀裂や液状化が生じることがある
6弱	地割れが生じることがある
6強～7	大きな地割れが生じることがある

(気象庁WEBを一部改変)

## 液状化被害の実例



噴砂の瞬間

(1983日本海中部地震)

(若松、2011より)



液状化による湛水

(2007中越沖地震)

(若松、2011より)

## 液状化被害の実例



噴砂と水（2011東日本大震災）  
（浦安震災アーカイブ（WEB）  
より）

液状化による噴砂の堆積

（2011東日本大震災）

（浦安震災アーカイブ（WEB）より）



## 液状化被害の実例



アパートの傾倒

(1964新潟地震)

(若松、2011より)

住宅の傾倒

(1995阪神大震災)

(若松、2011より)



## 液状化被害の実例



建物の沈下・塀の倒壊  
(2016熊本地震)

(村上・永瀬、2016より)

建物の周囲の地盤の沈下

(2011東日本大震災)

(浦安震災アーカイブ (WEB) より)





## 液状化被害の実例



マンホールの浮上がり  
(2011東日本大震災)  
(浦安震災アーカイブ (WEB)  
より)

地下埋設タンクの浮上がり  
(1993北海道南西沖地震)  
(若松、2011より)



## 液状化被害の実例



護岸の流動

(1983日本海中部地震)

(若松、2011より)



耕作地の地割れ・噴砂  
(2016熊本地震)

(村上・永瀬、2016より)

# 液状化の誘因

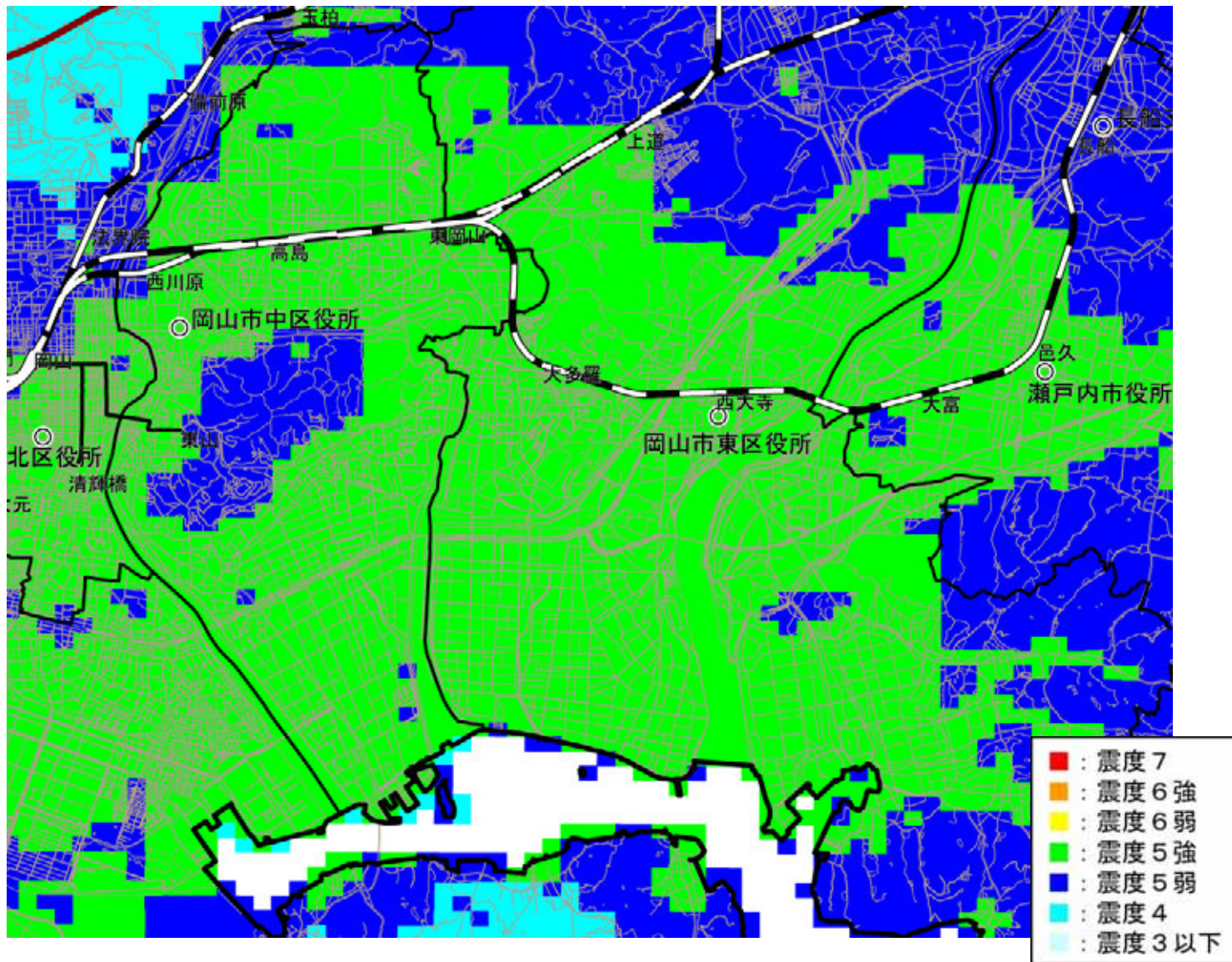


(産総研 活断層データベースに加筆)

## 岡山県南部地域に震度5以上をもたらす地震

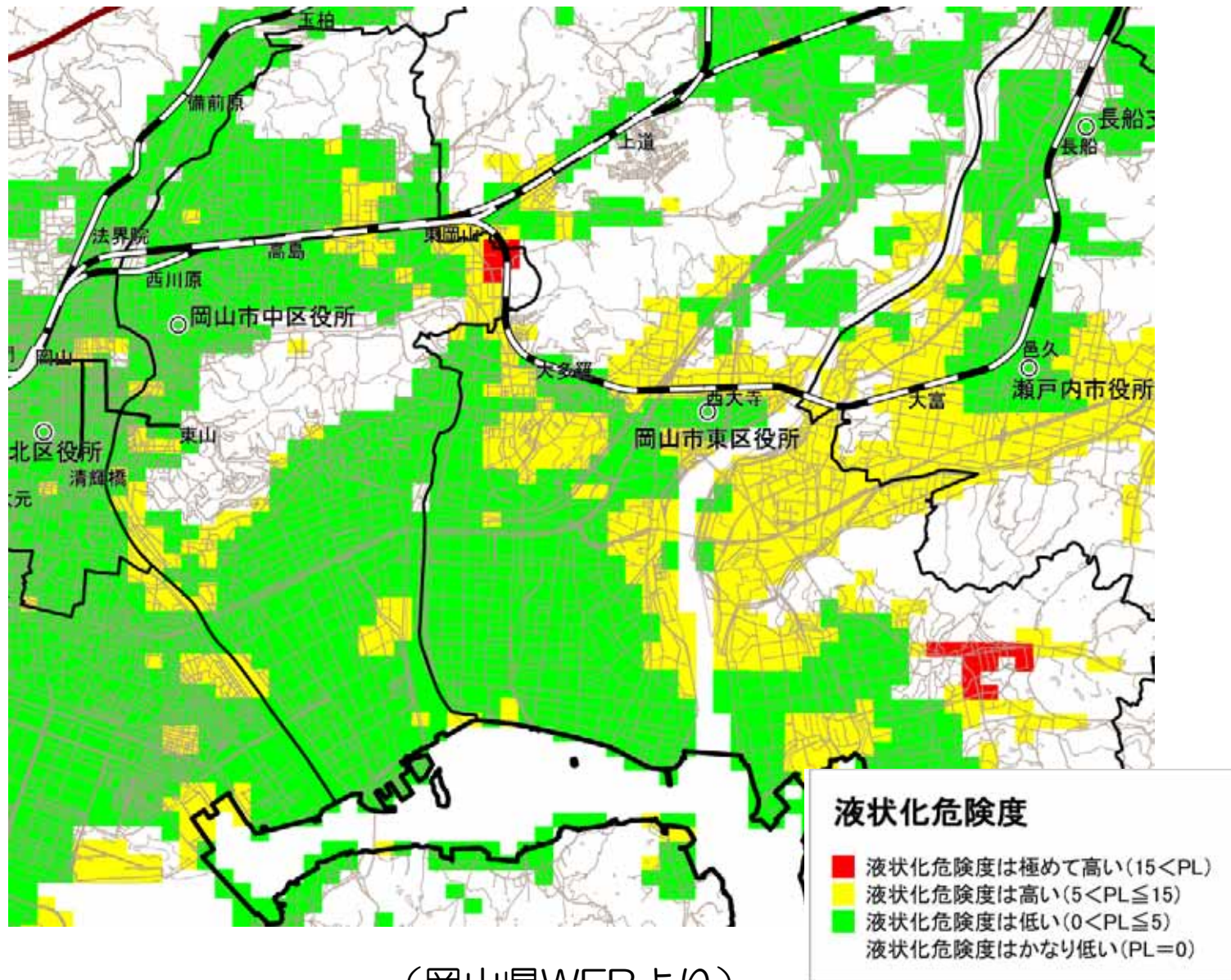
震源	マグニチュード	最大震度
山崎断層帯	M8.0	6強
中央構造線活断層系	M8.0	6弱
那岐山断層帯	M7.6	6強
長者ヶ原－芳井断層	M7.4	6強
南海トラフ	M9.0	6強

# 山崎断層帯地震の震度予測

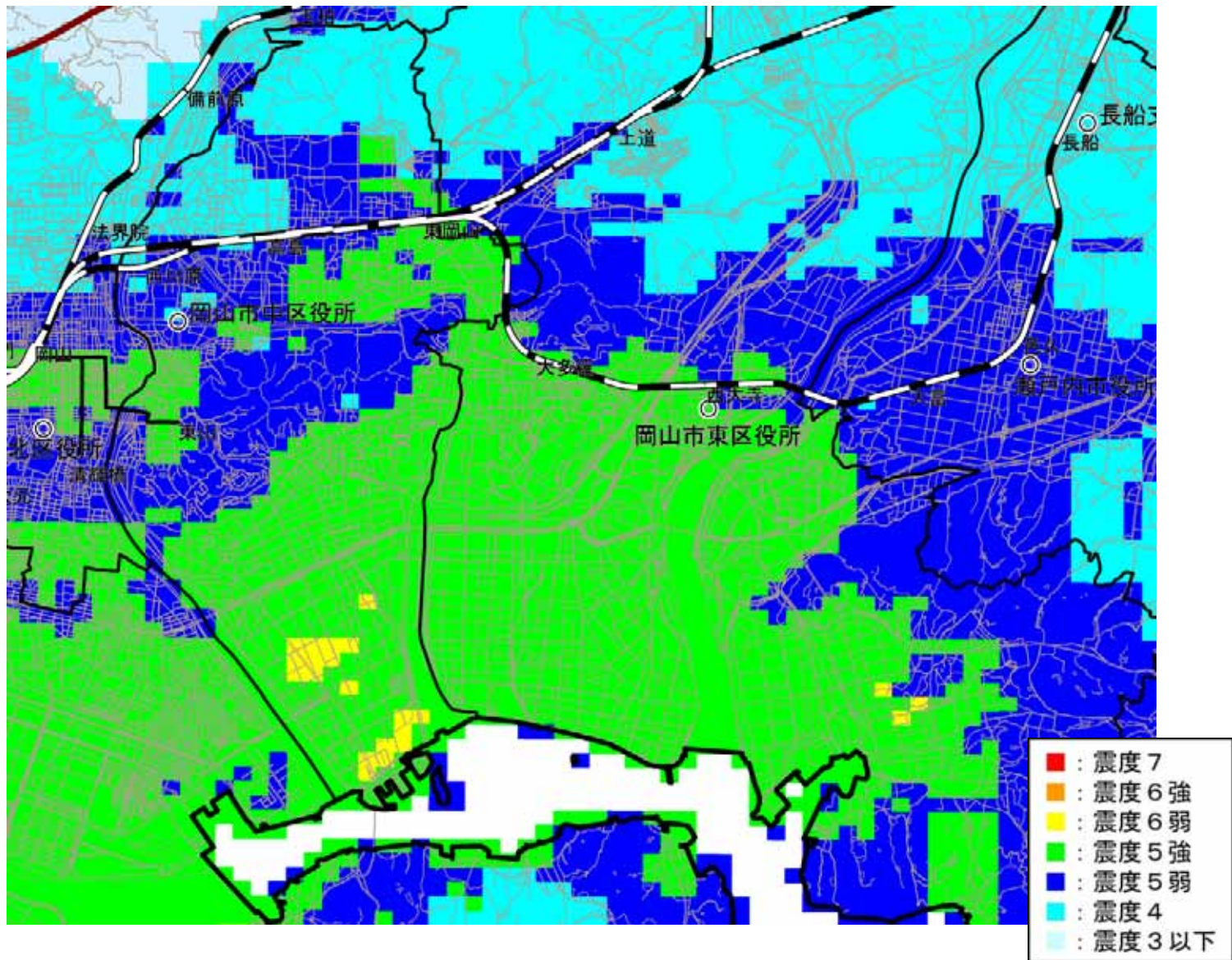


(岡山県WEBより)

