

令和6年度 巨大地震対策オンライン講演会
『過去の南海トラフ地震を知り、将来の巨大地震・津波に備える』

巨大地震・津波のメカニズム

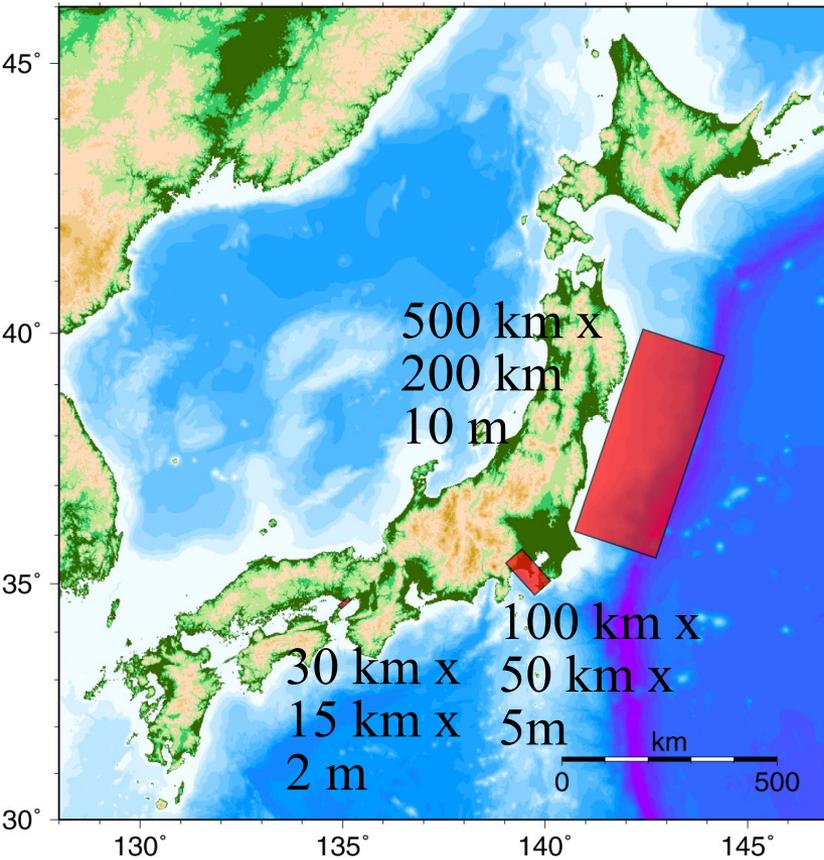
東京大学地震研究所

佐竹 健治

本日の内容

1. 震災と地震、巨大地震・津波のメカニズム
2. 南海トラフで過去に発生した地震
3. 南海トラフ地震の長期予測(地震調査委員会)
4. 被害想定(内閣府)のための最大地震モデル

震災 と 地震



2011年3月11日
東日本大震災
死者・行方不明 約18,000名
約90%は津波による溺死

東北地方
太平洋沖地震
M 9.0

1923年9月1日
関東大震災
死者 105,385名
約90% は火事による焼死

関東地震
M 7.9

1995年1月17日
阪神・淡路大震災
死者 6434名
約80%は建物崩壊による圧死

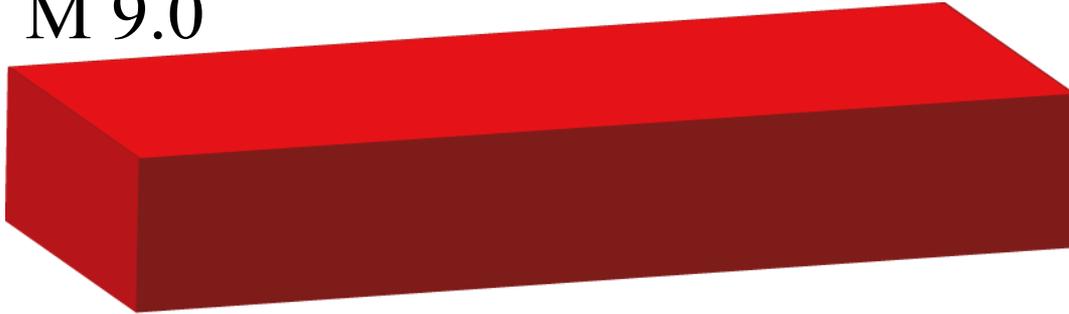
兵庫県南部地震
M 7.3

2016年4月14日～
熊本地震
死者 273名
約80% は震災関連死

熊本地震
M 6.5 M 7.3

地震の規模観

M 9.0



500 km x 200 km x 20 m

東北地方
太平洋沖地震
M 9.0

M 7.9



100 km x 50 km x 5m

約80分の1

関東地震
M 7.9

M 7.3



30 km x 10 km x 1 m

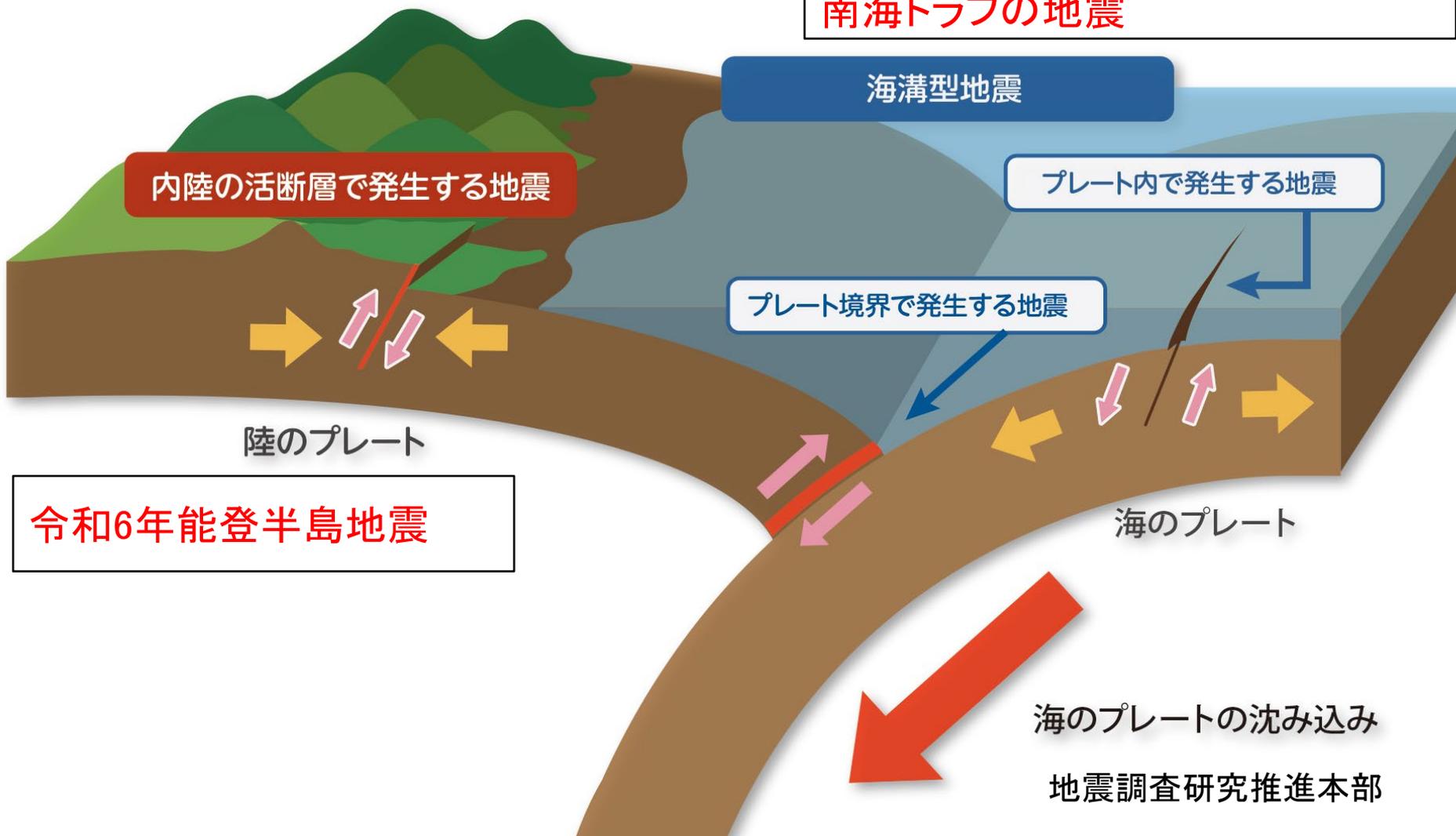
約7000分の1

兵庫県南部地震
熊本地震
M 7.3

体積が地震を起こすエネルギー(モーメント)に相当

日本周辺で発生する地震のタイプ

日本列島周辺で発生する地震のタイプ



平成23年東北地方太平洋沖地震

南海トラフの地震

内陸の活断層で発生する地震

海溝型地震

プレート内で発生する地震

プレート境界で発生する地震

陸のプレート

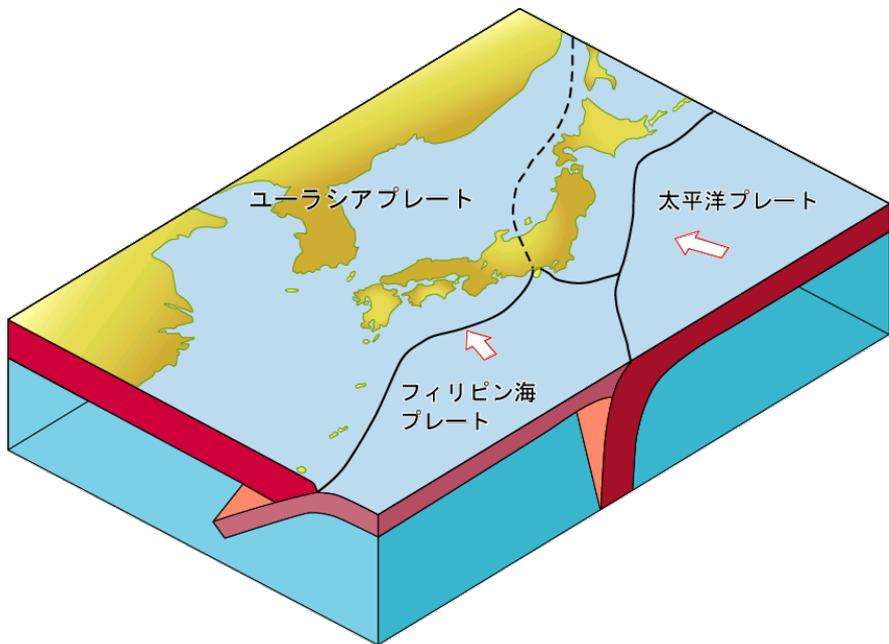
令和6年能登半島地震

海のプレート

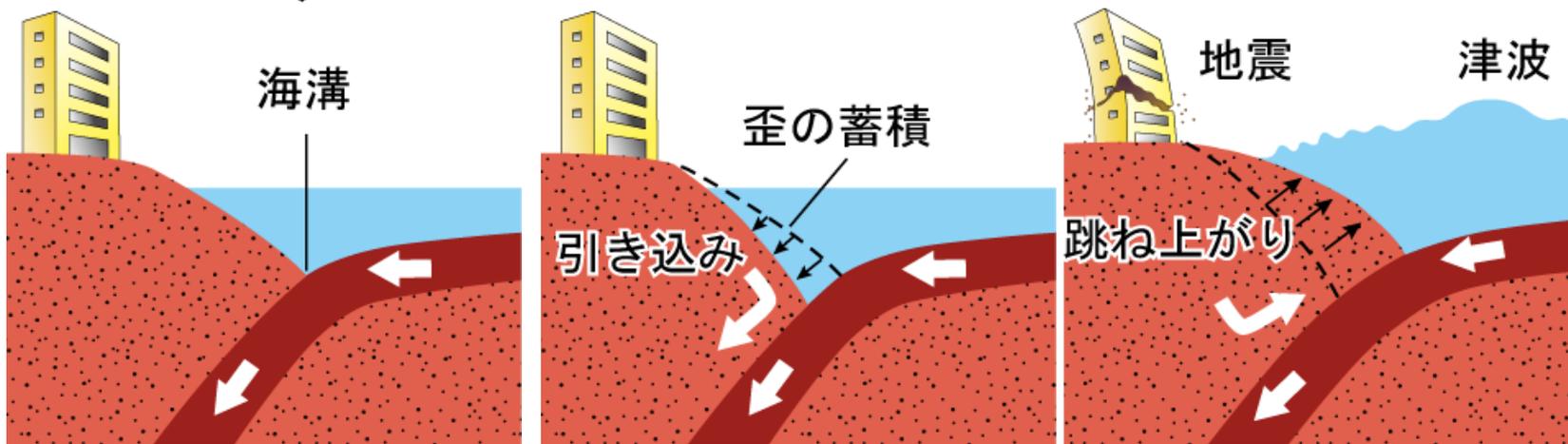
海のプレートの沈み込み

地震調査研究推進本部

プレート間地震の発生メカニズム



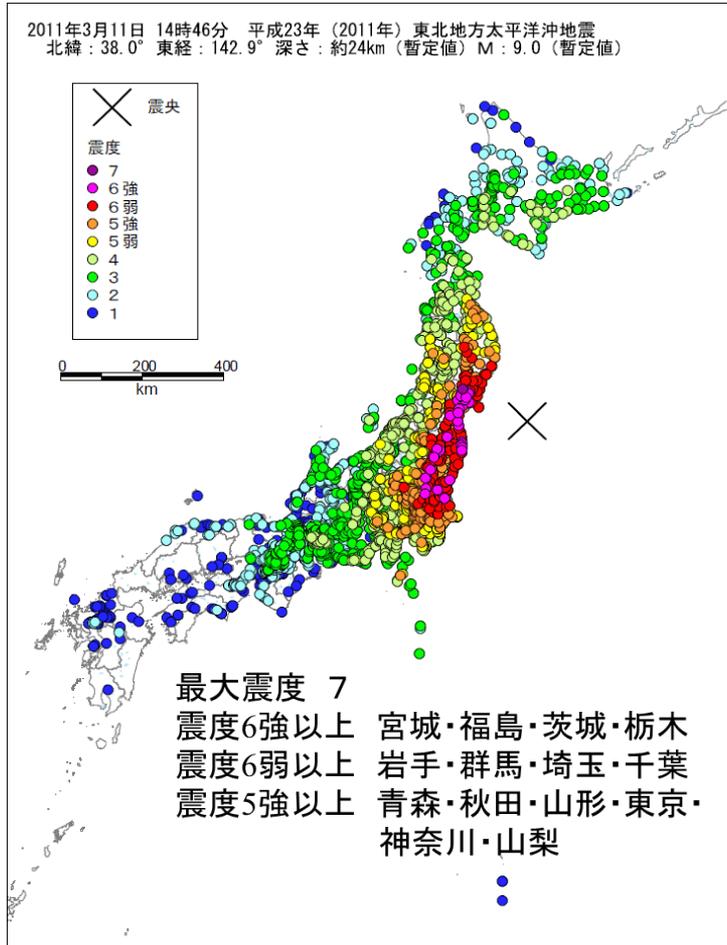
太平洋プレート:
年間 8 cm程度
百年で 8 m
フィリピン海プレート:
年間 4 cm程度
百年で 4 m