# 山崎断層帯地震による液状化の危険度予測

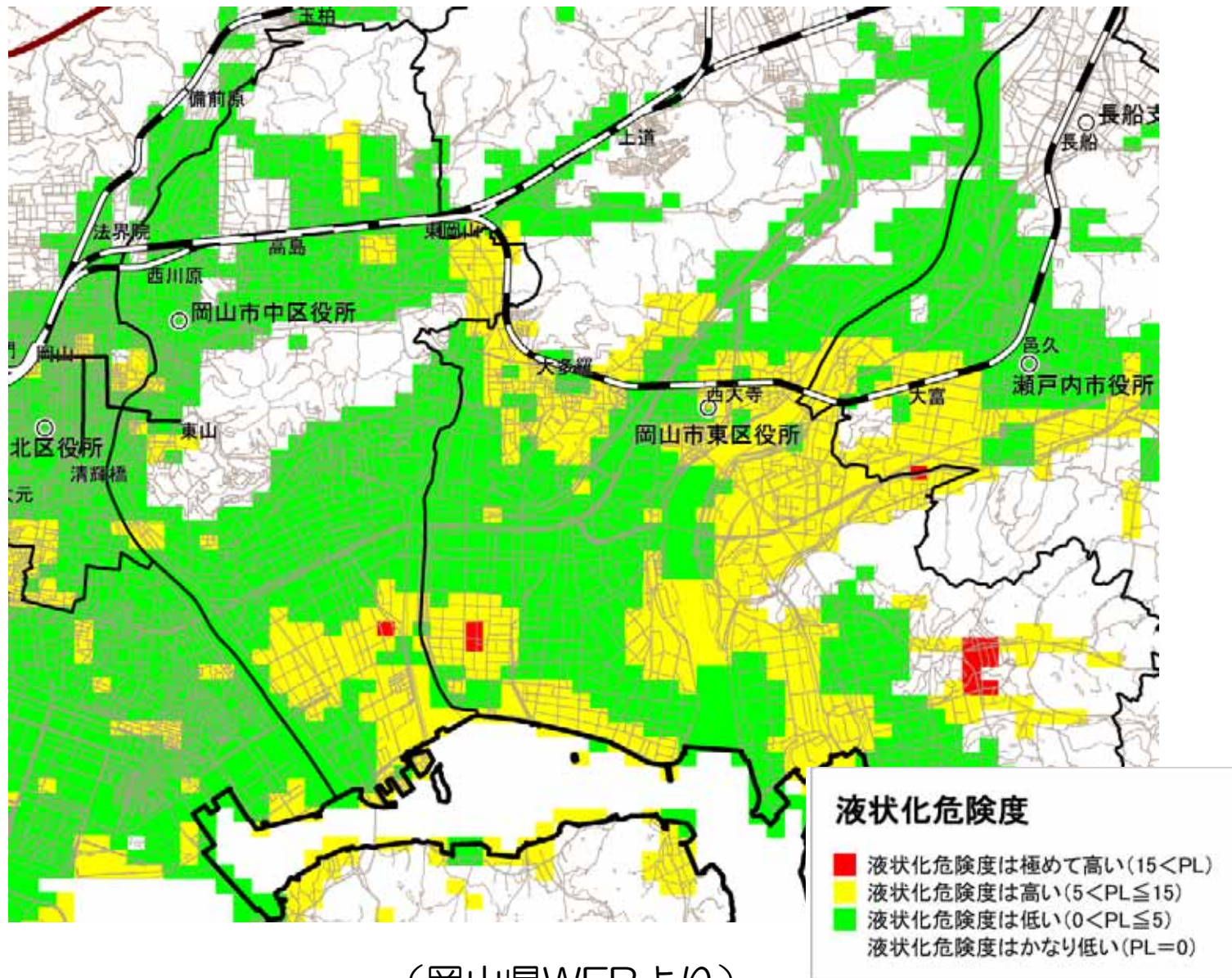


# 中央構造線活断層系地震による震度予測



(岡山県WEBより)

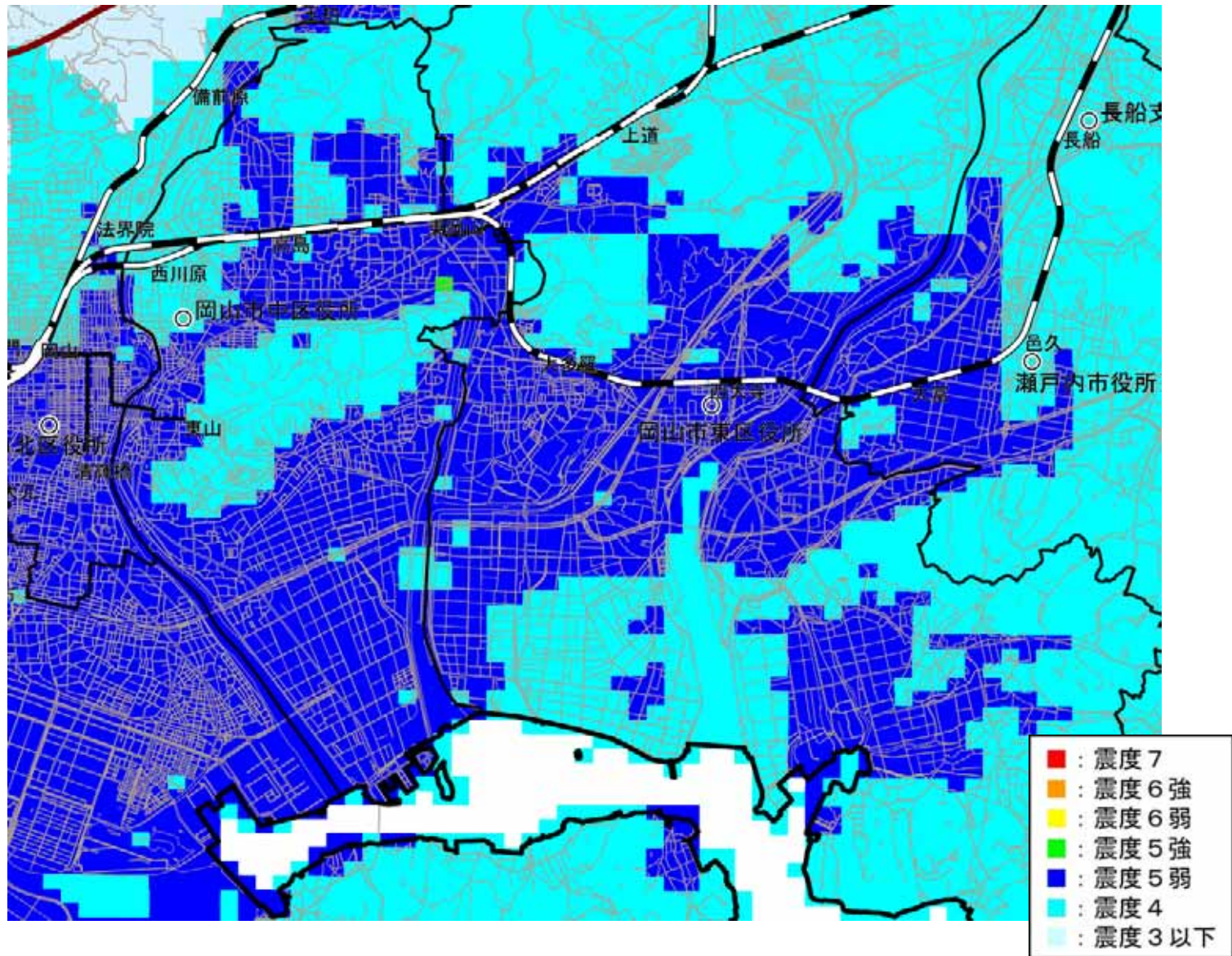
# 中央構造線活断層系地震による液状化の危険度予測



(岡山県WEBより)

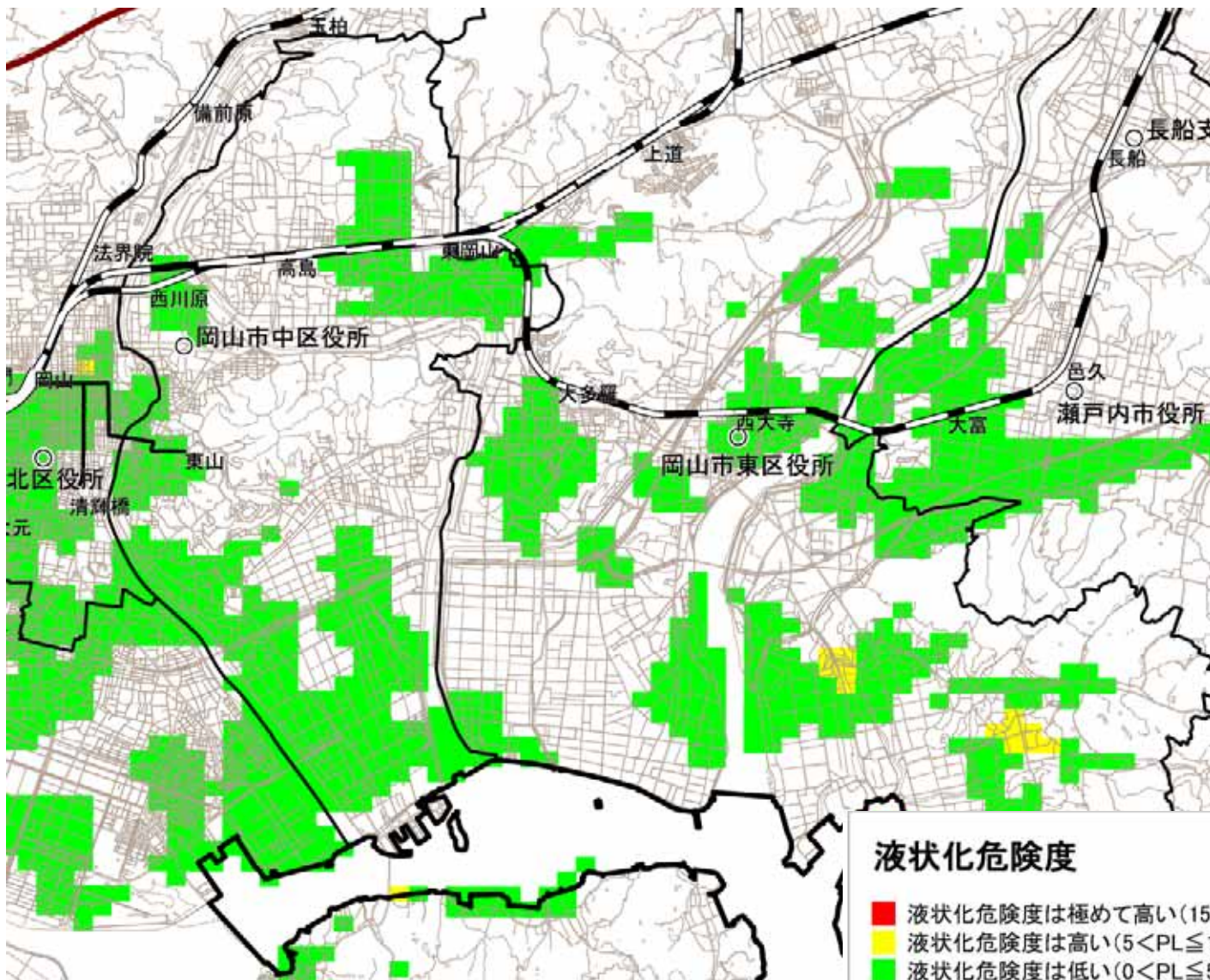


# 那岐山断層帯地震による震度予測



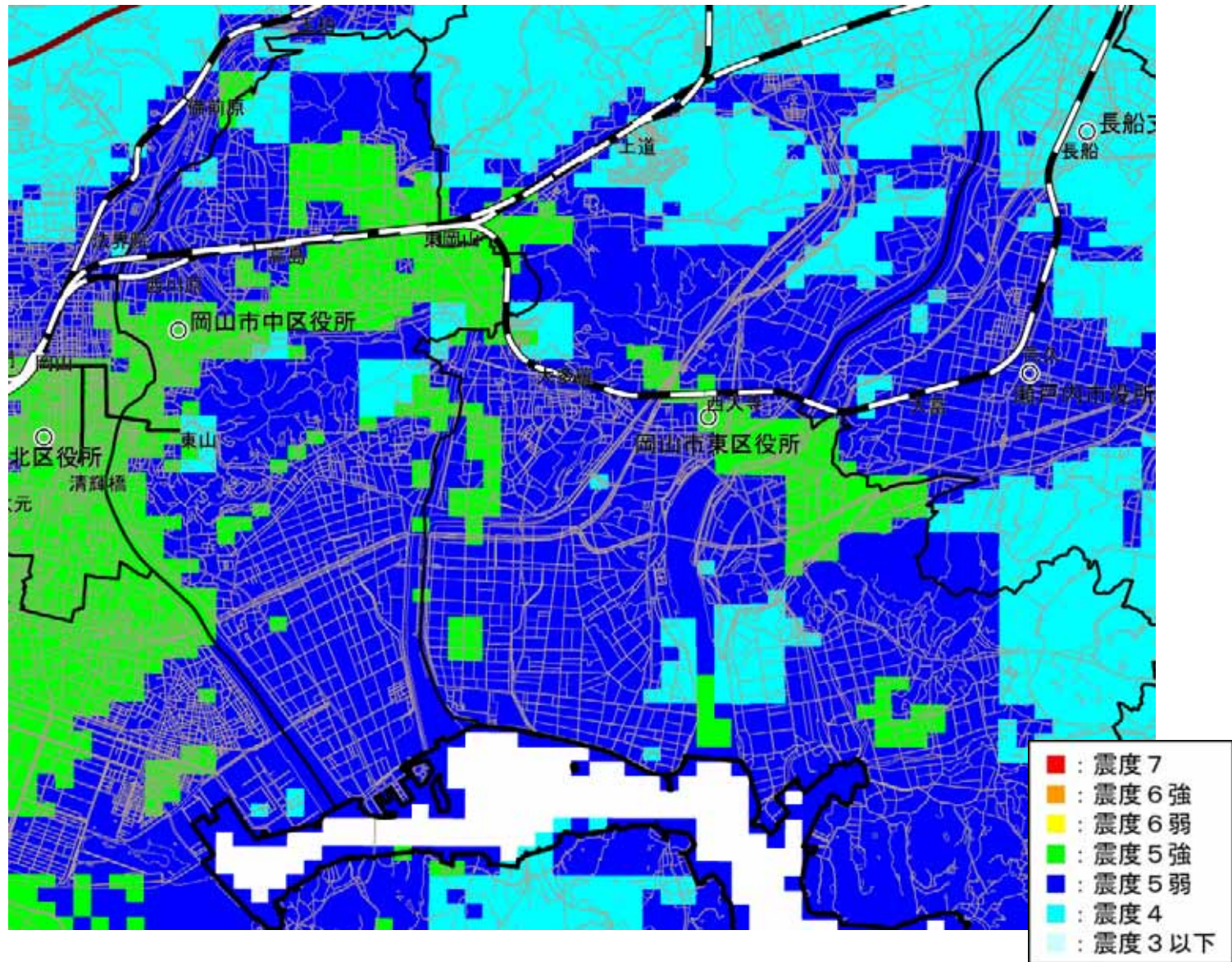
(岡山県WEBより)