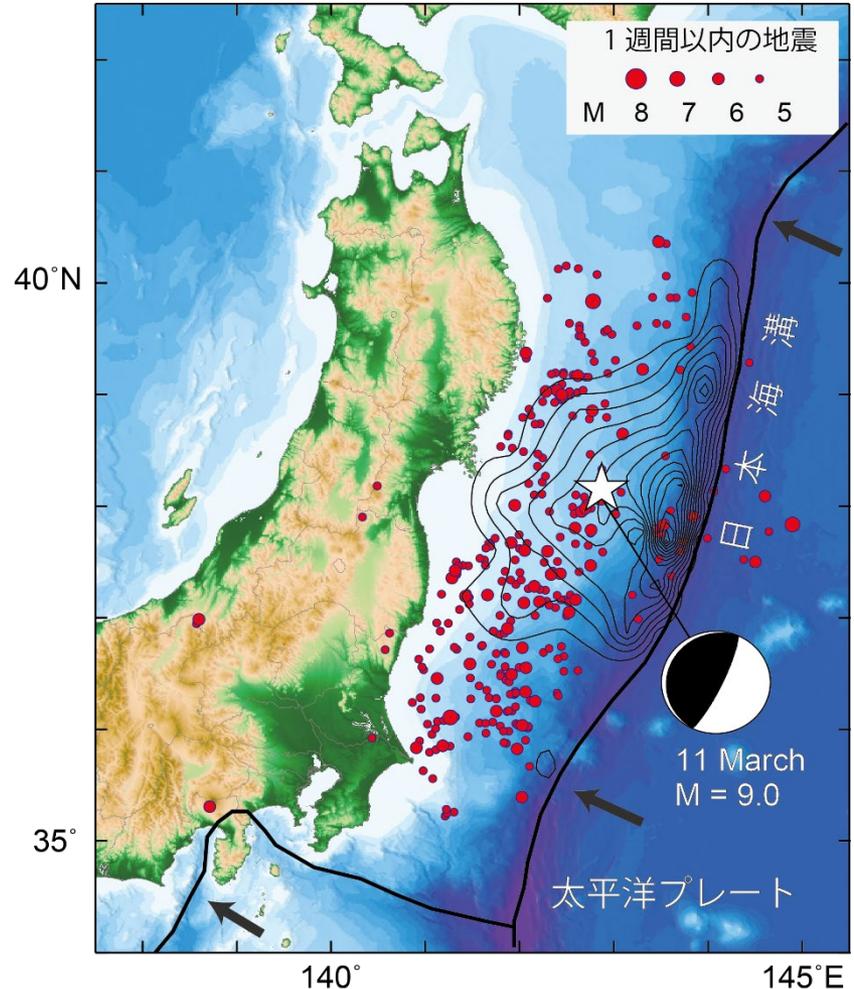
東北地方太平洋地震

M 9.0 (日本での観測史上最大規模)

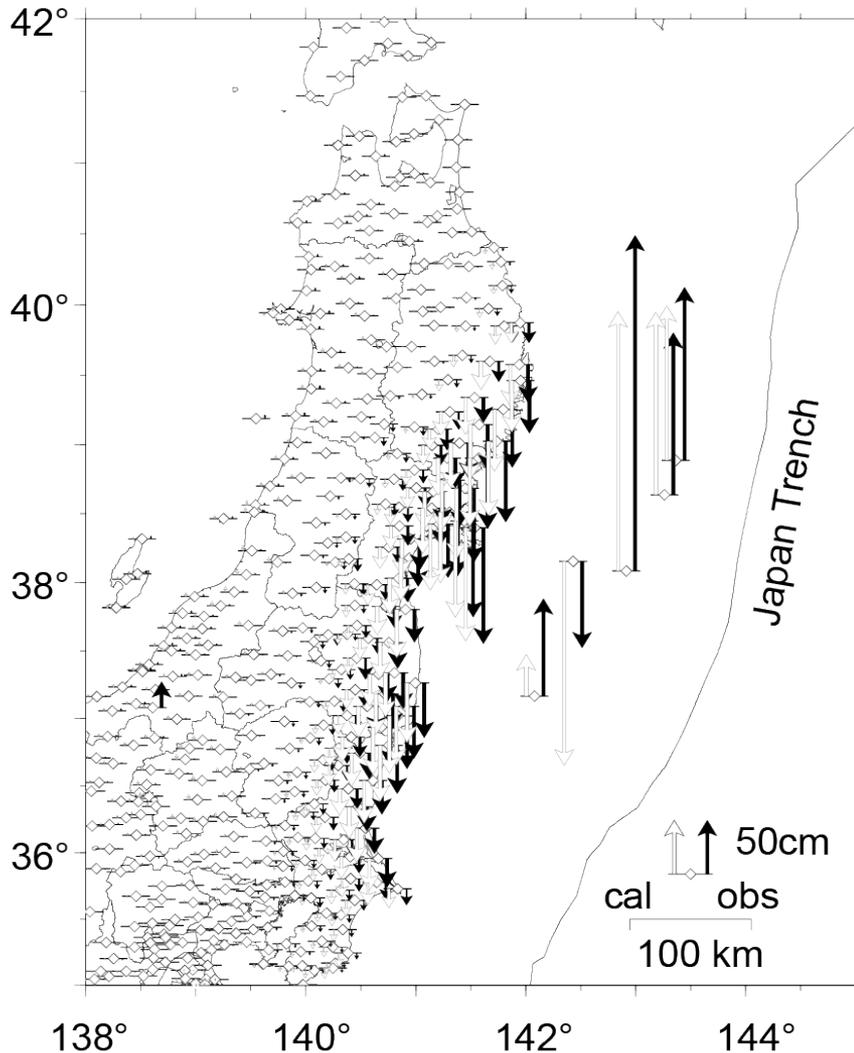
震度分布



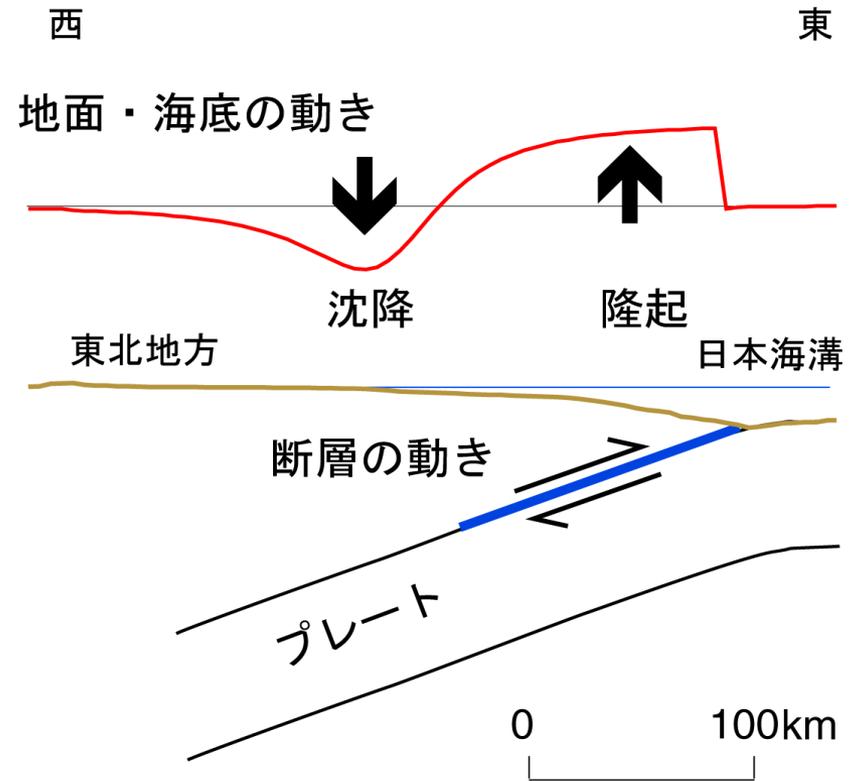
気象庁



プレート間地震による津波の発生



国土地理院 (2011)

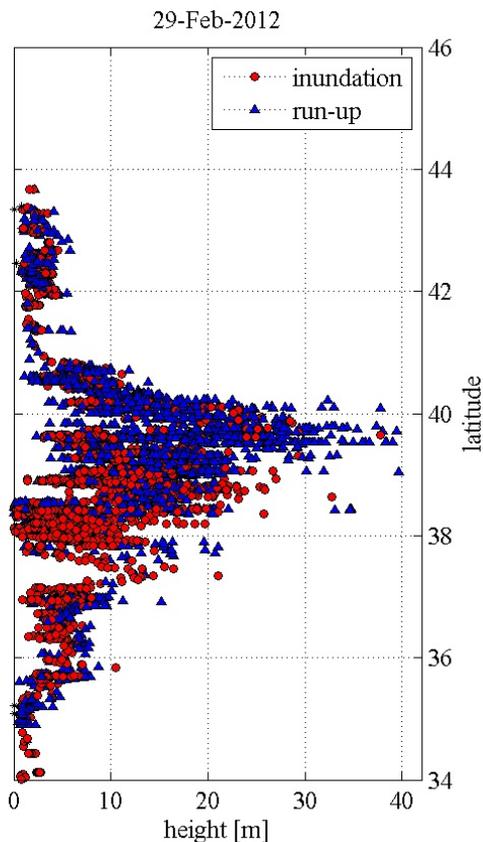
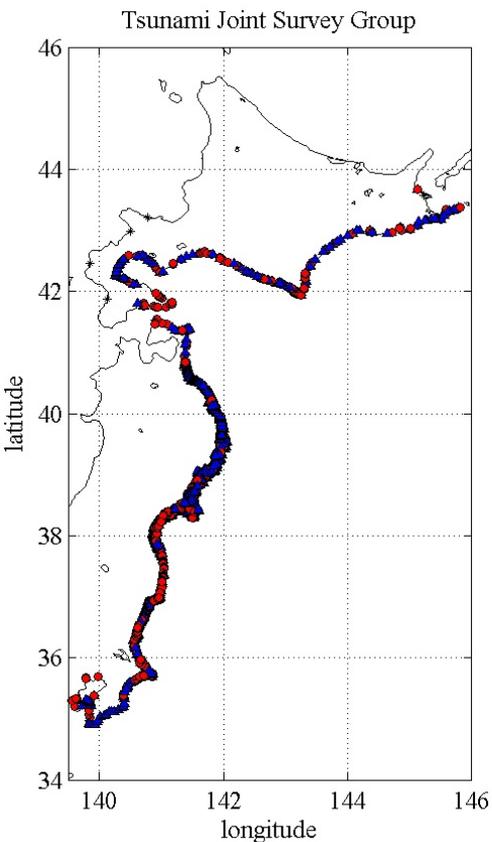


断層面直上の海底は隆起,
深い側では沈降

東北地方太平洋沖地震による津波

津波高さ分布

浸水域 約560 km² (国土地理院)
※東京23区 619 km²



東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ

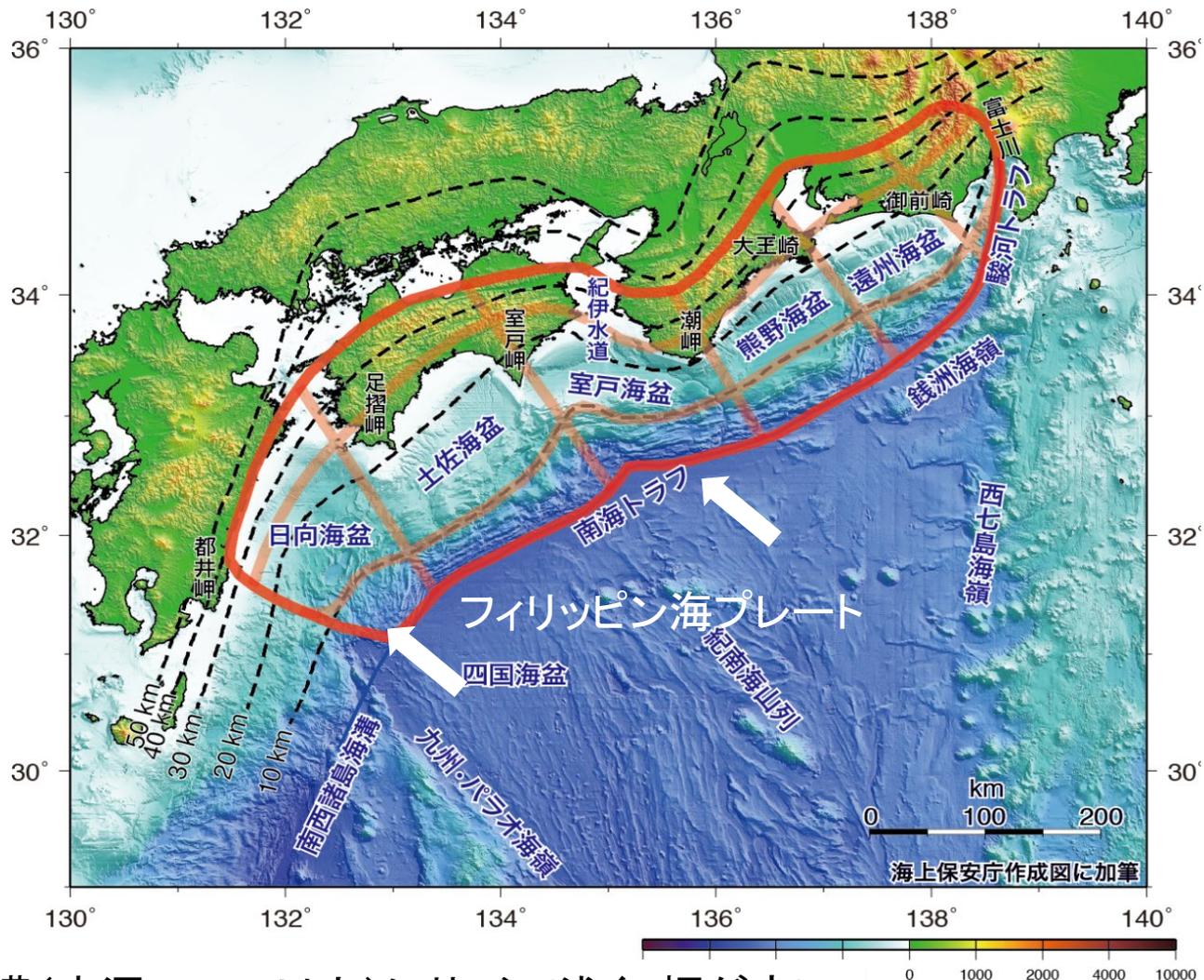
浸水域内の人口 約60万人

※死亡率 3% (総務省統計局)

本日の内容

1. 震災と地震、巨大地震・津波のメカニズム
2. 南海トラフで過去に発生した地震
3. 南海トラフ地震の長期予測(地震調査委員会)
4. 被害想定(内閣府)のための最大地震モデル

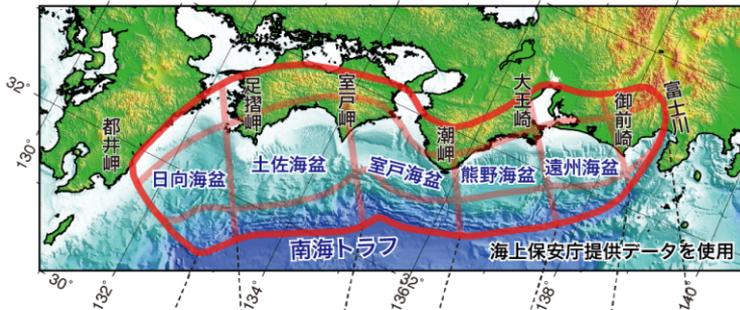
南海トラフ



トラフ： 海溝(水深6000m以上)に比べて浅く、幅が広い (深と標高 (m))

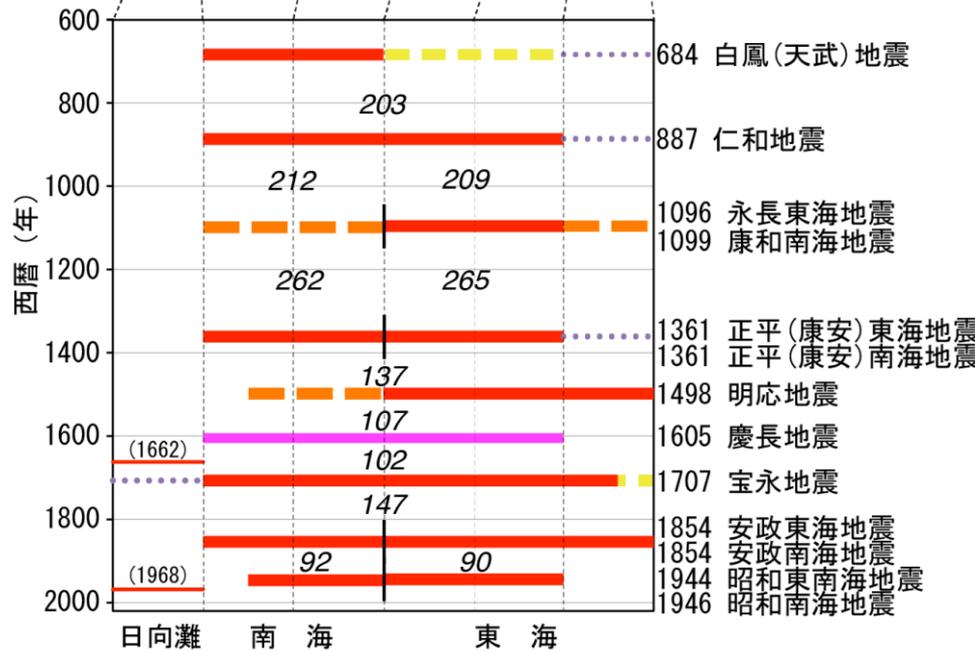
地震調査研究推進本部『南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)』
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/nankai_2.pdf

南海トラフにおける過去の地震



地震の名称

- ・年号を付ける(例外: 白鳳)
- ・改元の扱い
- ・北朝か南朝か(戦前は南朝)



天武十三年(白鳳時代)

嘉保三年(永長元年)

承德三年(康和元年)

正平:南朝年号

康安:北朝年号

嘉永七年(安政元年)

- 確実な震源域
- 確実視されている震源域
- 可能性のある震源域
- 説がある震源域
- 津波地震の可能性が高い地震
- 日向灘のプレート間地震(M7クラス)

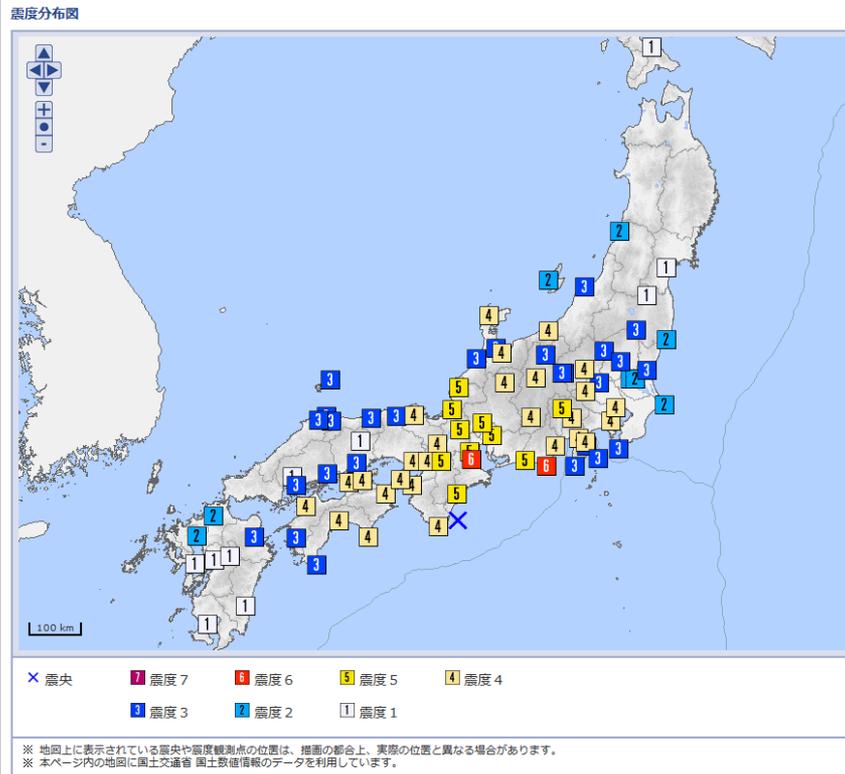
地震調査研究推進本部『南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)』

1944年昭和東南海地震

1944年12月7日 13:35:40.0 M 7.9

死者数 1,183 (資料によって異なる)

震度分布



津波波高分布

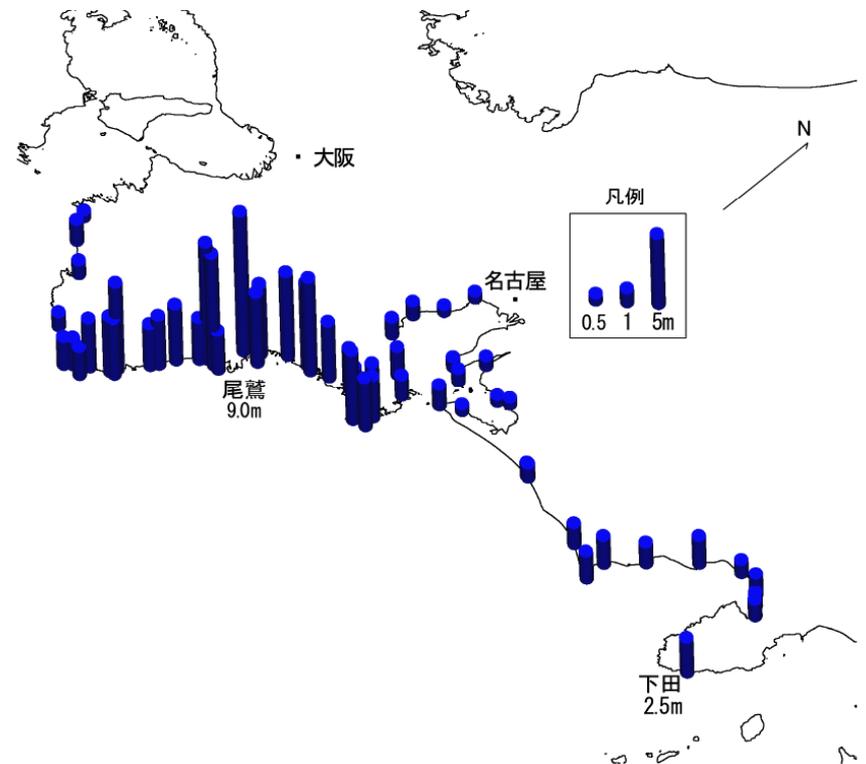


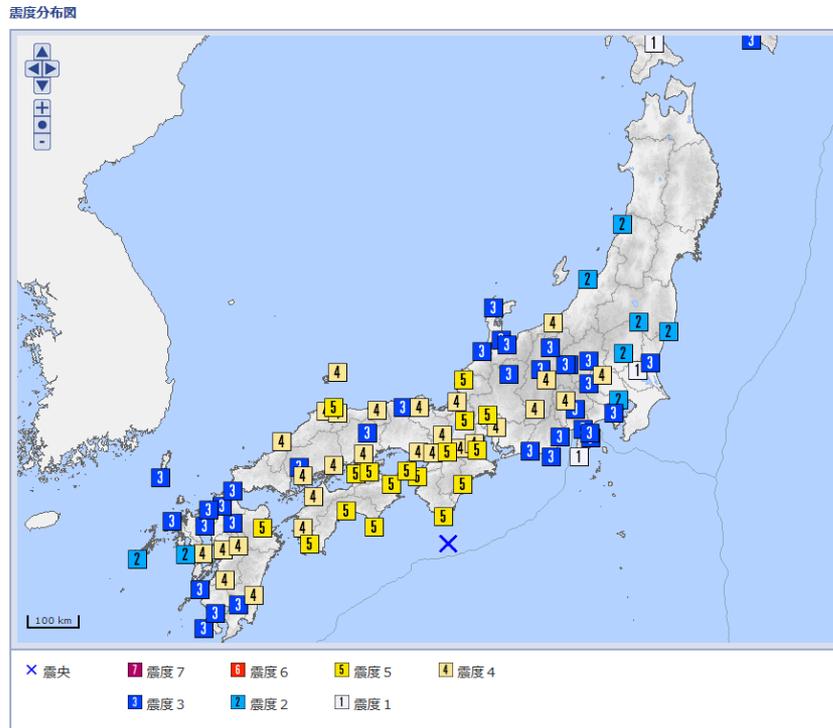
図3-1 1944年昭和東南海地震の津波の高さ (飯田, 1977より作成)

1946年昭和南海地震

1946年12月21日 04:19:04.1 M 8.0

死者数 1,330

震度分布



津波波高分布

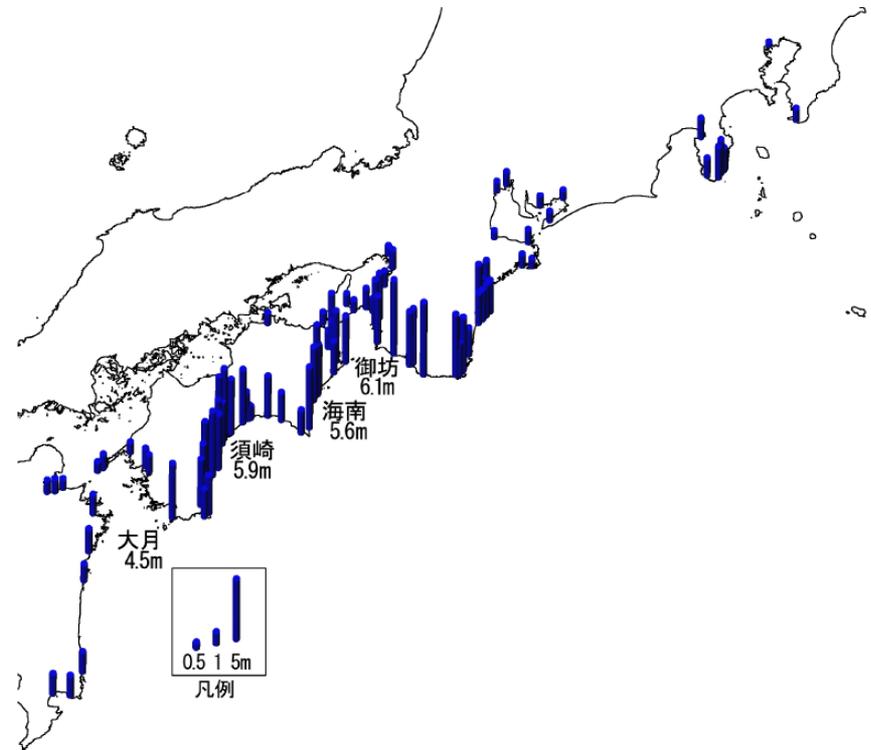


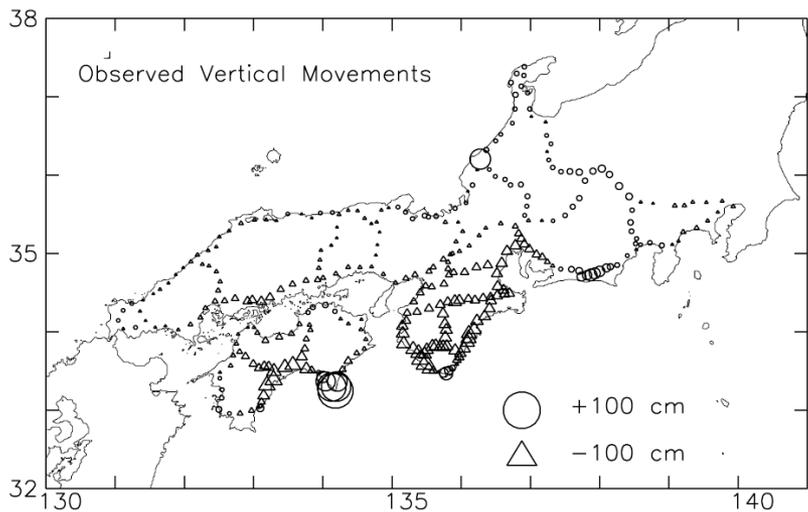
図3-2 1946年昭和南海地震の津波の高さ（水路部, 1948 ; 飯田, 1977より作成）