# 那岐山断層帯地震による液状化の危険度予測



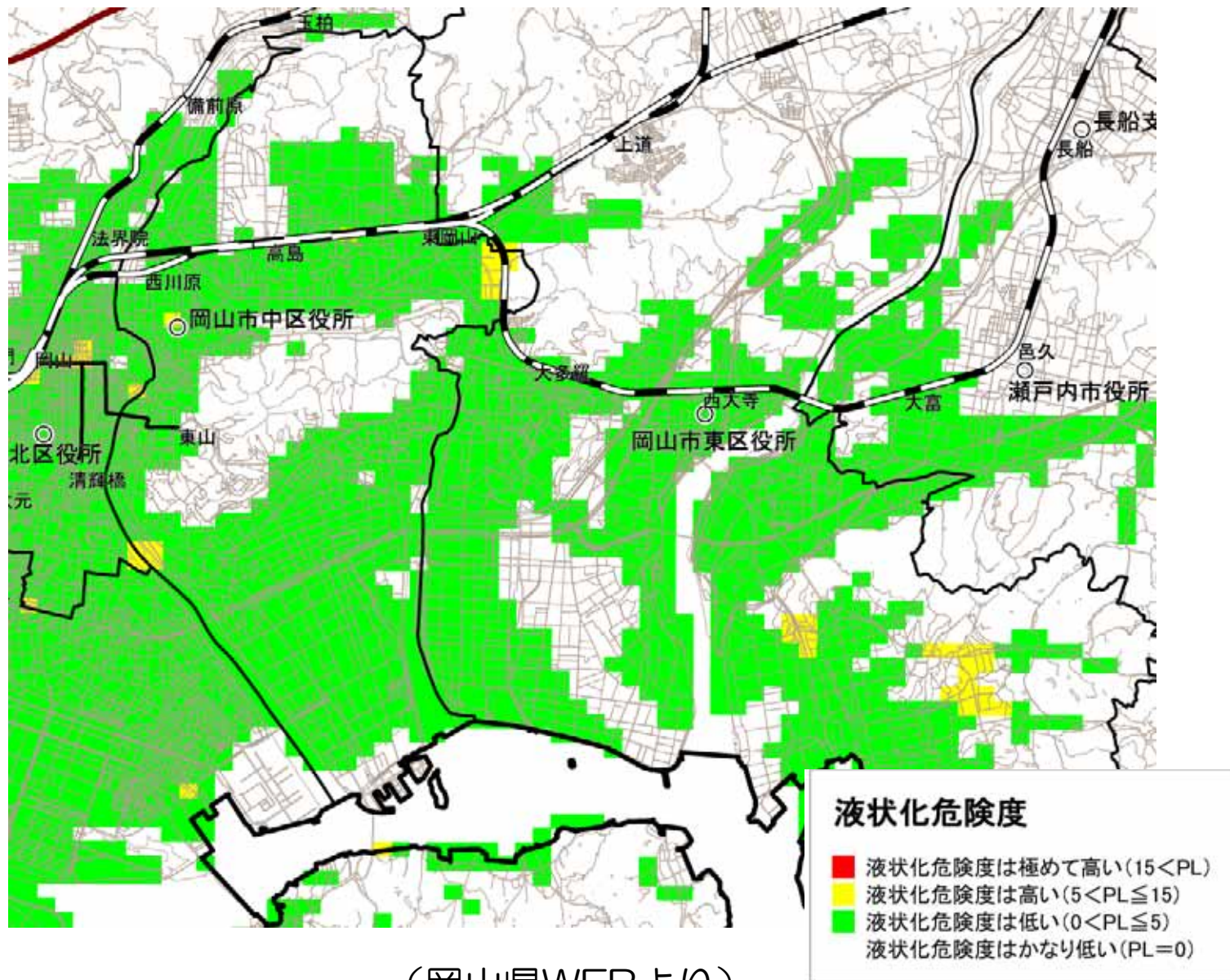
(岡山県WEBより)

# 長者ヶ原一芳井断層地震による震度予測

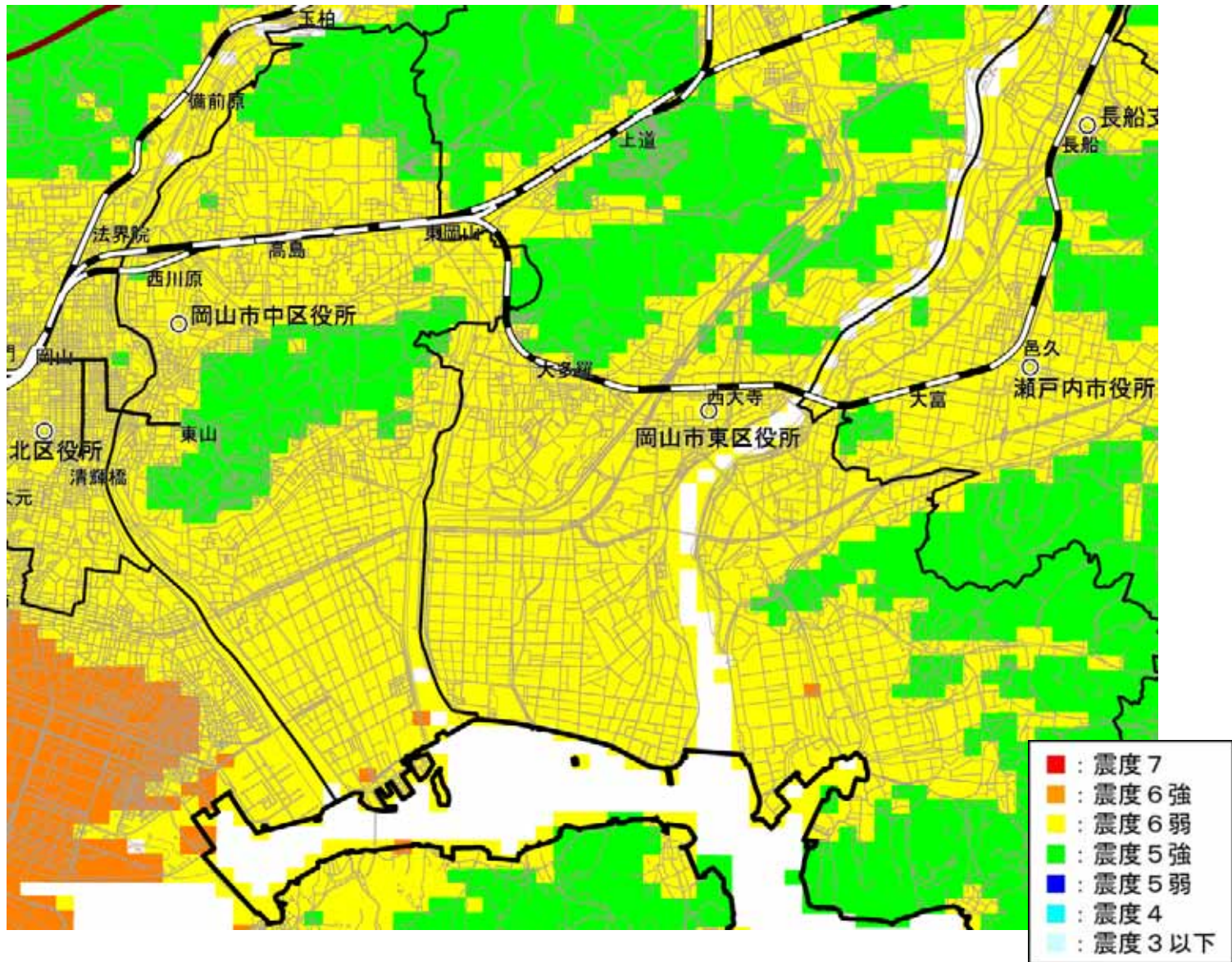


(岡山県WEBより)

# 長者ヶ原一芳井断層地震による液状化の危険度予測

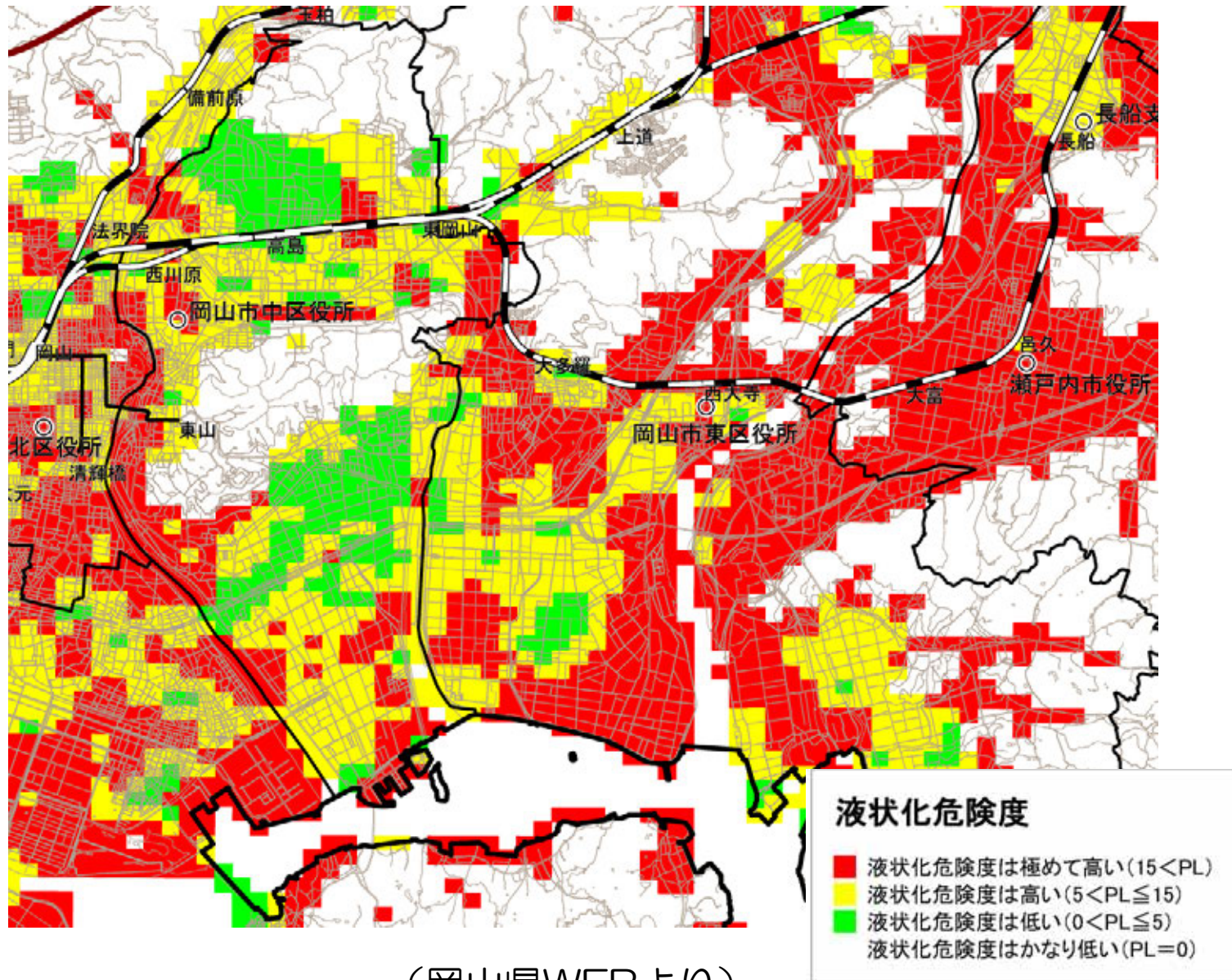


# 南海トラフ巨大地震による震度予測



(岡山県WEBより)

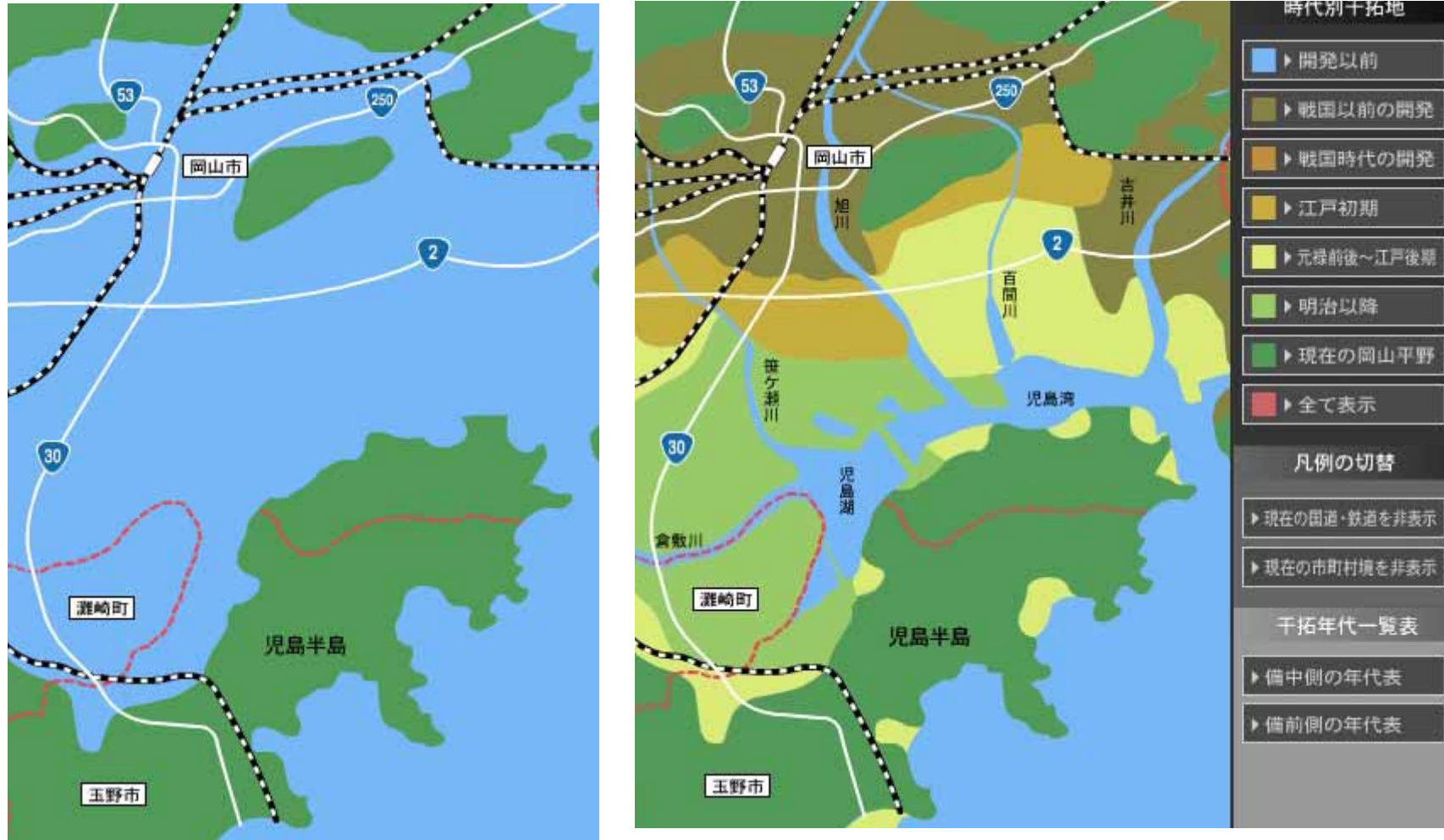
# 南海トラフ巨大地震による液状化の危険度予測



(岡山県WEBより)

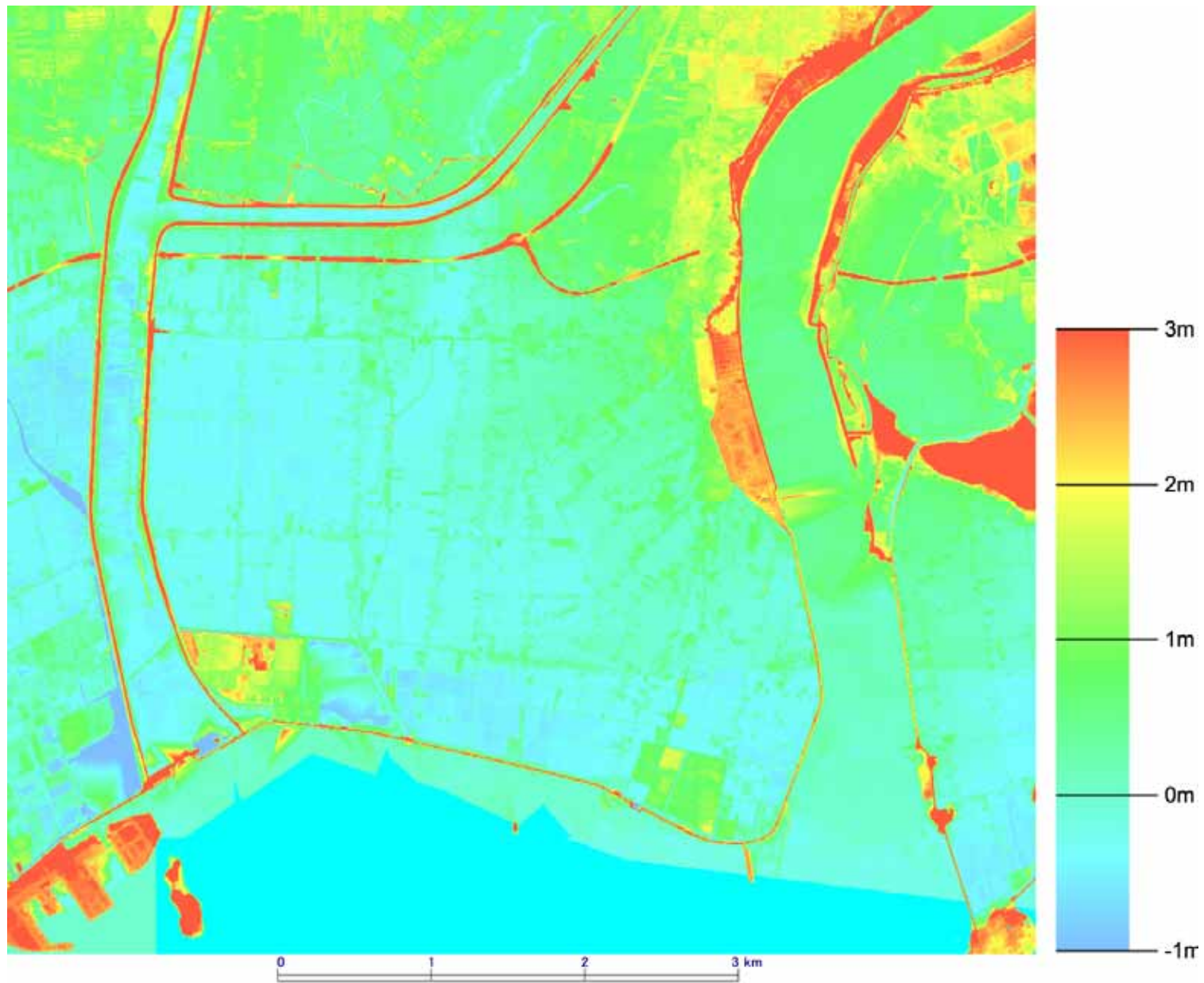
# 岡山平野の特徴（成り立ち）

干拓により標高の低く、軟弱な低地が広がる



(水土の礎HPより)

# 詳細な地形





## 岡山南部の地質



(産総研 シームレス地質図より)

# 地盤状況



(岡山県地盤情報WEBを一部改編)

## 岡山県の液状化災害

1854安政南海地震（M8.4程度、岡山の震度4～6と推定される）

田んぼが割れ、そこから青い泥水が噴き出した等、液状化によるものと考えられる被害が古文書記録として残されている

1946昭和南海地震（M8.0、岡山の震度4～6）

この地震による県内の被害の主要な災害現象は液状化であった（津波は到達したが被害はなかったかごくわずかであったと考えられる）

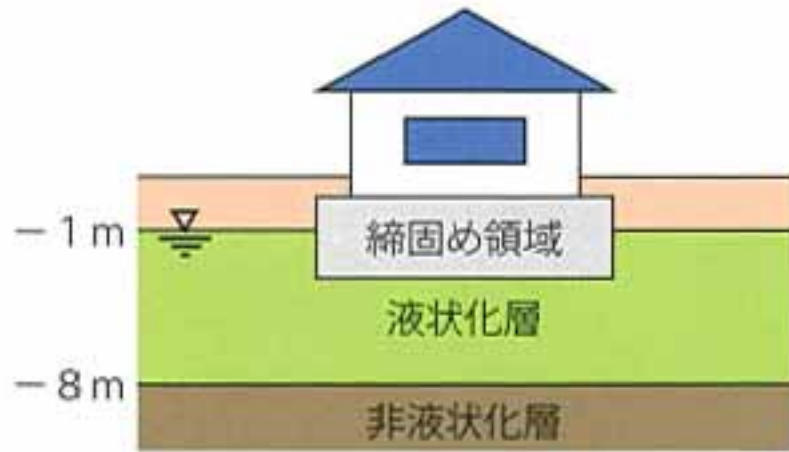
## 液状化対策の基本的な考え方

誘因（地震）をなくすことは不可能

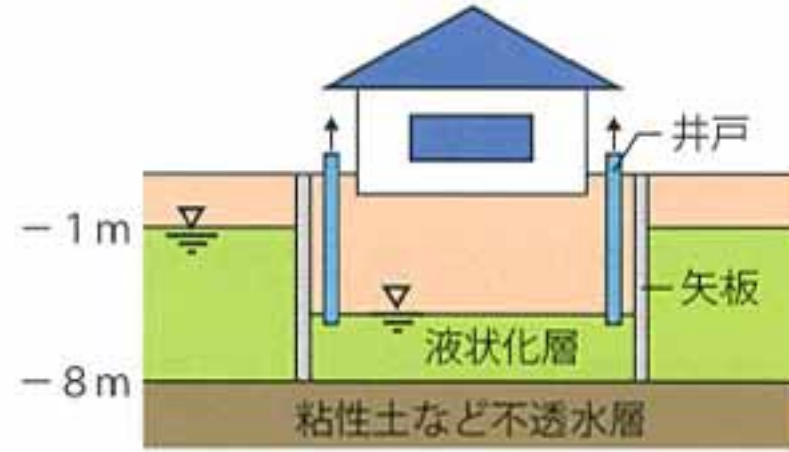
素因（地盤条件）をなくすようにする

着目点	主な工法
液状化を発生させない	
地盤を強化	締め固め 格子状改良 薬液注入
地下水の影響を抑える	井戸排水（地下水低下）
液状化被害を低減させる	
	小口径杭 べた基礎

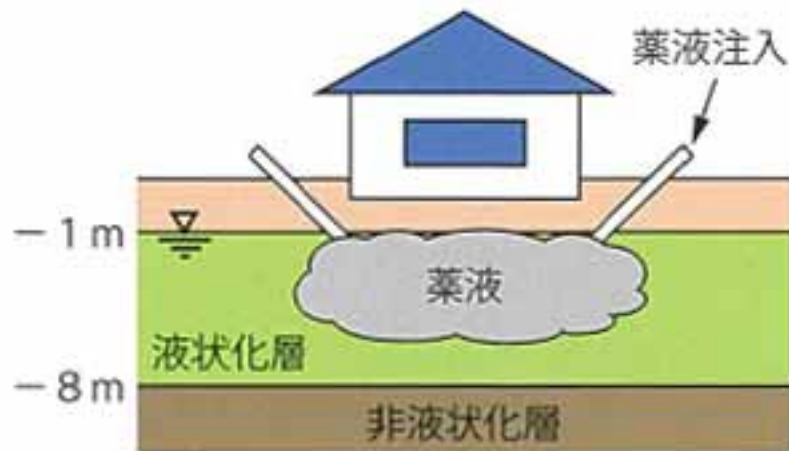
# 液状化を発生させない方法



① 圧入締め固め工法



③ 地下水位低下工法



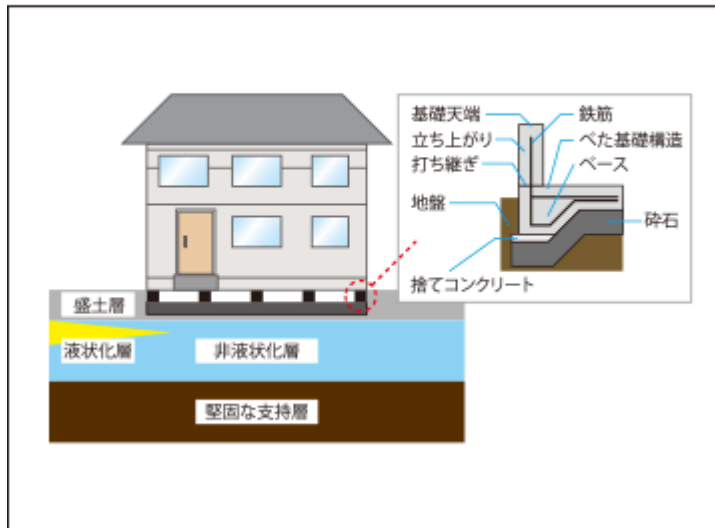
② 薬液等注入工法



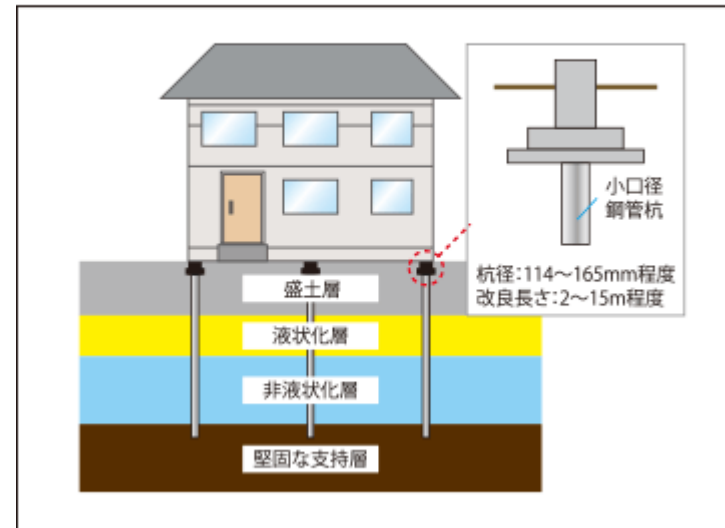
④ 格子状改良工法

# 液状化被害を低減させる方法

## 直接基礎(べた基礎)



## 小口径杭工法



(東京都WEBより)