気象庁震度データベース

地震調査研究推進本部『日本の地震活動』より

1946年昭和南海地震

地殻変動

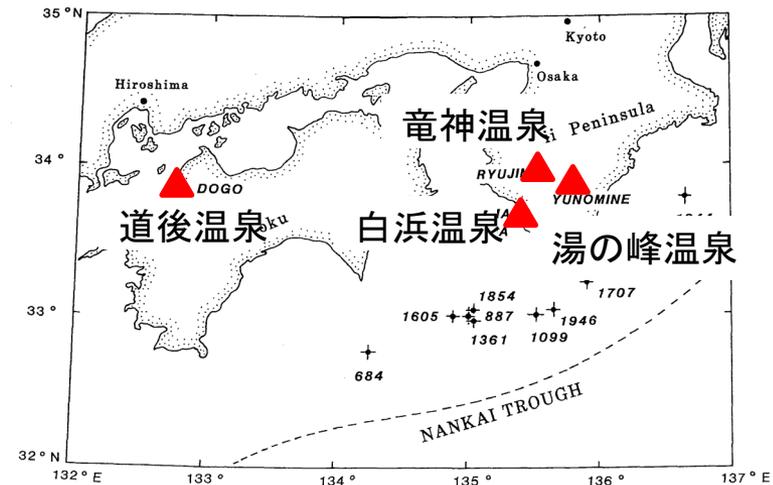


Satake (1993, J. Geophys. Res.)

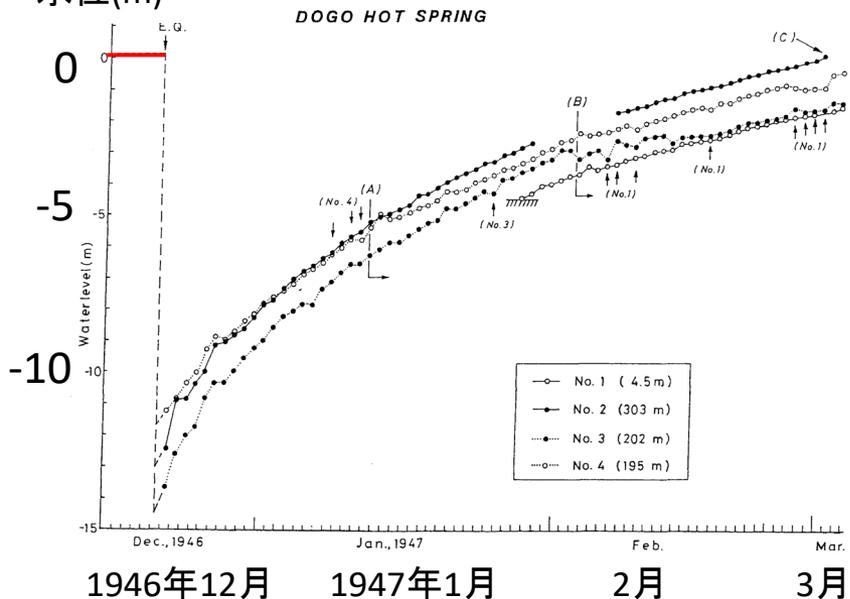
室戸岬, 潮岬: 隆起

高知平野, 紀伊半島: 沈降

道後温泉: 1946年の地震時に10m以上低下し, 数か月かかって回復



水位(m)



川辺(1991, 地震44巻特集号)

1946年昭和南海地震

地殻変動



五台山から見た、昭和南海地震翌日の高知市街(高知市所蔵写真)と現在の市街



高知大学 岡村名誉教授

<https://www.cc.kochi-u.ac.jp/~matsuoka/nankai/09disaster.html>

1854年安政東海地震

1854年12月23日(嘉永七年・安政元年十一月四日)

午前9時45分～10時前

(辰刻, 四つ時, 五つ時, ディアナ号航海日誌)

震度分布

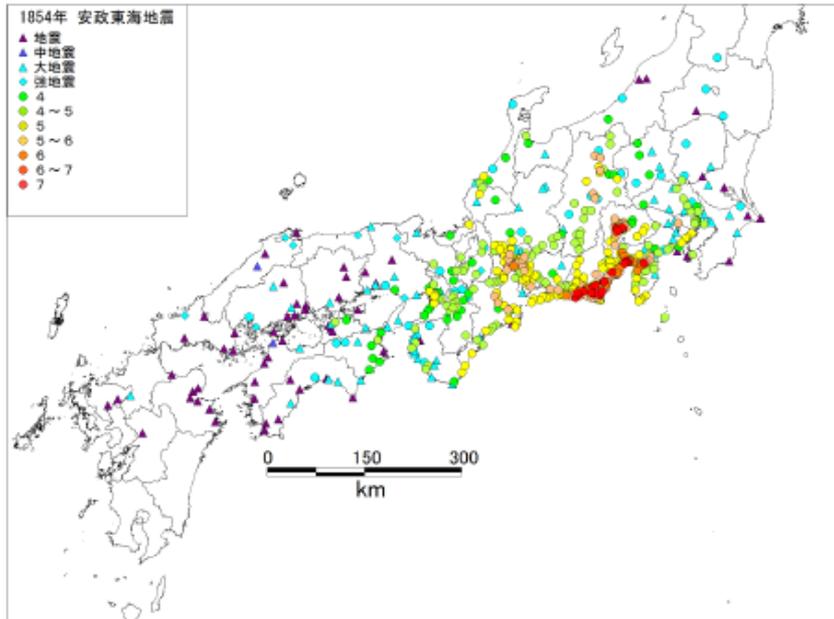


図3-10 1854年安政東海地震の震度 (宇佐美・大和探査, 1994より作成)

津波波高分布

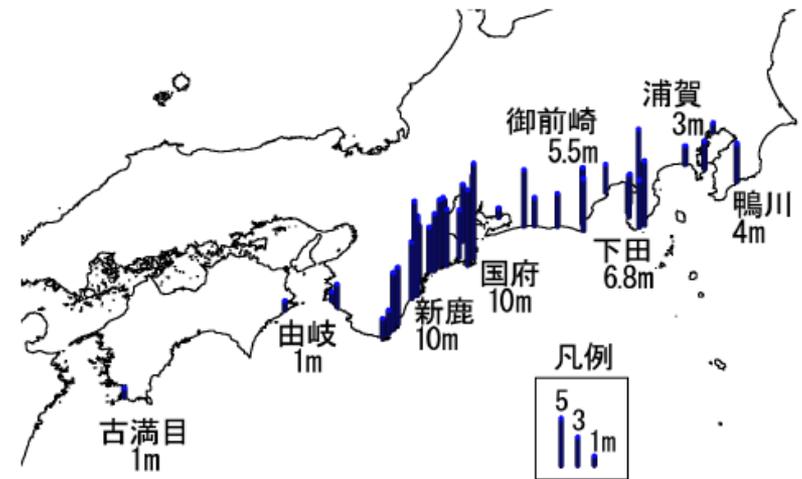
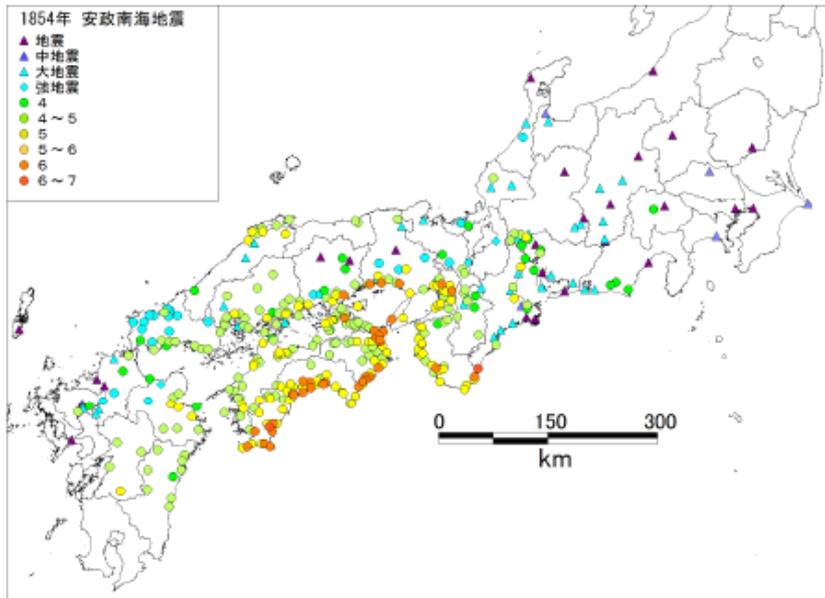


図3-3 1854年安政東海地震の津波の高さ (羽鳥・他1981、羽鳥1984等より作成)

1854年安政南海地震

1854年12月24日(嘉永七年・安政元年十一月五日)
午後4時ごろ(前の地震の約30時間後)

震度分布



津波波高分布

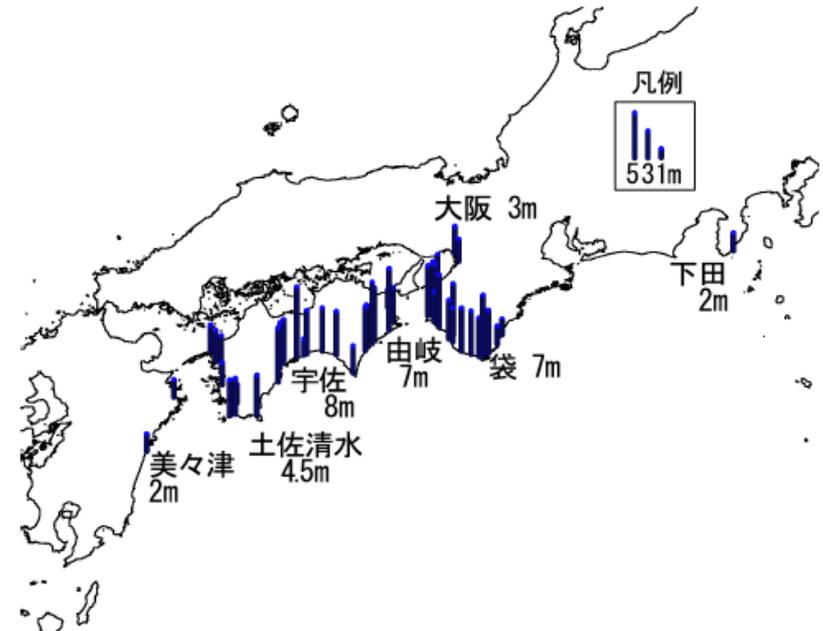


図3-11 1854年安政南海地震の震度 (宇佐美・大和探査, 1994より作成)

鹿児島県は震度推定出来ていない。大分県沿岸等豊後水道付近では翌日の地震の影響が含まれる。

図3-4 1854年安政南海地震の津波の高さ (羽鳥, 1980a; 1980b; 1981; 1984; 1985; 1988; 羽鳥ほか, 1981; 1983; 等より作成)

道後温泉, 白浜温泉, 湯の峰温泉の停止

地震調査研究推進本部『南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)』

1707年宝永地震

1707年10月28日(宝永四年十月四日)13時ごろ
日本で最大規模(東北地方太平洋沖地震を除く)

震度分布

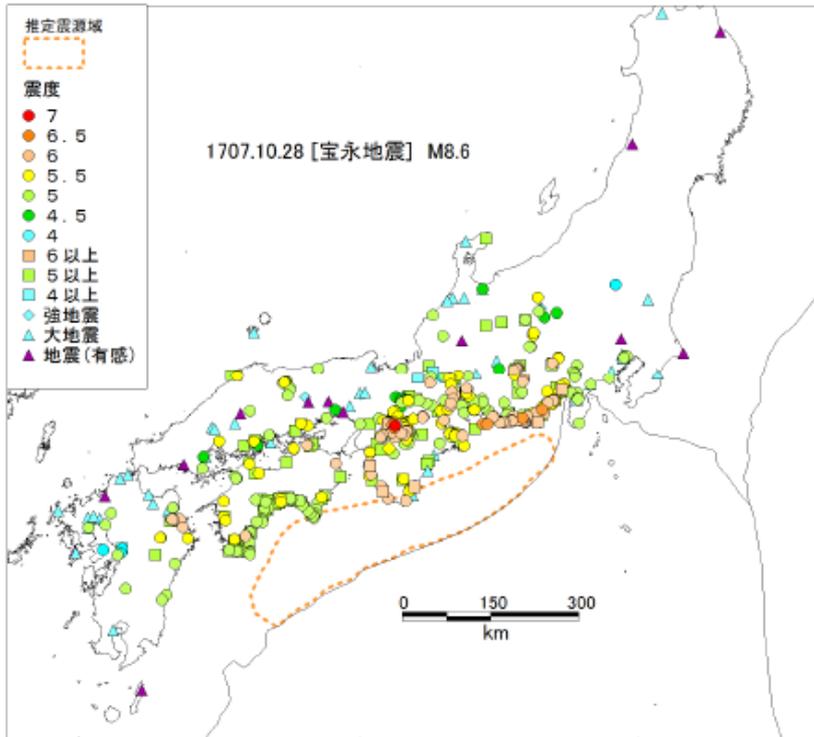


図3-12 1707年宝永地震の震度分布 (松浦2012より作成)