# 津波災害

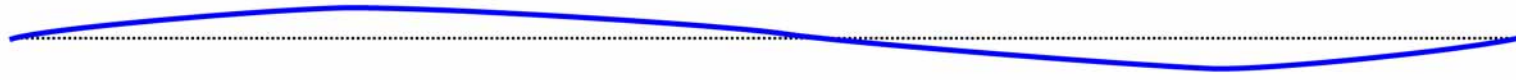


津波（2011東日本大震災）  
（毎日新聞社ヘリより撮影されたもの）



津波とはどういうものか  
(普通の波とどうちがうのか)

津波



波浪 (いわゆる”波”)



数10km~100km

# 津波の伝播



沖合で発生した津波は海岸に近付くにつれて高くなる（浅水変形）



田老地区中心部の被災状況



農地の被災状況の例（宮城県亘理町）

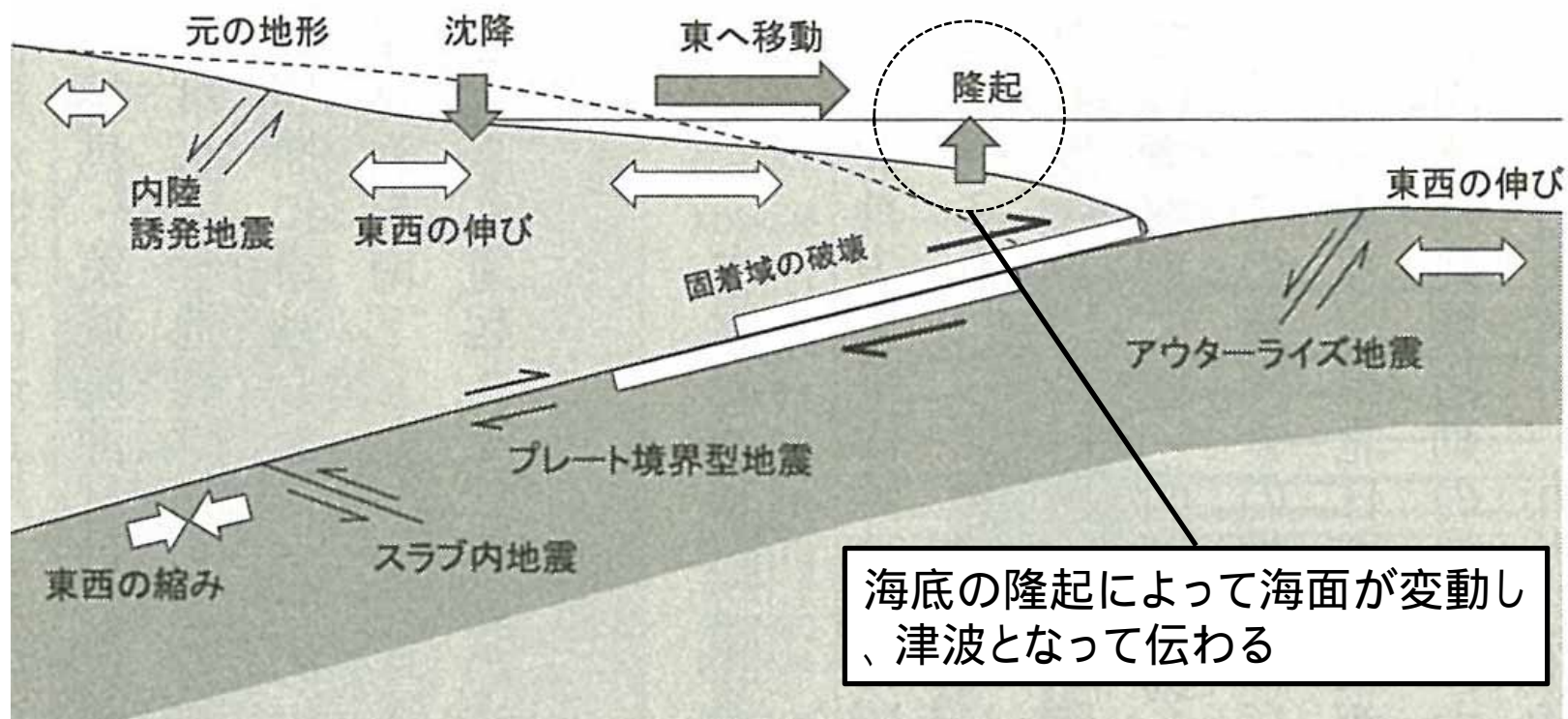


市街地・住宅地の被災状況  
(岩手県大槌町)



海岸保全施設の被災状況の例  
(宮城県亘理町)

## 海底地震による津波の発生メカニズム



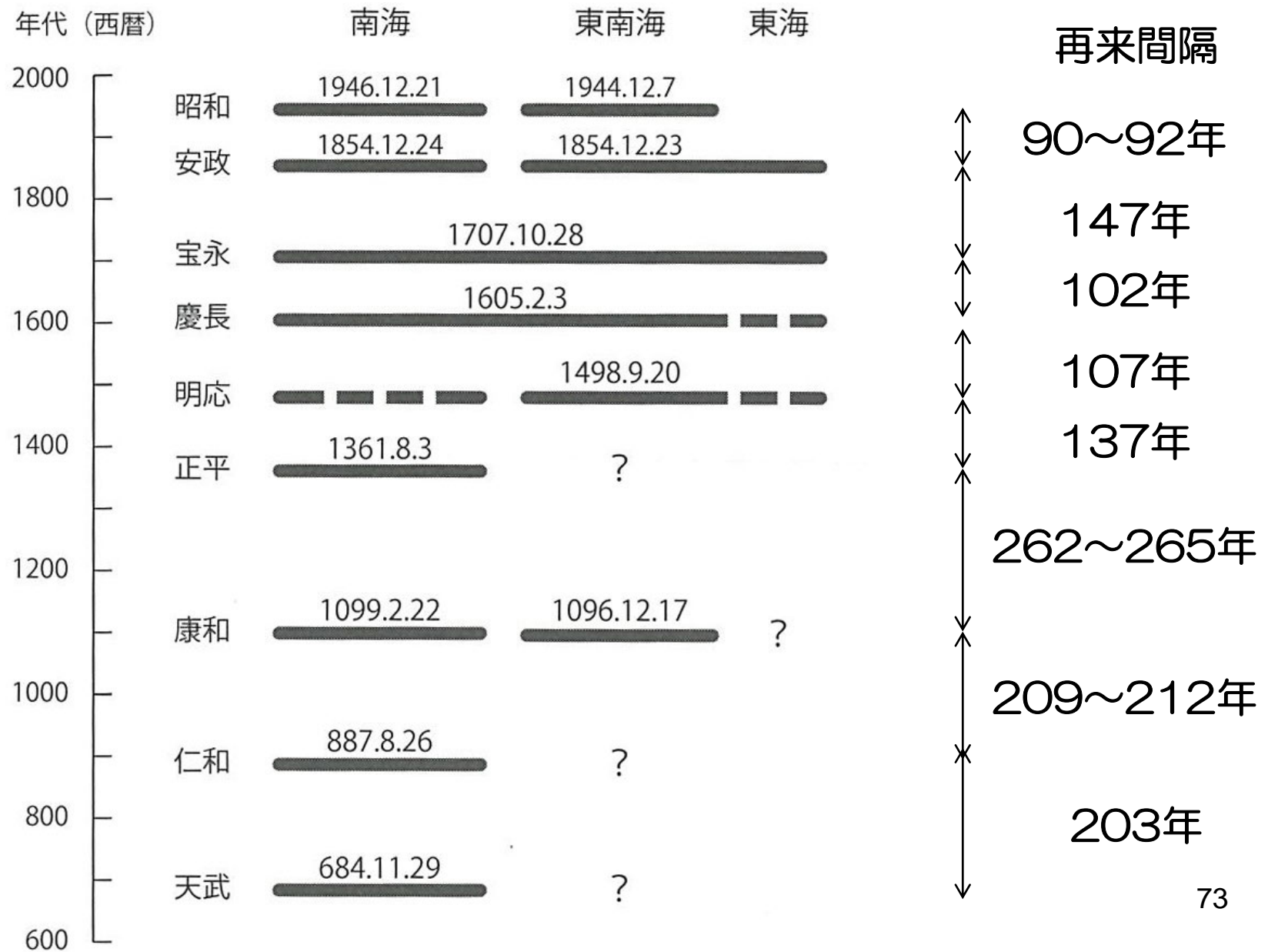
佐竹・堀（編）（2012），東日本大震災の科学，東京大学出版会より

## 南海トラフ地震による津波の古文書記録

年代	地震名	規模	概要
684	白鳳地震	M8~M9	南海道沖で発生；東海～南海沖、西日本一帯が被災
887	仁和地震	M8~8.5	紀伊半島沖；九州～紀伊半島に津波、摂津の津波被害大
1096	永長（嘉保）地震	M8~8.5	遠州灘；近畿～東海地域に被害
1099	康和地震	M8?	紀伊半島沖；近畿に被害
1361	正平地震	>M8.5	紀伊半島沖；摂津で3～5mの津波
1498	明応南海地震	M?	南海道沖？；中国上海付近にも影響？
1498	明応地震	M8.2~8.4	遠州灘；紀伊～房総に大きな被害
1605	慶長地震	M8	四国～東海沖；四国沿岸で大きな被害
1707	宝永地震	M8.5~8.7	紀伊半島沖；西日本一帯で大きな被害
1854	安政東海地震	M8.4	遠州灘；この32時間後に安政南海地震が発生
1854	安政南海地震	M8.5	紀伊半島沖；西日本一帯で大きな被害
1944	昭和東南海地震	M8.0	熊野灘沖
1946	昭和南海地震	M8.0	紀伊半島沖；岡山に津波被害なし、液状化の被害大