津波波高分布

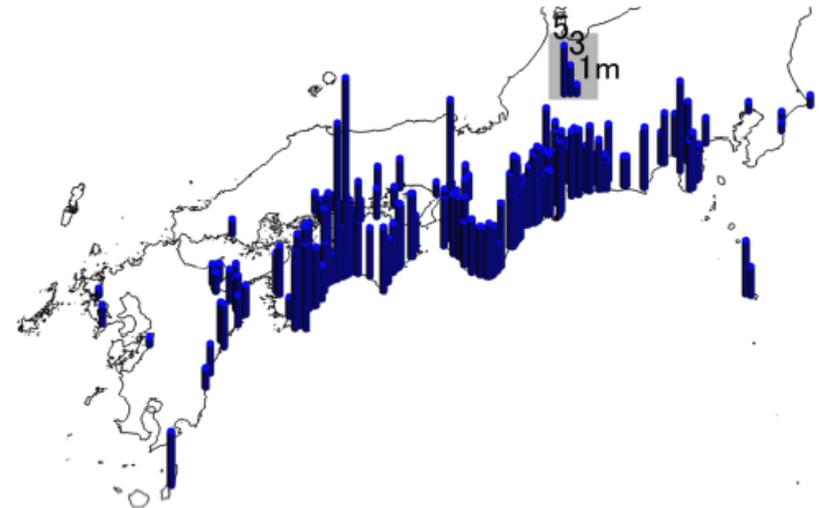


図3-5 1707年宝永地震の津波の高さ(羽鳥, 1980a; 1980b; 1984; 1985; 1988, 村上・他, 1996, 飯田, 1981より作成)

道後温泉, 白浜温泉, 湯峯温泉の停止

地震調査研究推進本部『南海トラフの
地震活動の長期評価(第二版)』

1605年慶長地震

1605年2月3日(慶長九年十二月十六日)
津波被害のみ, 地震の被害なし, 京都で無感

南海トラフ海溝軸付近の津波地震?
伊豆・小笠原海溝沿いの地震?

津波波高分布

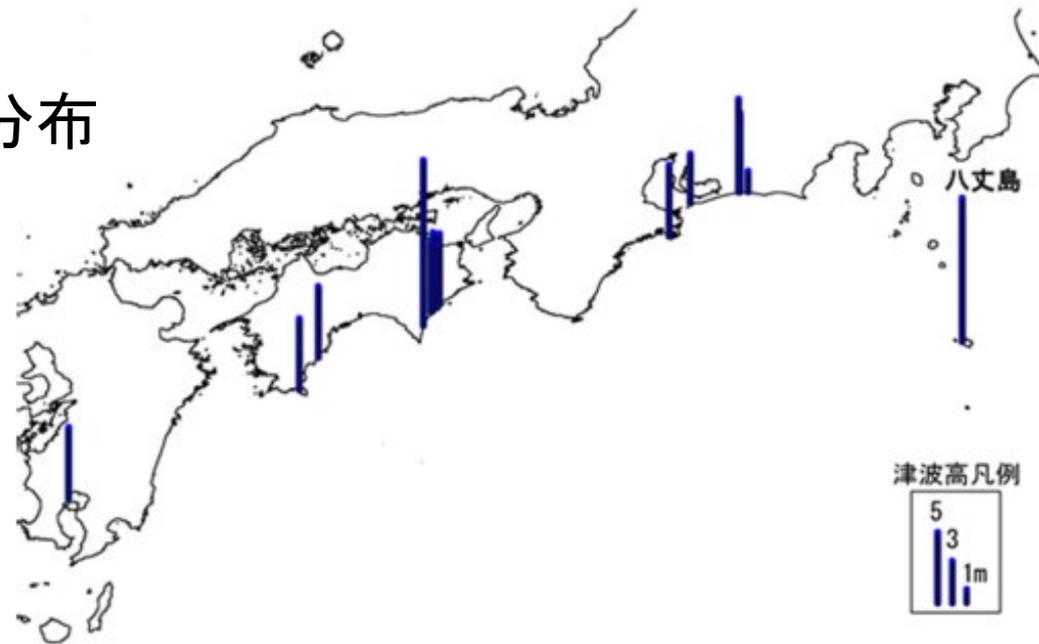


図 3-7 1605年慶長地震の津波の高さ (山本・萩原, 1995より作成)

地震調査研究推進本部『南海トラフの
地震活動の長期評価(第二版)』

1498年明応地震

1498年9月20日(グレゴリオ暦;ユリウス暦では9月11日)
(明応七年八月二十五日)

震度分布

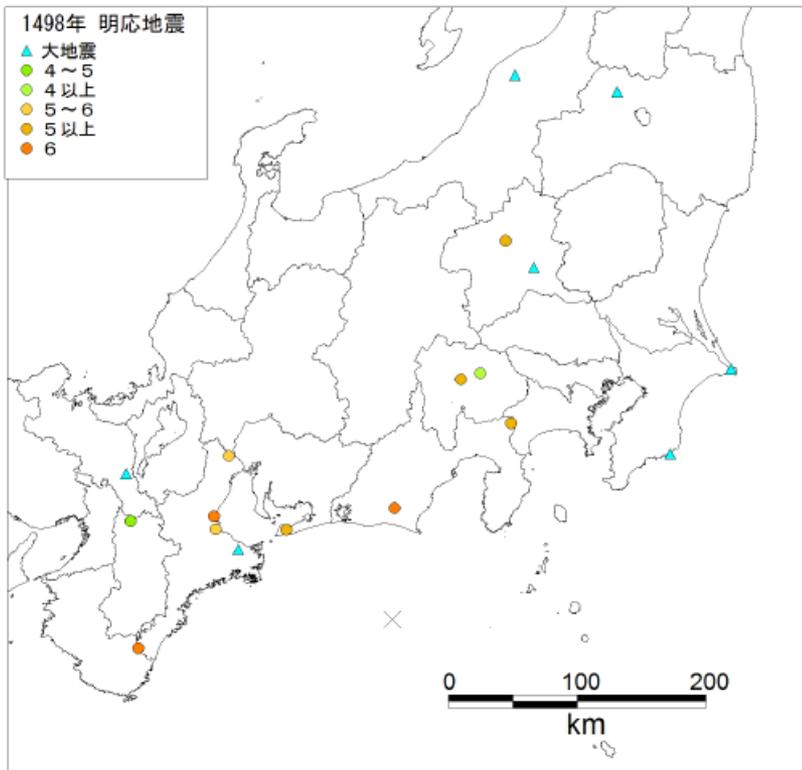


図3-13 1498年明応地震の震度

史料が限られていることから、震度が推定できた地点のみ表示してある。(宇佐美・大和探査, 1994より作成)

津波波高分布

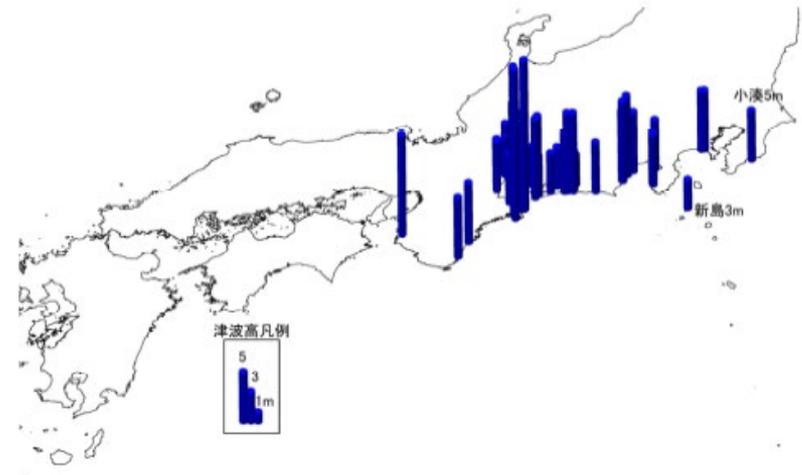
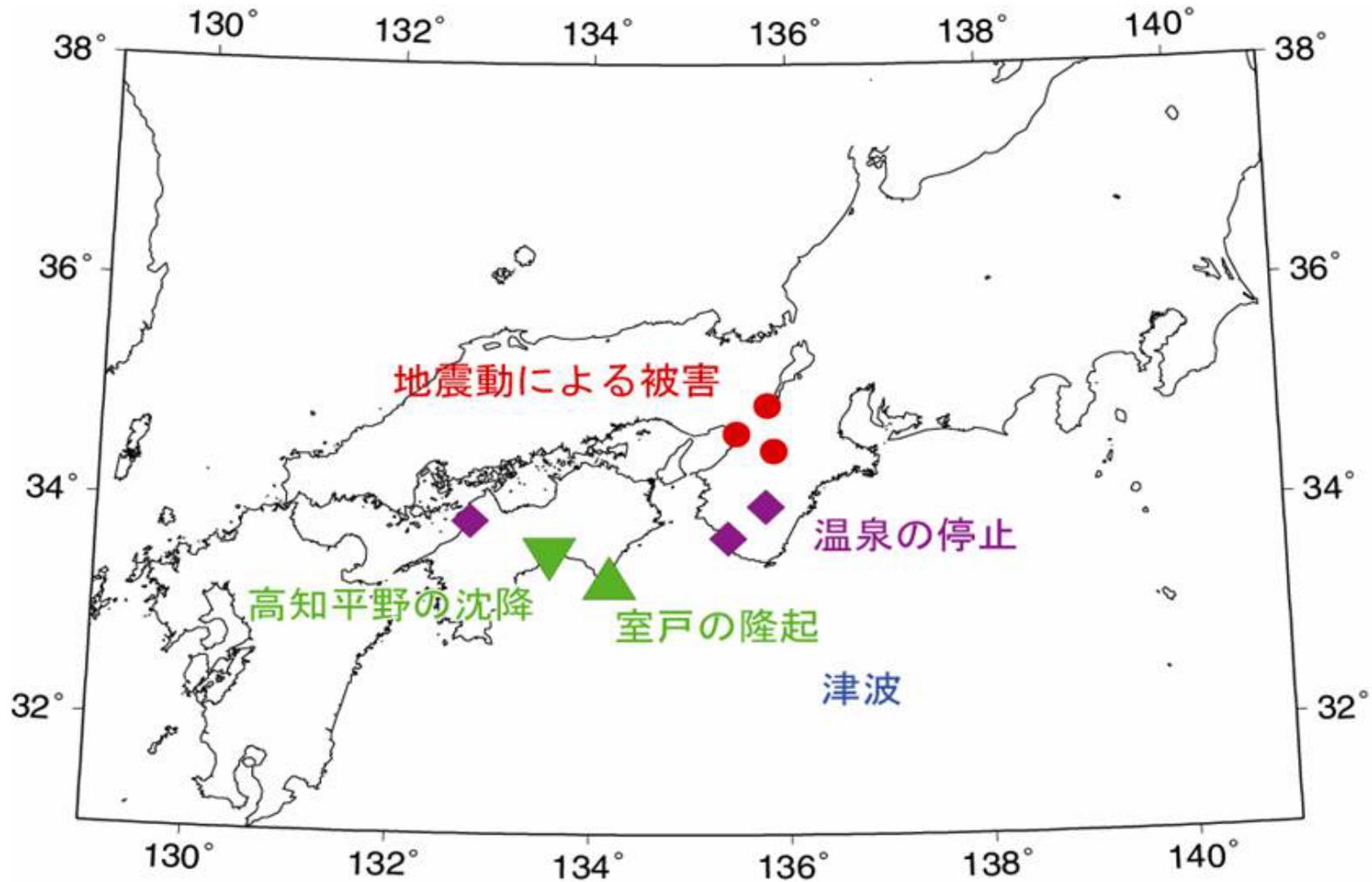


図3-6 1498年明応の津波の高さ(飯田, 1981;羽鳥, 1975より作成)

湯の峰温泉の停止

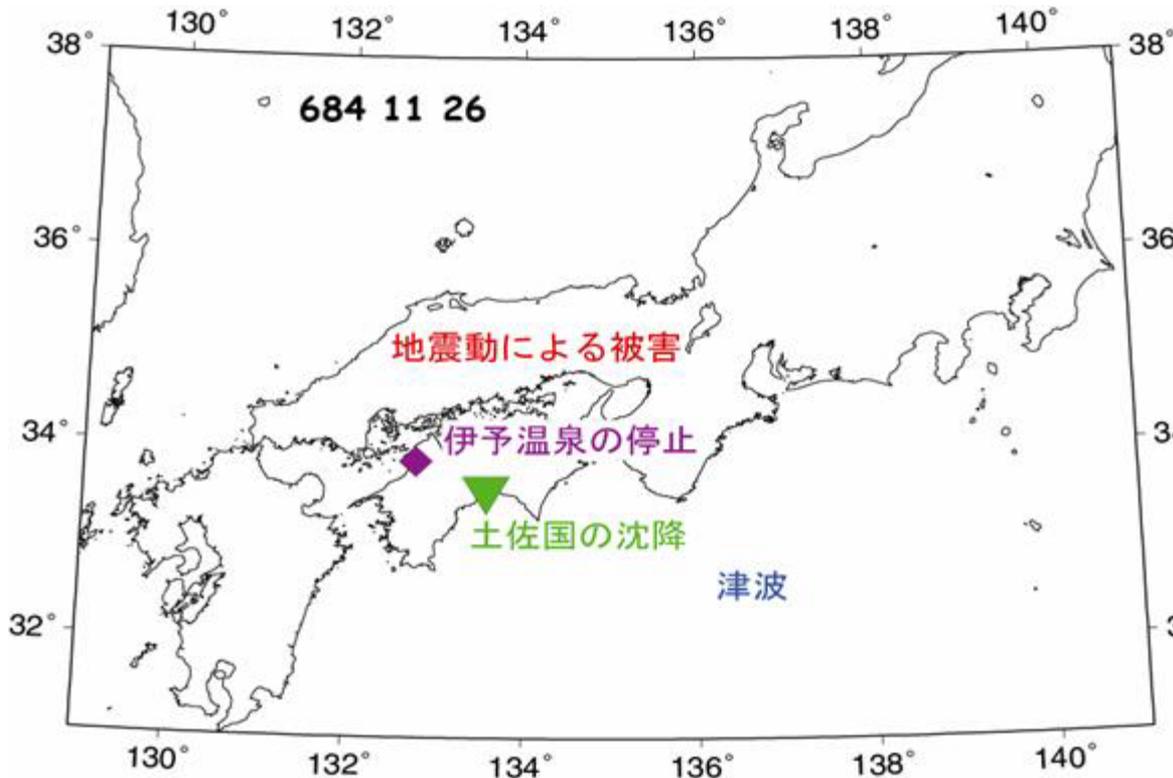
地震調査研究推進本部『南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)』

南海地震の特徴



白鳳南海地震

西暦684年11月26日



日本書紀 宇治谷孟訳 講談社学術文庫
天武天皇十三年十月十四日、夜十時頃に大地震があつた。国中の男も女も叫び合い逃げまどつた。山は崩れ河は溢れた。諸国の郡の官舎や百姓の家屋・倉庫、社寺の破壊されたものは数知れず、人畜の被害は多大であつた。
伊予の道後温泉も、埋もれて湯が出なくなつた。土佐国では田畑五十余万頃が埋まって海となつた。十一月三日、土佐国司が、「高波が押し寄せ、海水が湧き返り、調税を運ぶ船がたくさん流失しました」と報告した。

本日の内容

1. 震災と地震、巨大地震・津波のメカニズム
2. 南海トラフで過去に発生した地震
- 3. 南海トラフ地震の長期予測(地震調査委員会)**
4. 被害想定(内閣府)のための最大地震モデル

地震調査研究推進本部(文部科学省)

地震調査委員会による評価

地震活動の評価

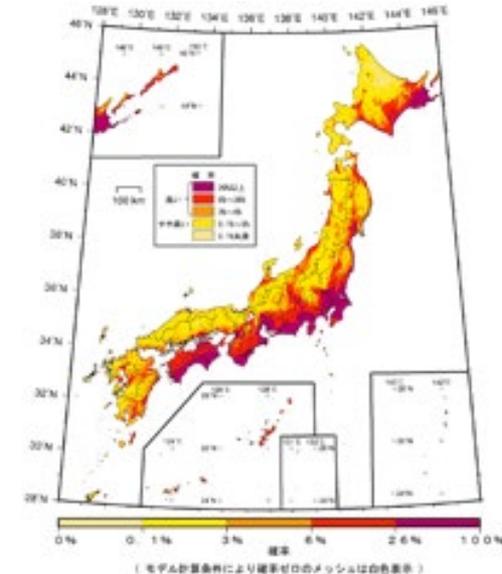
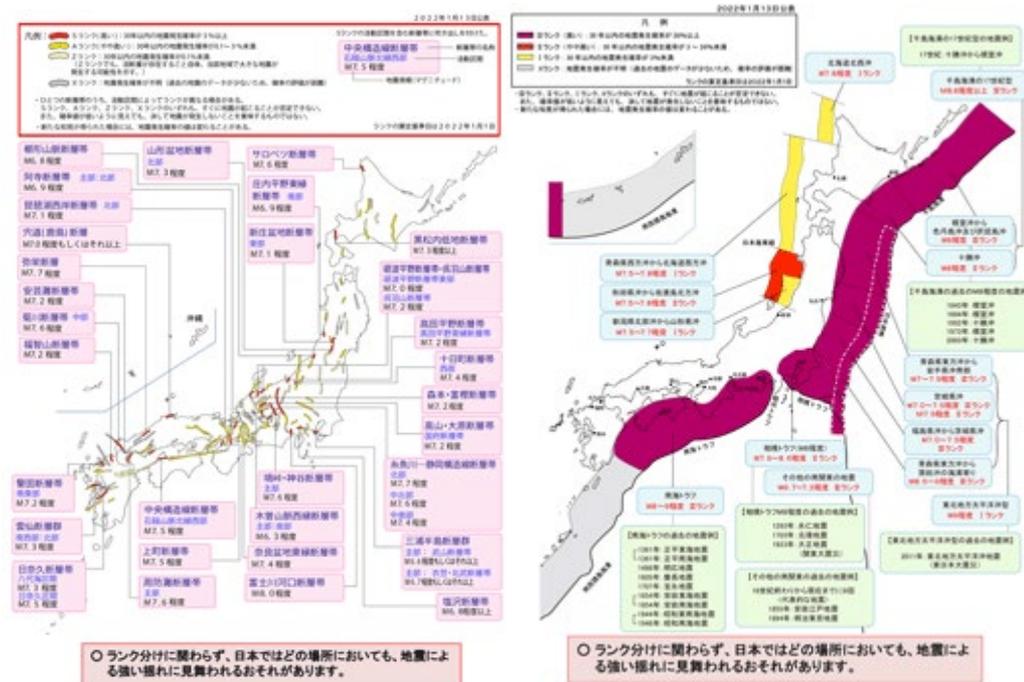
- 毎月の地震活動の評価
- 臨時(大地震後)の評価

長期評価

- 活断層の評価
(主要活断層帯, 地域評価)
- 海溝型地震の長期評価
- 海域活断層の長期評価

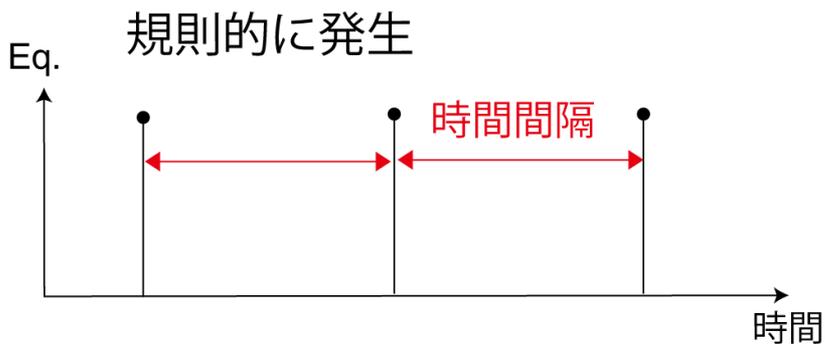
強震動評価

地震動予測地図



地震の繰り返しと発生確率の計算

地震の発生

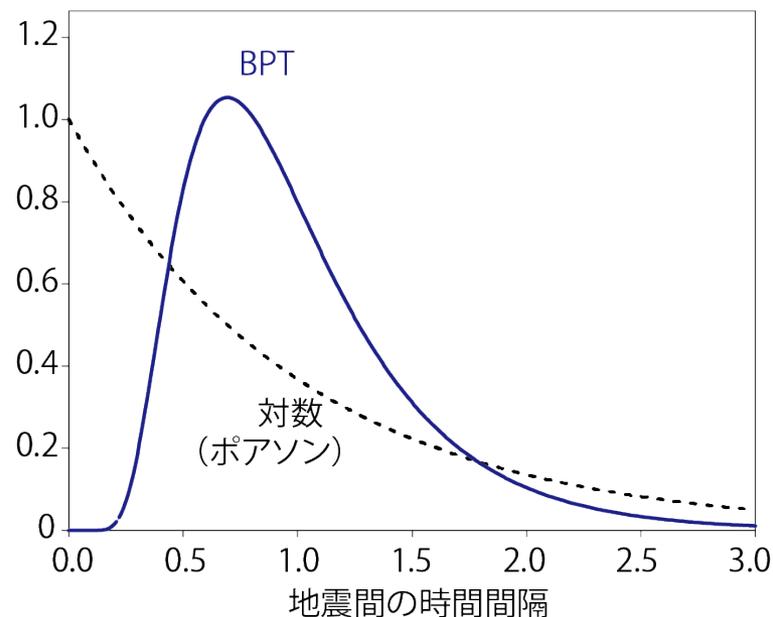


時間的にランダムに発生
(ポアソン過程)

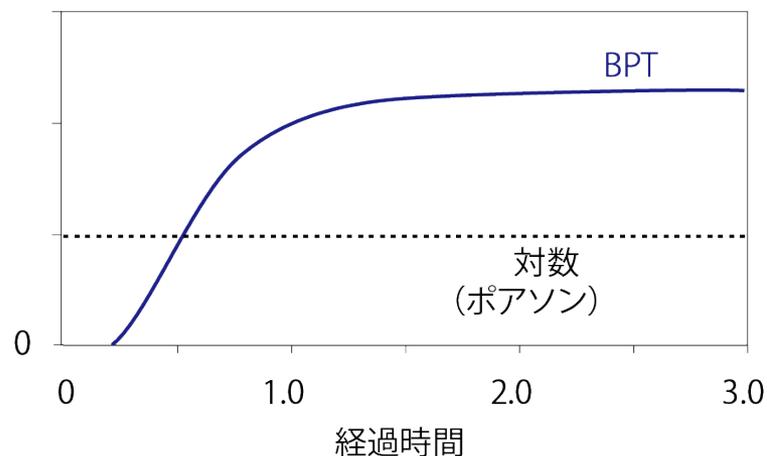


地震と次の地震との時間間隔を
確率密度関数で近似し、将来の
発生確率を計算する

確率密度

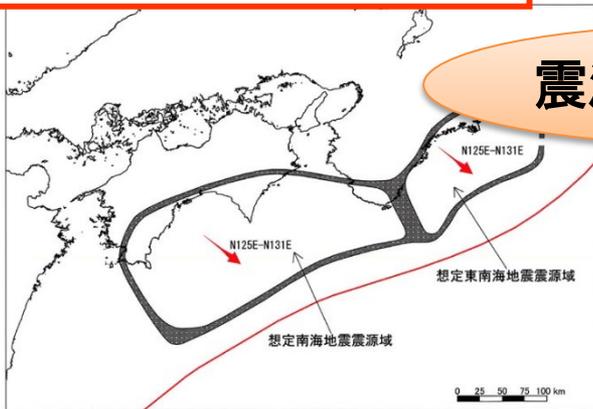


確率



地震調査委員会 南海トラフの地震活動の長期評価

平成13(2001)年の評価



震源域の考え方

- 観測データが揃っている近年の地震から、震源域を評価
- 各領域(東部・西部)で、ほぼ同じ大きさ、ほぼ同じ繰り返し周期で地震が発生

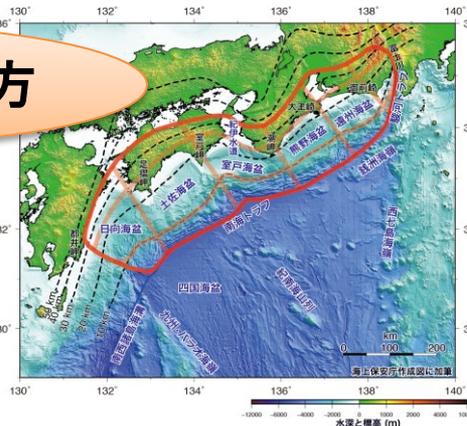
次に発生する地震

	規模	30年確率
東南海地震	M8.1前後	50%程度 (70~80%)
南海地震	M8.4前後	40%程度 (60%程度)

領域ごとに規模、発生確率を評価

()内は、従来の手法でH25年1月の確率を計算

平成25(2013)年の評価

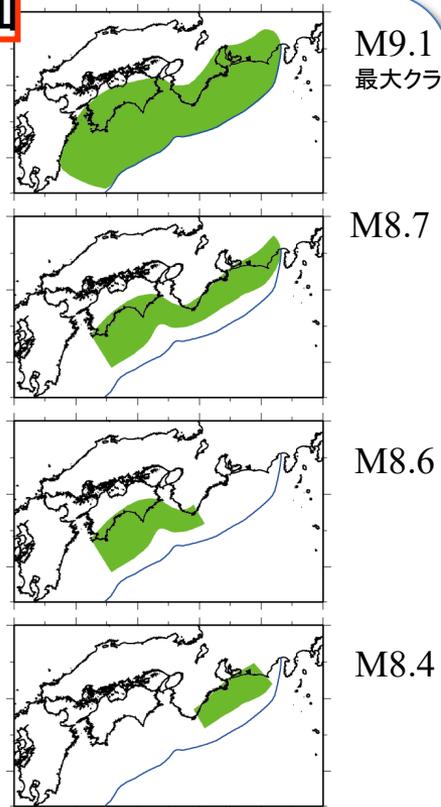


地形、歴史記録、地震活動等から、震源域となり得る領域を評価

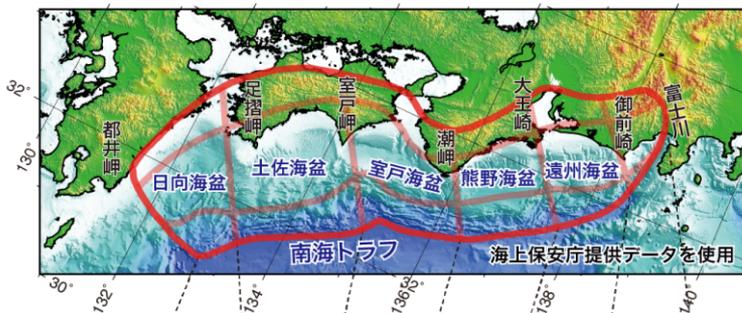
多様なパターンの地震が発生

	規模	30年確率
南海トラフの地震	M8~M9 クラス	60~70% (平成26年当時)