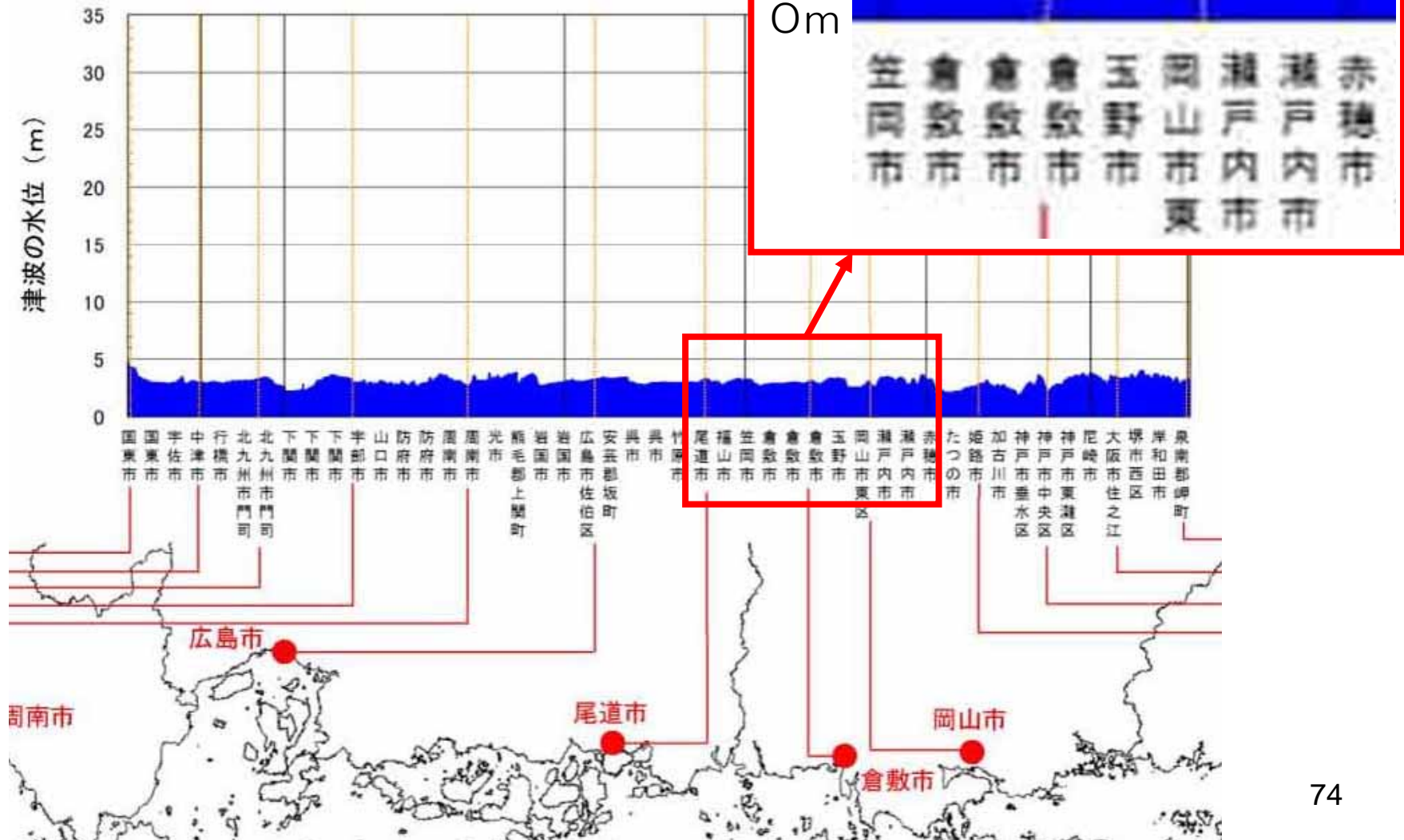


# 古文書記録に基づく南海トラフ地震の再来間隔



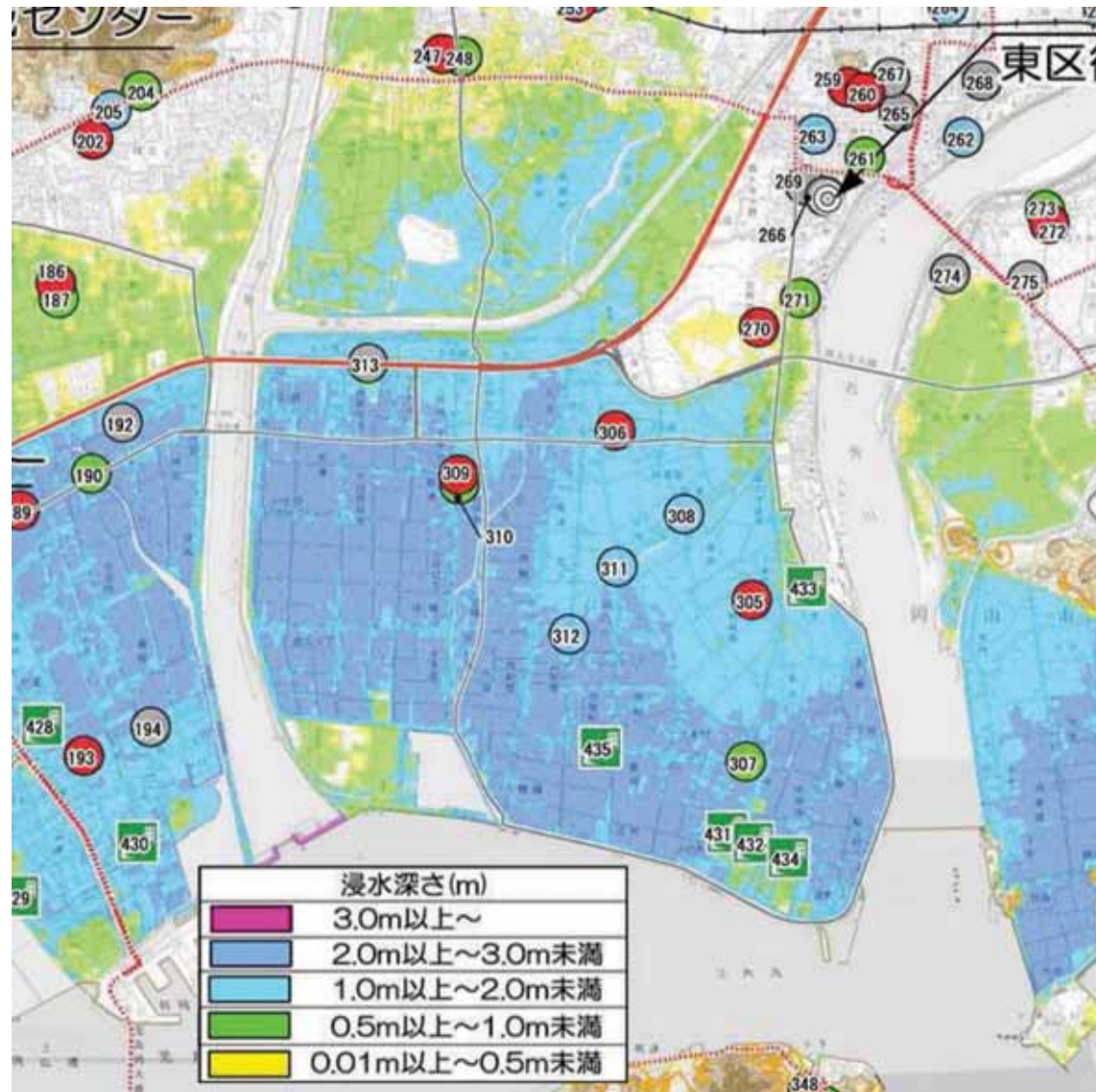
# 岡山県沿岸部での津波高予測

M9クラスの南海トラフ巨大地震が発生した場合に最大でどの程度の高さの津波が襲来するかを予測



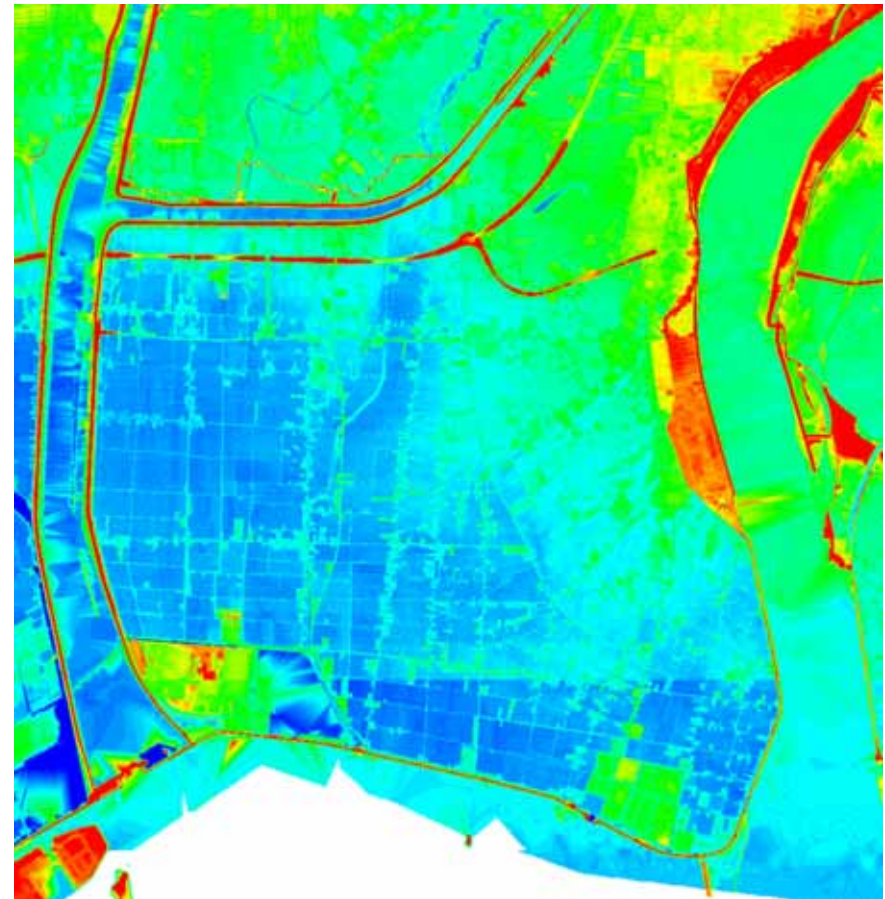
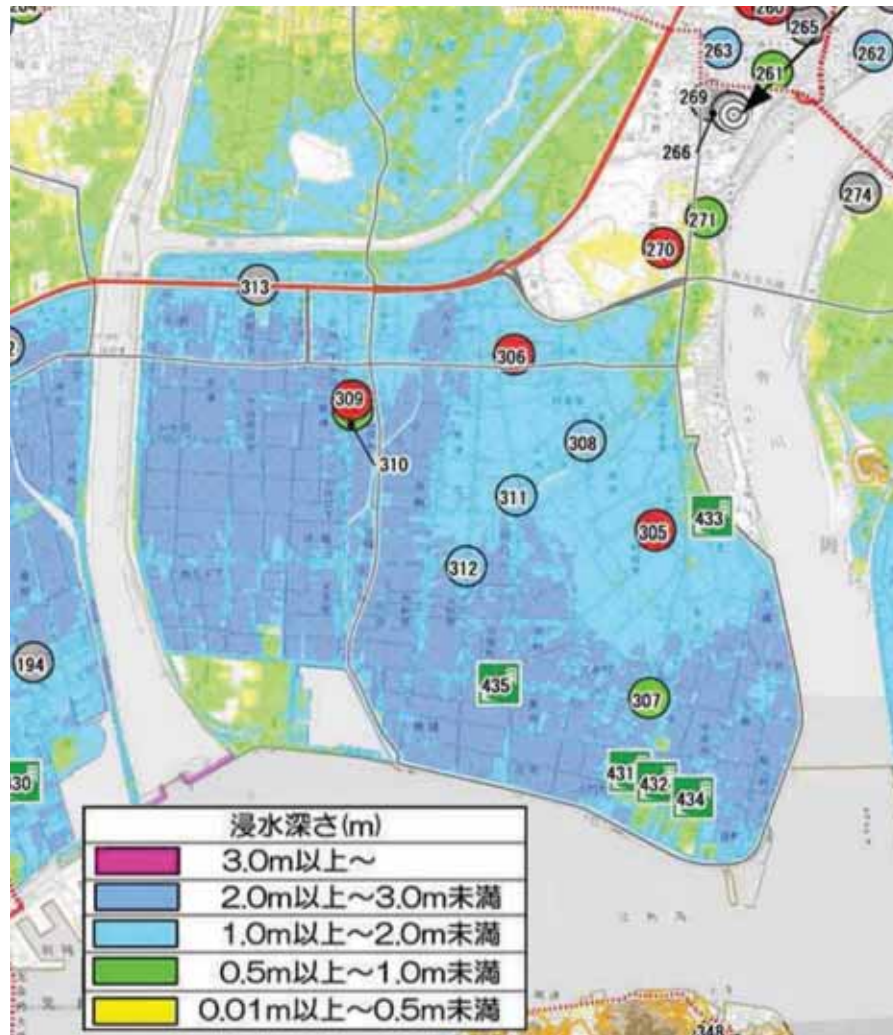


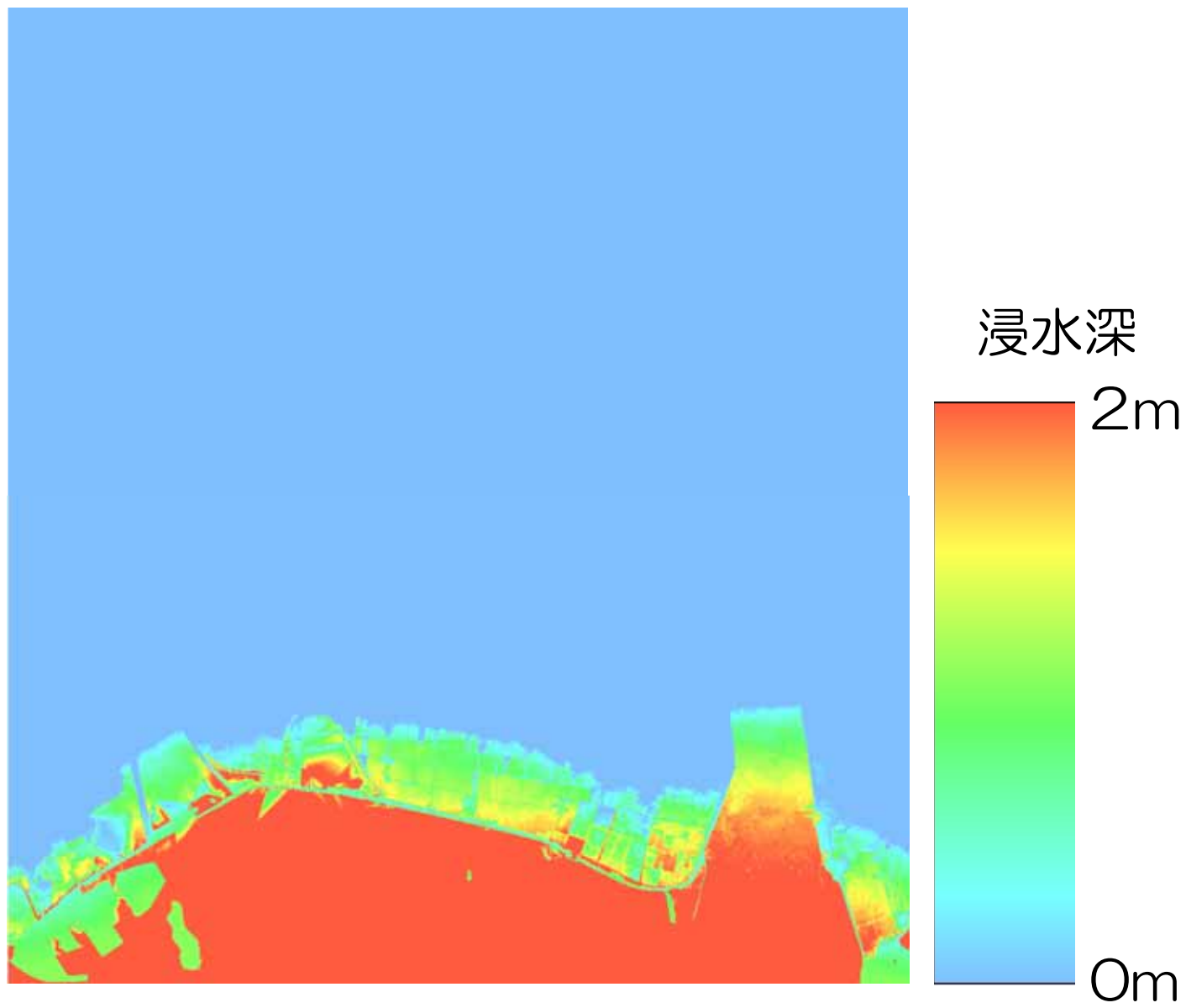
# 津波浸水予測



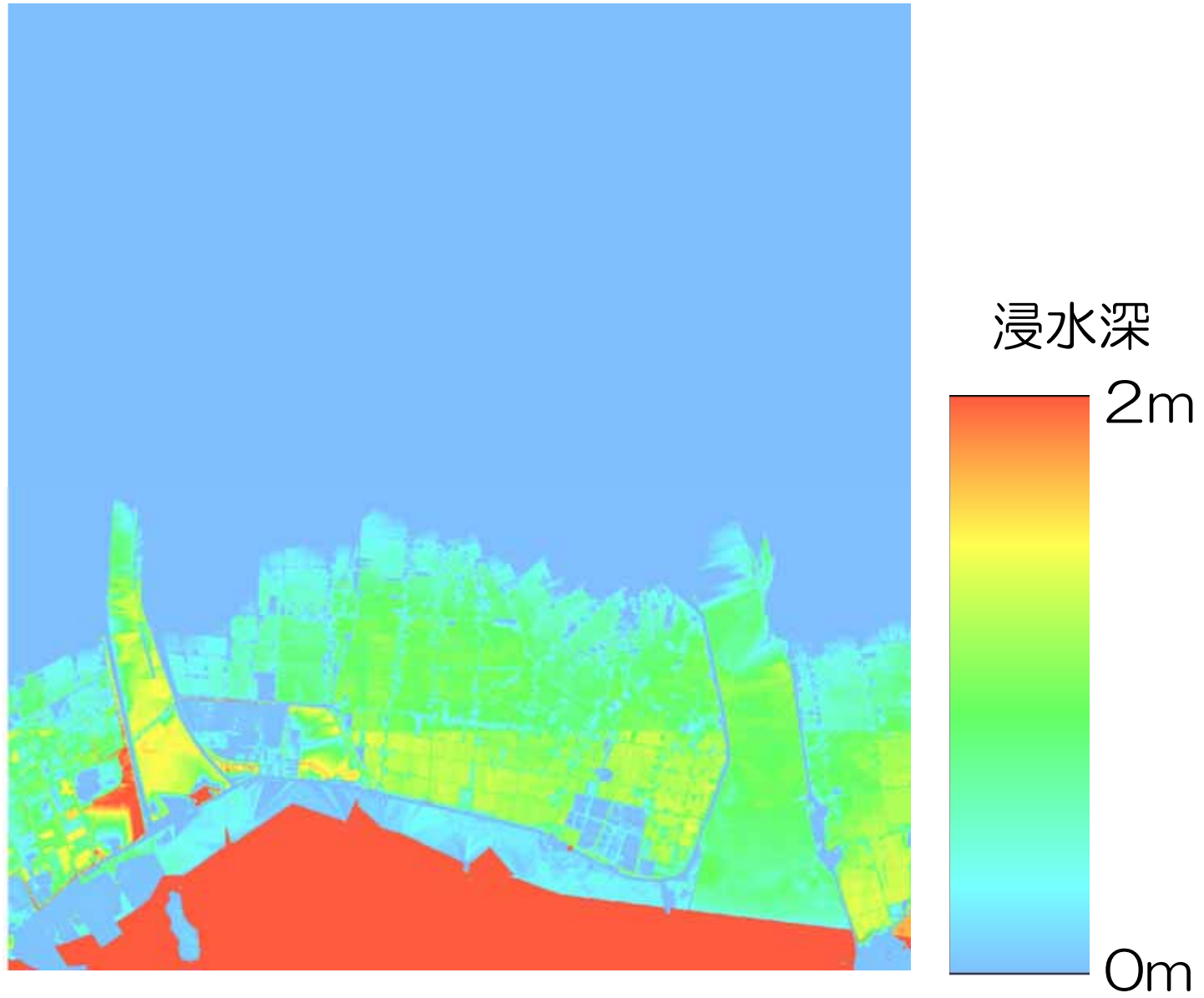
浸水深は1～3m程度と予測されている

## 津波浸水予測（標高との比較）

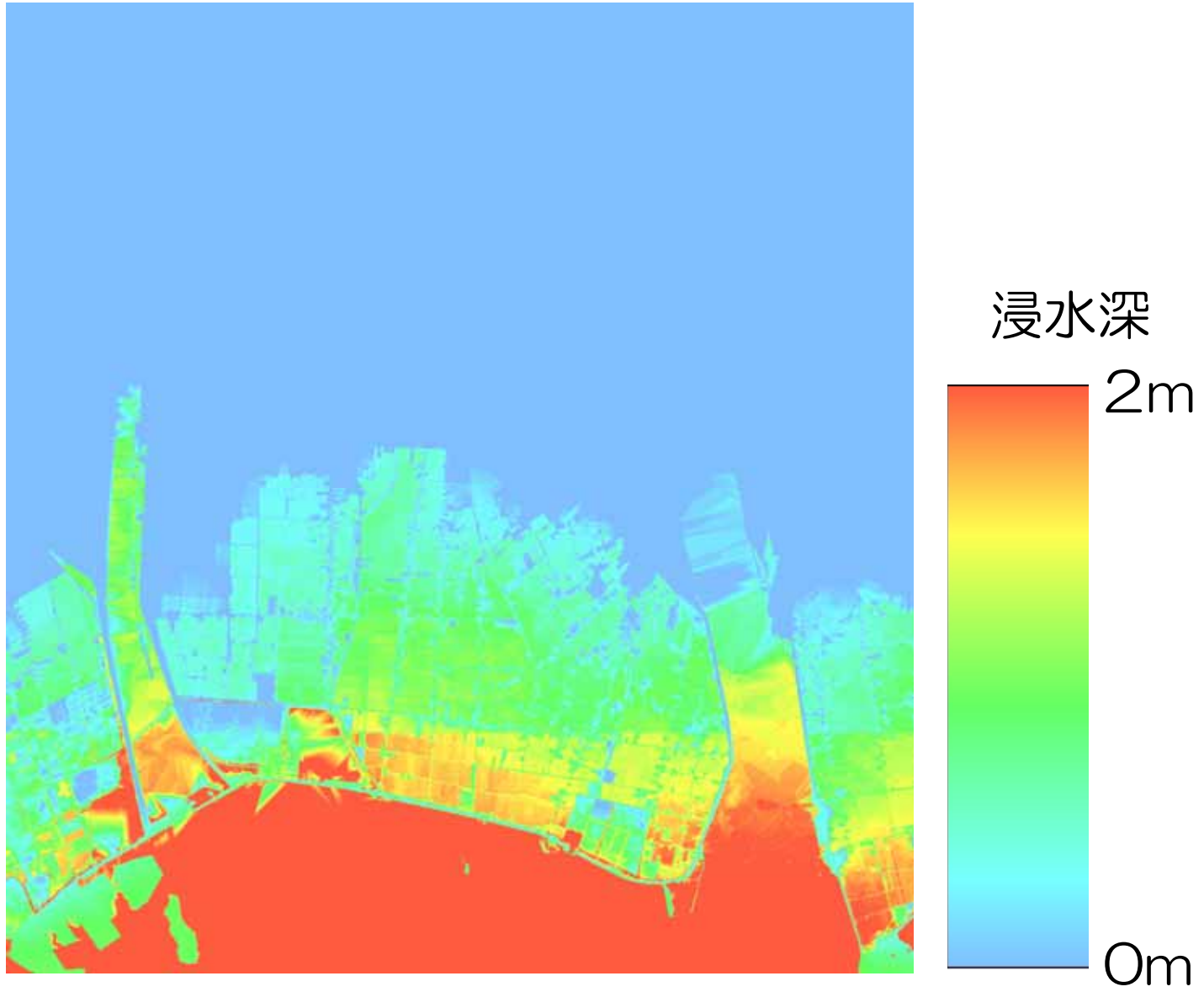




津波シミュレーション (30分)

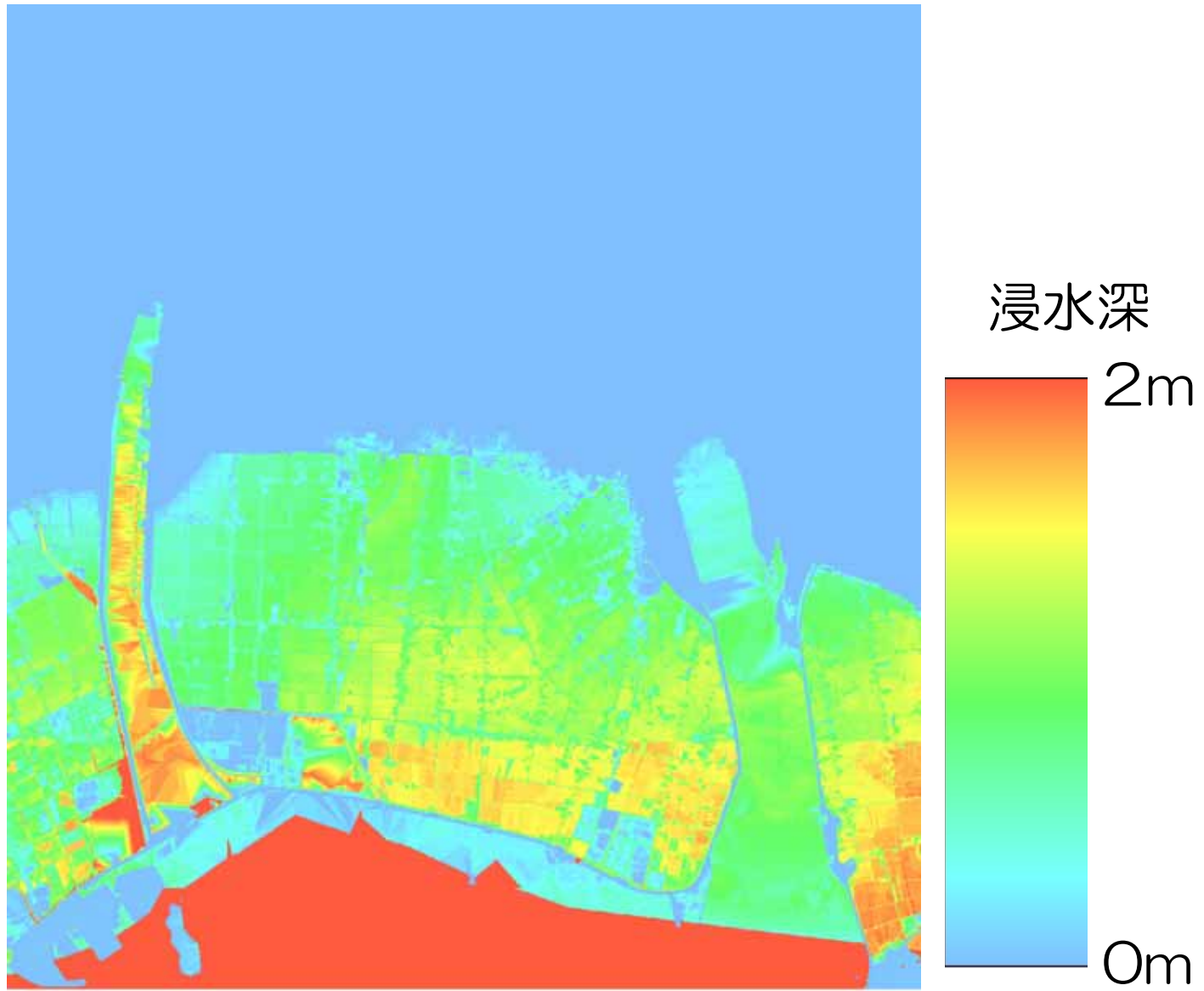


津波シミュレーション（60分）

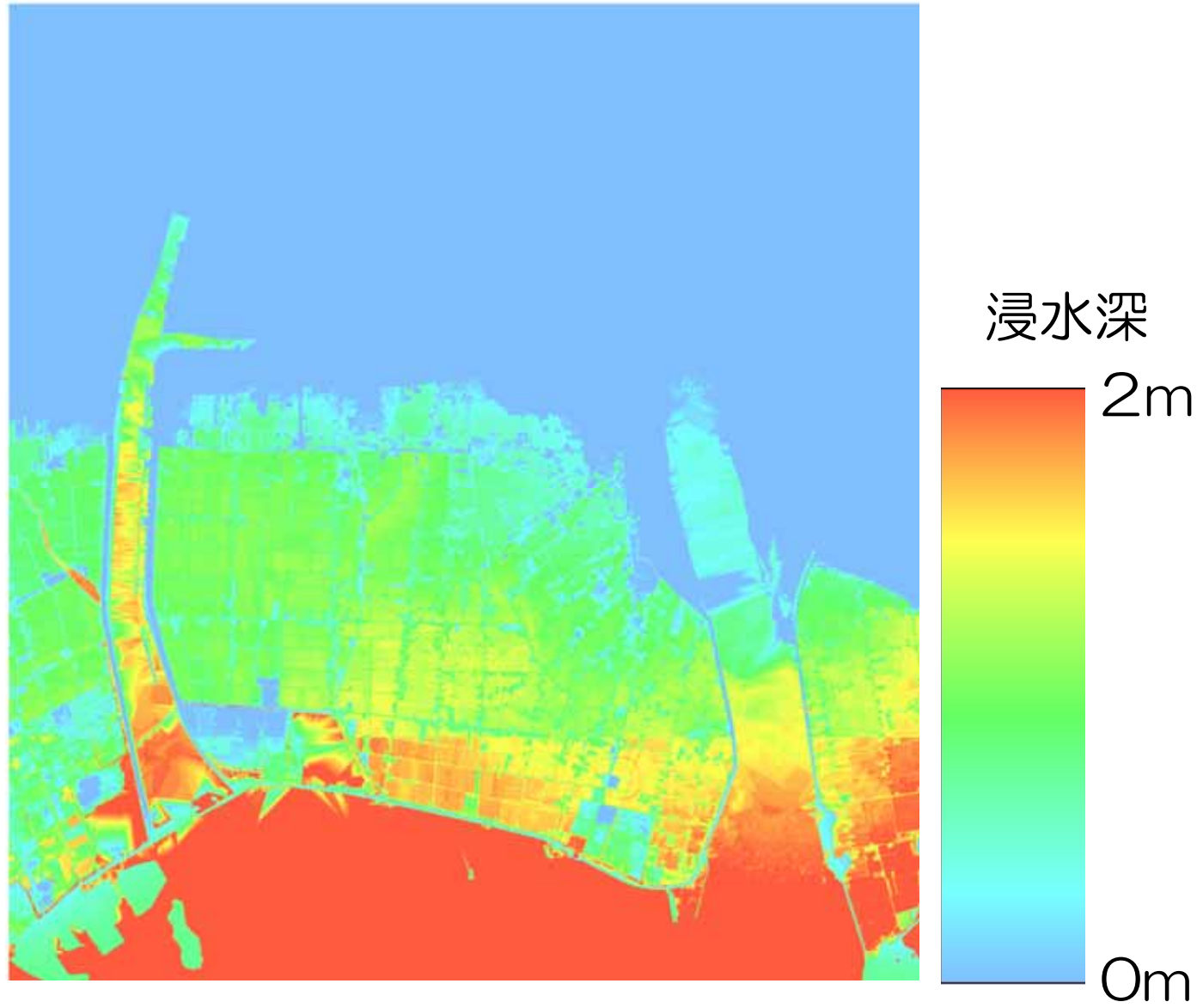


津波シミュレーション (90分)