南海トラフ全域で、規模、発生確率を評価



南海トラフ沿いにおける地震の繰り返し

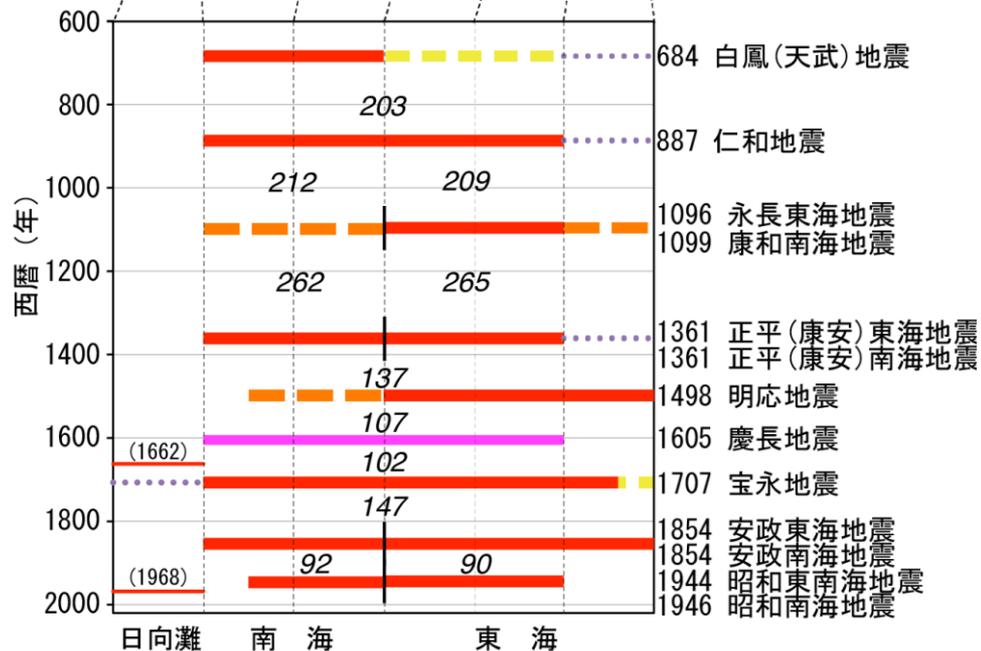


- 東海地震と南海地震が個別に発生したり同時に発生したりする

- 東端・西端も常に一定ではない。特に駿河灘



- 繰り返し発生する地震には多様性がある



- 確実な震源域
- 確実視されている震源域
- 可能性のある震源域
- ⋯ 説がある震源域
- 津波地震の可能性が高い地震
- 日向灘のプレート間地震(M7クラス)

地震調査研究推進本部『南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)』(2013)

大地震の繰り返しと発生確率の計算

大地震の繰り返し

地震発生・間隔の確かさに応じて
I, II, III, IV, Vのケースを検討

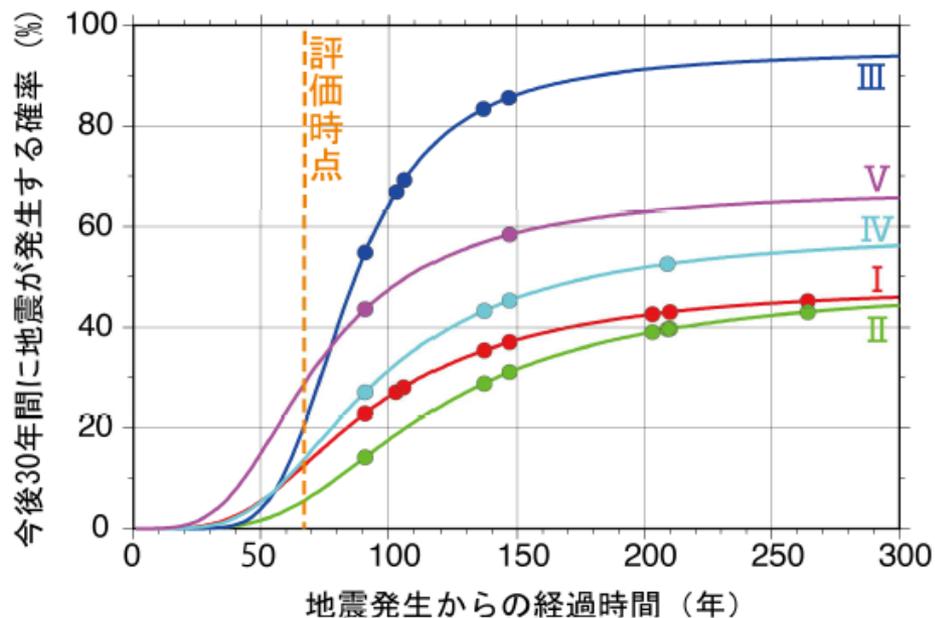
年	地震名	I	II	III	IV	V
684.9	白鳳（天武）地震	○	○			
887.7	仁和地震	○	○			
1098.1	康和・永長地震	○	○			
1361.6	正平（康安）地震	○	○	○	○	
1498.7	明応地震	○	○	○	○	
1605.1	慶長地震	○		○		
1707.8	宝永地震	○	○	○	○	○
1855.0	安政地震	○	○	○	○	○
1946.0	昭和地震	○	○	○	○	○

平均繰り返し間隔(年) 158 117 119
 180 146

将来の発生確率

BPT モデル

どのケースでも30年確率は40%以下



地震調査研究推進本部『南海トラフの
地震活動の長期評価(第二版)』(2013)

大地震の繰り返しと発生確率の計算

大地震の繰り返し

地震発生・間隔の確かさに応じて
I, II, III, IV, Vのケースを検討

将来の発生確率

BPT モデル

どのケースでも30年確率は40%以下

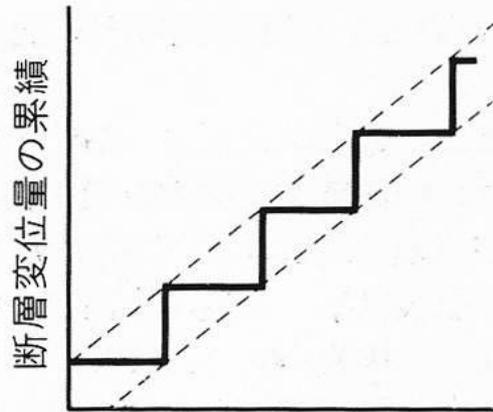
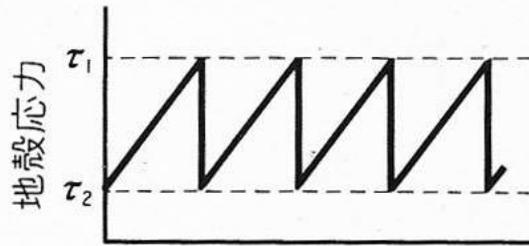
表 4-3 南海トラフで次に発生する地震の発生確率（時間予測モデルを用いない場合）

ケース	平均活動 間隔	今後 30 年間に地震が発生する確率					
		α : 最尤法 () 内は α の値	$\alpha=0.24$	Poisson 過程	昭和地震 直前の値		
I	157.6	10%程度 (0.40)	3%	20%程度	30%程度	2013 13%	2024 18%
II	180.1	6% (0.37)	0.6%	20%程度	10%程度	6%	10%
III	116.9	20%程度 (0.20)	20%程度	20%程度	60%程度	19%	36%
IV	146.1	10%程度 (0.35)	5%	20%程度	30%程度	14%	20%
V	119.1	30%程度 (0.34)	20%程度	20%程度	40%程度	28%	36%

地震調査研究推進本部『南海トラフの
地震活動の長期評価(第二版)』(2013)

地震の規模の多様性を考慮したモデル

周期的モデル

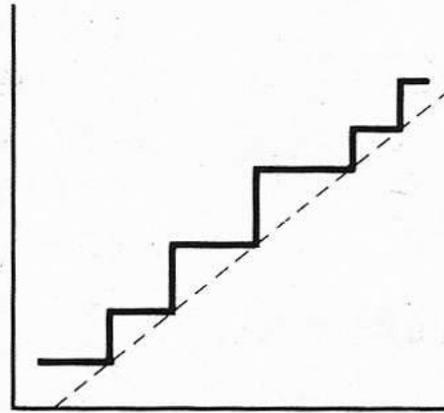
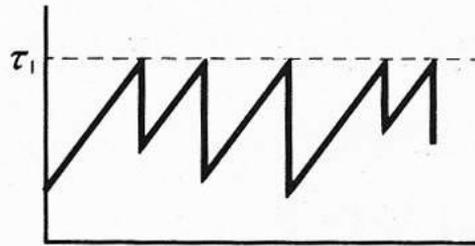


→ 時間

(a)

地震の規模と次の地震までの時間間隔は一定

時間予測モデル

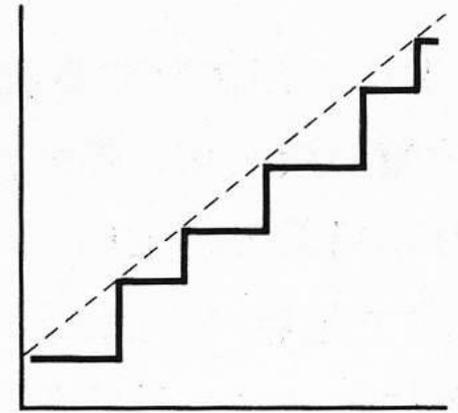
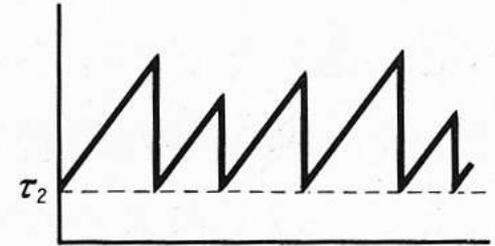


→ 時間

(b)

前の地震の規模と次の地震までの時間間隔が比例

すべり予測モデル

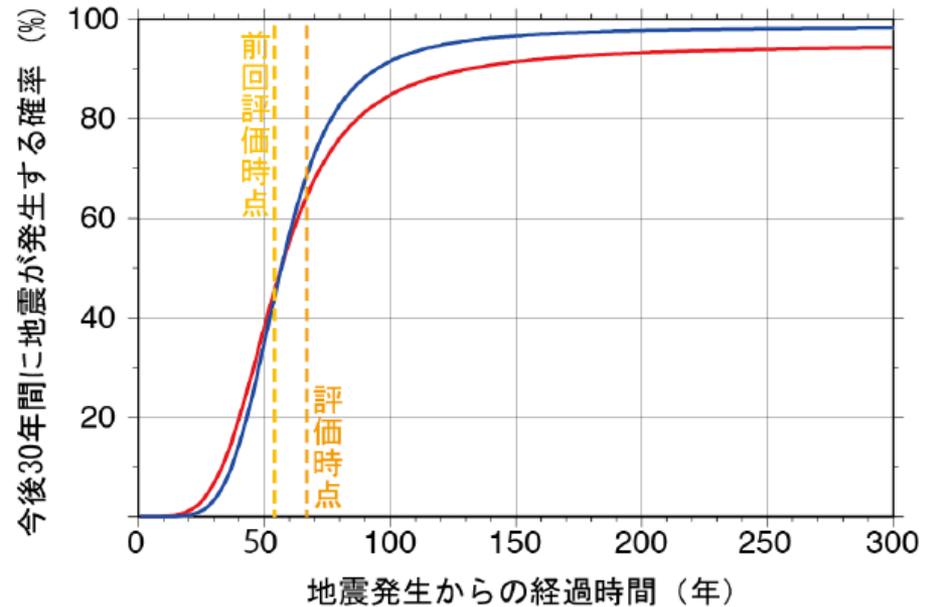
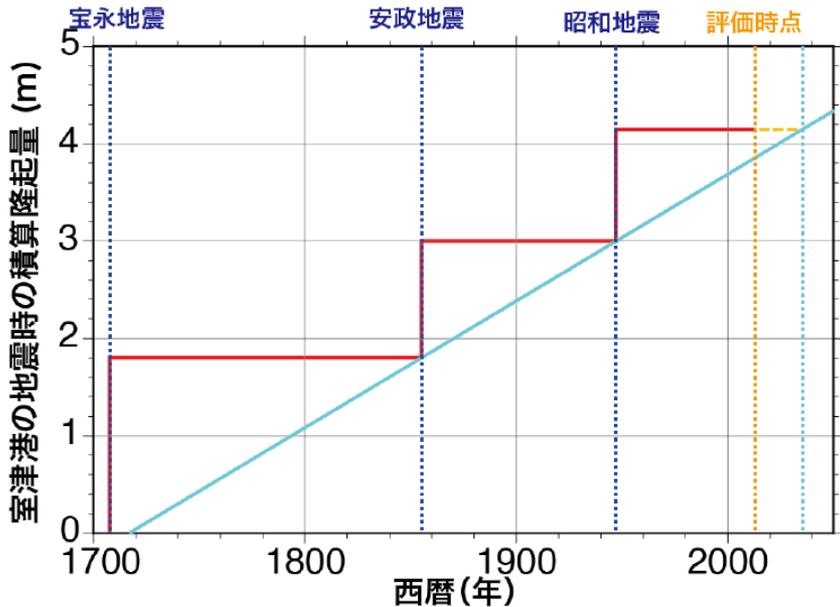


→ 時間

(c)

次の地震までの時間間隔とすべり量が比例

南海地震の時間予測モデル



昭和の地震の規模が小さかったため、次の地震までの間隔は短い

時間予測モデルに基づくと 次の地震までの間隔は88.2年 (2032年頃)