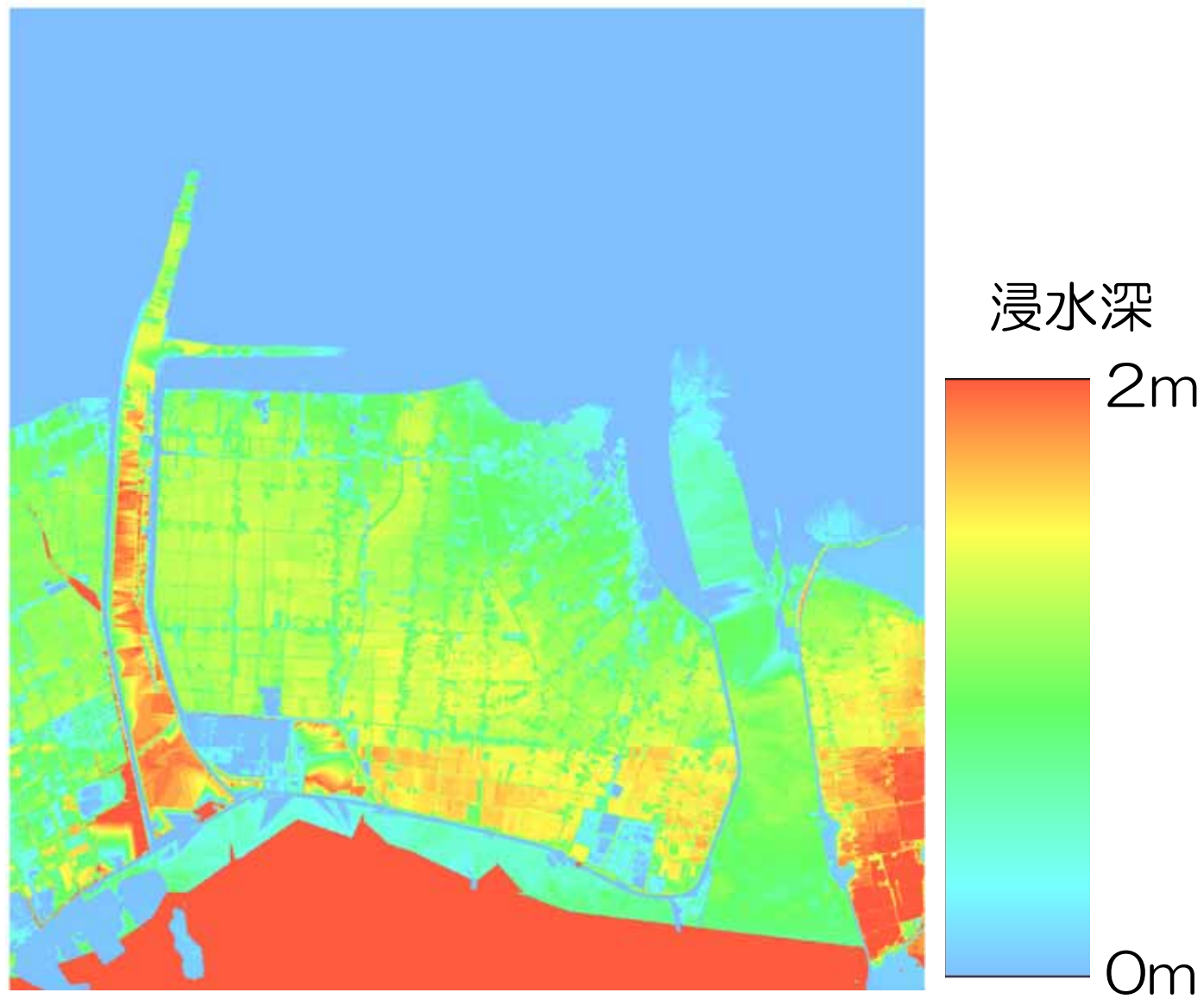




津波シミュレーション (120分)



津波シミュレーション (150分)



津波シミュレーション (180分)

## 津波災害への対策

自然災害への対策には「ハード」と「ソフト」の2種類がある

### ハード対策

海岸堤防などの構造物によって人命や家屋等を守ること

### ソフト対策

被災前に確実に避難することを目標に、ハザードマップの作成や防災訓練などを行うこと

## 東日本大震災以降の津波対策の基本的な考え方

レベル	津波の概要	対策方針
最大級 (レベル2) (M9クラス)	数100年～1000年程度に1度発生する津波。 発生頻度は極めて低いが、発生すれば甚大な被害をもたらす。	住民避難を柱とした総合的防災対策により減災を目指す。人的被害をなくすことを主眼とするとともに物的被害をなるべく小さくすることを目指す。ハザードマップの果たす役割が大きい。
高頻度 (レベル1) (M8クラス)	数10年～100数10年に1度発生する津波。 発生頻度が高く、津波高は低いが、大きな被害をもたらす。	被害の発生を防ぐことを目的とする(防災)。 海岸保全施設(防潮堤等)の果たす役割が大きい。 海岸保全施設の設計で想定される津波。

## 津波災害のハード対策の例



防潮堤  
奥尻島（北海道）



津波水門  
岩手県普代村

# 津波災害のソフト対策の例

## ハザードマップ

- 住民に災害の危険度・避難場所・避難経路等の情報を提供するもの。津波防災のための主たるソフト的対策。
- ワークショップ等を通じて住民がハザードマップの作成に参画することが、ハザードマップへの地域特性の反映や周知、利活用促進の上で有効。

## 住民参加のワークショップの例

● ワークショップの様子  
(住民参加によるハザードマップ作成)

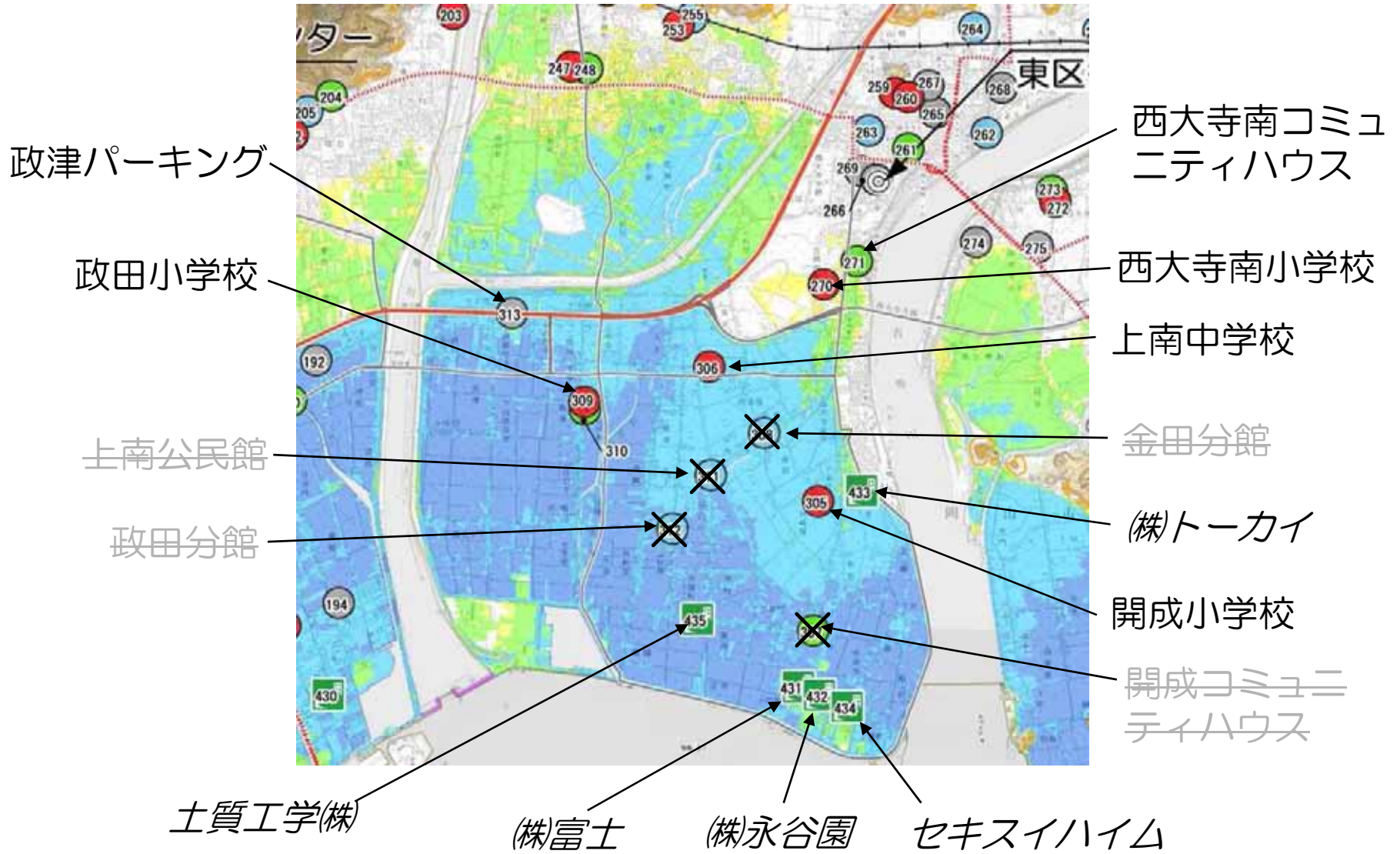


● ワークショップの様子  
(避難経路の現地での確認・検討)



(内閣府の資料より)

# 津波災害の避難箇所および津波避難ビル





被害を少なくするために

災害現象の発生



避難行動



避難生活～復興・復旧

被害を小さくするためには事前の準備が重要

どのような災害を想定する？



岡山県南部の地震災害では<南海トラフ地震>

(発生確率は30年以内に70%程度)



想定される災害現象は強震動・液状化・津波

活断層地震による地震や気象災害も忘れないように！

## 南海トラフ地震にたいする事前対策

### ハード的対策

強震動 ⇒ 耐震補強

液状化 ⇒ 液状化対策工事

津波 ⇒ 防潮堤（個人では無理）

ハード的対策はできてもかなり費用がかかる。  
個人としてはソフト的対策に心がけるのが望ましいでしょう

## 南海トラフ地震にたいする事前対策 (ソフト的対策)

- 地震や津波、液状化について知る
- 災害緊急情報について知る
- 避難情報を知る (ハザードマップ)
- 家族や地域の意思疎通 (避難訓練)
- 防災グッズ、非常時持ち出し品の準備

# 非常持ち出し品の例

## 一次持出品リスト

◆ 避難するときに最初に持ち出すもの。



あまり欲張りすぎないことが大切です。  
男性15kg、女性10kg程度が目安です。

- 貴重品** 現金（小銭も準備）、通帳類、証書類、身分証明書、健康保険証、免許証、印鑑等。
- 携帯ラジオ** 小型で軽く、FMとAM両方聴けるものを用意。予備電池も多めに用意する。停電に関係なく、正確な情報を得るための必須アイテム。
- 懐中電灯** できれば一人一つ用意。予備の電池と電球も用意する。
- 救急薬品** ばんそうこう、ガーゼ、包帯、消毒薬、解熱剤、胃腸薬、風邪薬、鎮痛剤、とげぬき等。（持病のある人は常備薬も忘れずに！）
- 非常食・飲料水** カンパンや缶詰等、火を通さなくても食べられるもの、飲料水、水筒、紙皿、コップ、ナイフ、缶切り、栓抜き等。
- その他** 下着、上着、靴下、ハンカチ、タオル、ティッシュペーパー、ビニールシート、予備の眼鏡等。  
（乳幼児のいる場合：ミルク、ほ乳ビン、おむつ、バスタオル等）  
（要介護者のいる場合：着替え、おむつ、障害者手帳、常備薬等）

## 二次持出品リスト

- ◆ 災害復旧までの数日間を自活するためのもの。
- ◆ 最低3日分、できれば1週間分を用意しておきましょう。



- 食料** そのまま食べられるか、簡単な調理で食べられるもの。  
缶詰やレトルト食品、切りもち、チョコレート、梅干し、チーズ、調味料等。  
（アレルギーの方：アレルギーフリーの備蓄食）
- 水** 飲料水は大人一人当たり1日3ℓが目安。飲料水以外に炊事、洗濯、トイレ等に使う生活用水確保のため、風呂の栓は抜かず、寝る前はやかんやポットに水を入れておく。
- 燃料・その他** 卓上コンロ、固形燃料や予備のガスボンベは多めに用意を。  
アウトドア用の携帯コンロも便利。その他洗面具、携帯（簡易）トイレ、生理用品、ビニール袋、キッチン用ラップ、新聞紙、使い捨てカイロ等。

（神奈川県WEBより）

## 気を付けておかないといけないこと

- 日中に発生するとは限らない（熊本地震は夜中）
- 道路、上下水道、電気、通信が正常とは限らない
- 体調が万全でない可能性がある
- 支援が十分に得られない可能性がある
- 岡山で被災するとは限らない

以上です  
ご清聴ありがとうございました