評価時点: 平成26年(2014年) 60~70%

2021年現在: 70~80%

2024年現在: 70~80%

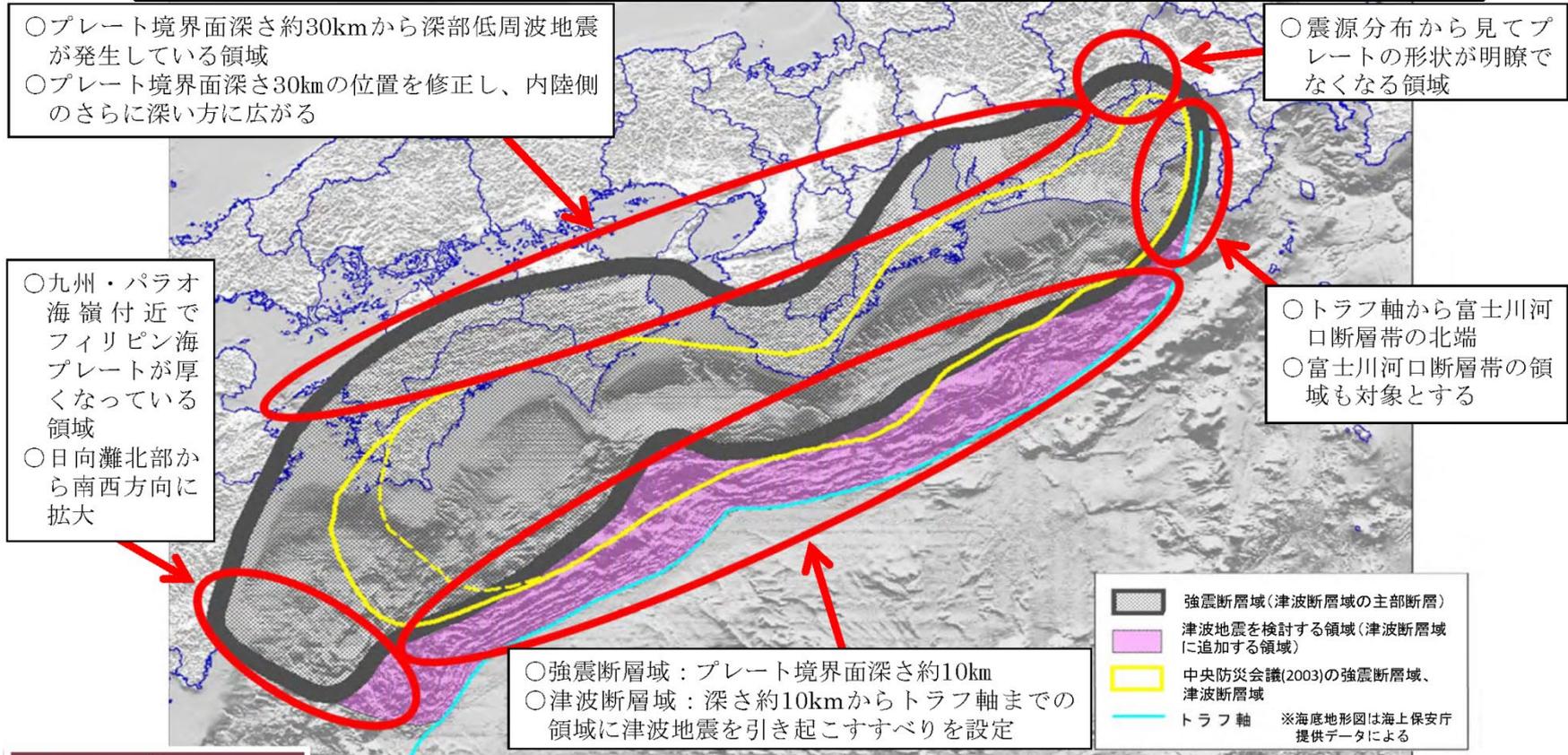
地震調査研究推進本部『南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)』(2013)

本日の内容

1. 震災と地震、巨大地震・津波のメカニズム
2. 南海トラフで過去に発生した地震
3. 南海トラフ地震の長期予測(地震調査委員会)
4. **被害想定(内閣府)のための最大地震モデル**

内閣府 南海トラフ巨大地震モデル検討会

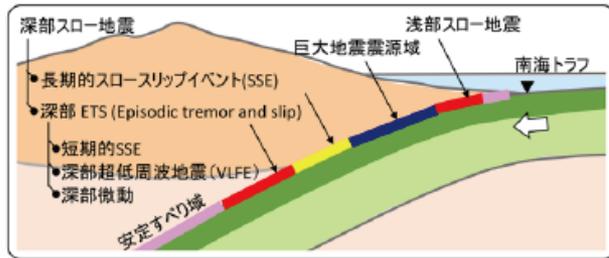
南海トラフの巨大地震の新たな想定震源断層域



地震の規模(確定値)

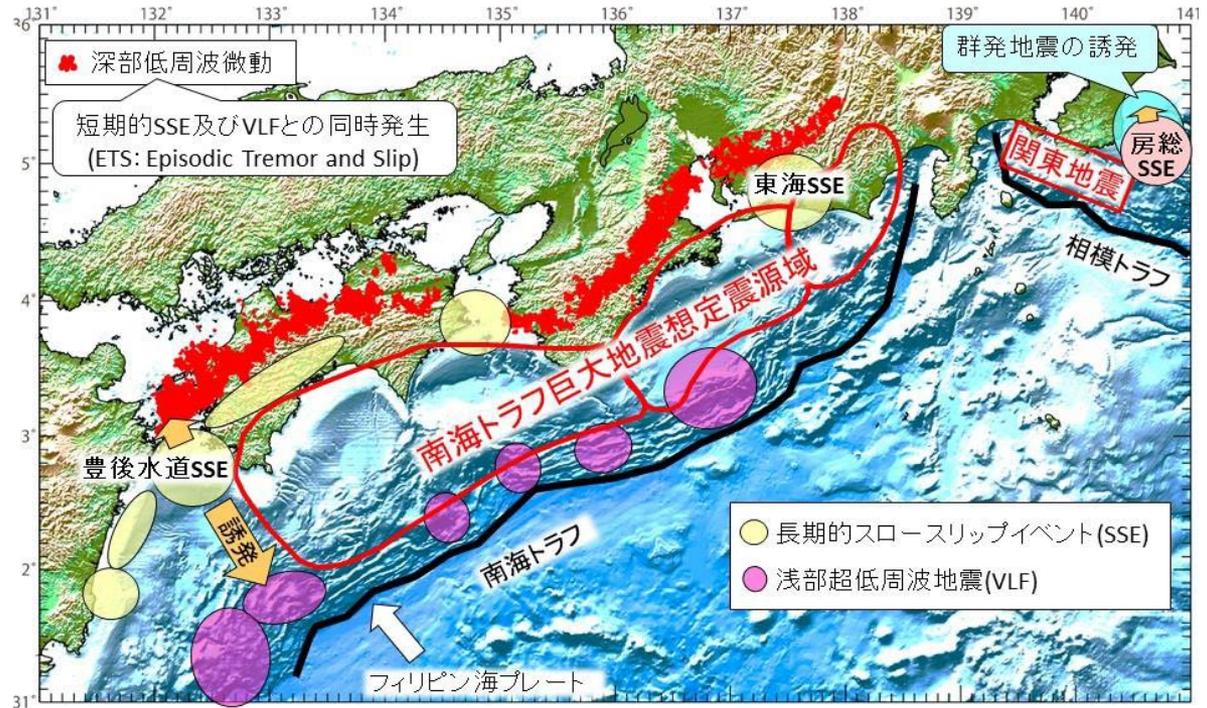
	南海トラフの巨大地震(強震断層域)	南海トラフの巨大地震(津波断層域)	参考			
			2011年東北地方太平洋沖地震	2004年スマトラ島沖地震	2010年チリ中部地震	中央防災会議(2003)強震断層域
面積	約11万km ²	約14万km ²	約10万km ² (約500km×約200km)	約18万km ² (約1200km×約150km)	約6万km ² (約400km×約140km)	約6.1万km ²
モーメント マグニチュード Mw	9.0	9.1	9.0 (気象庁)	9.1(Ammon et al., 2005) [9.0(理科年表)]	8.7(Pulido et al., in press) [8.8(理科年表)]	8.7

南海トラフにおけるスロー地震



(特徴的時間スケール)	深部側 (巨大地震震源域)	浅部側
100日 (0.5~5年)	長期的SSE	浅部SSE
1日 (1~10日)	短期的SSE	浅部SSE
100秒 (10~100秒)	深部VLFE	浅部VLFE
10秒	広帯域スロー地震	
1秒 (0.1~1秒)	深部微動 (低周波地震・微動、テクトニック微動)	浅部微動

図1 南海トラフにおけるスロー地震の分類



新学術領域「スロー地震学」 パンフレットより

https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/sloweq/newsletters/pdf/leaflet_v3.pdf

https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/sloweq/newsletters/pdf/pamphlet_jp_2022.pdf

強震断層モデルと震度分布

震度分布 4ケースを想定

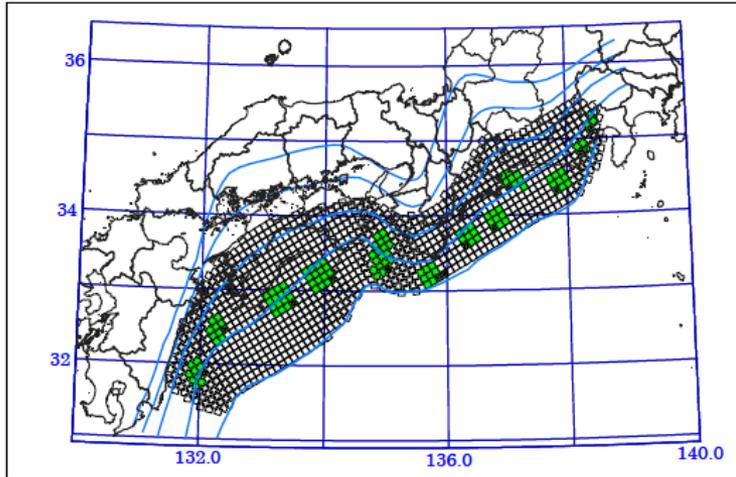


図3.3 強震動生成域の設定の検討ケース(基本ケース)

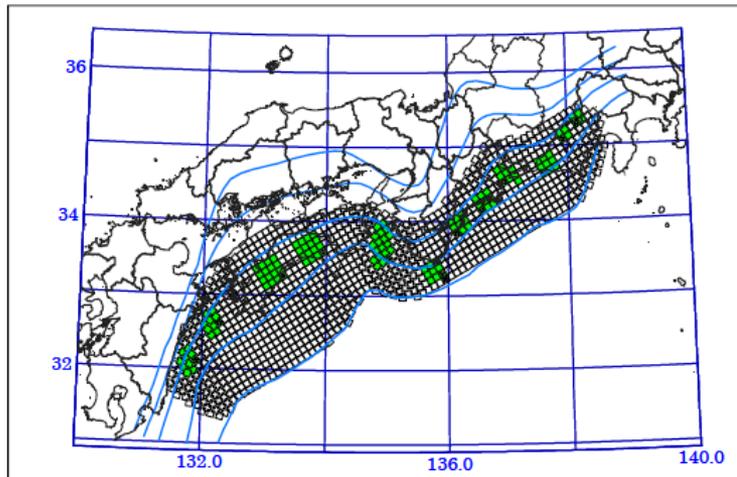


図3.6 強震動生成域の設定の検討ケース(陸側ケース)

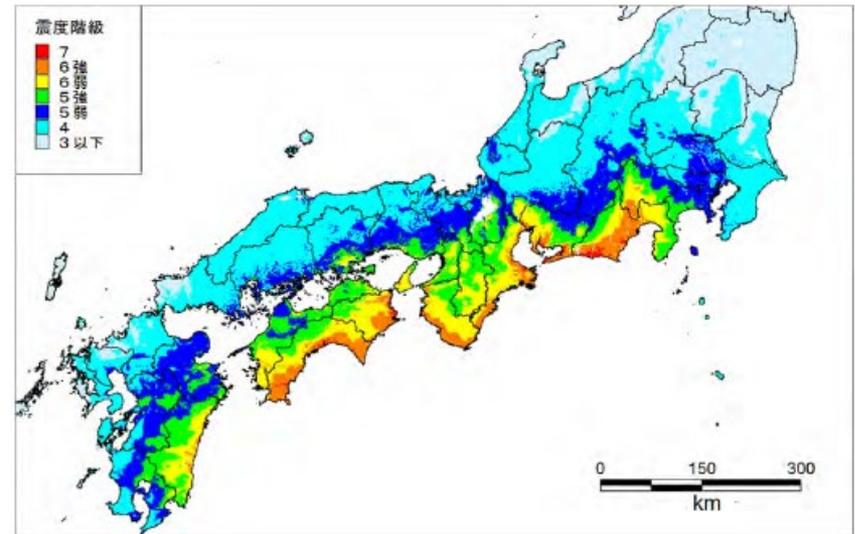


図5.1 基本ケースの震度分布

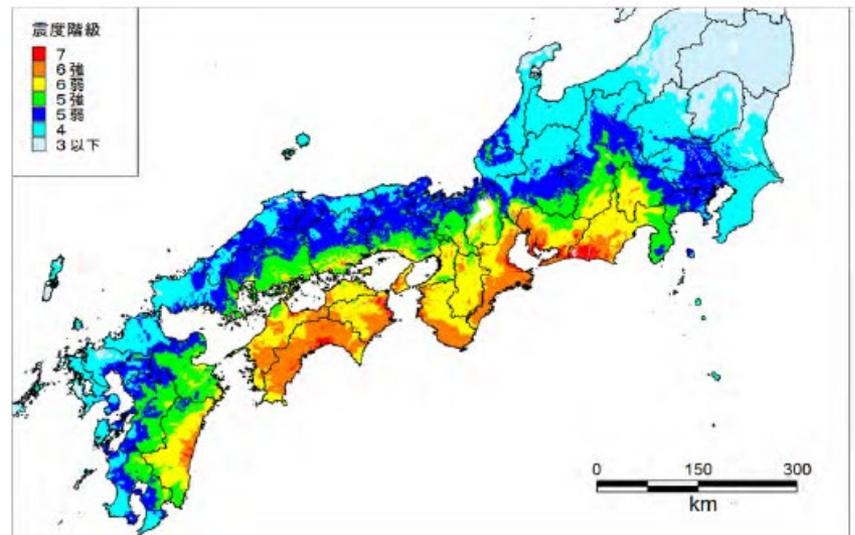
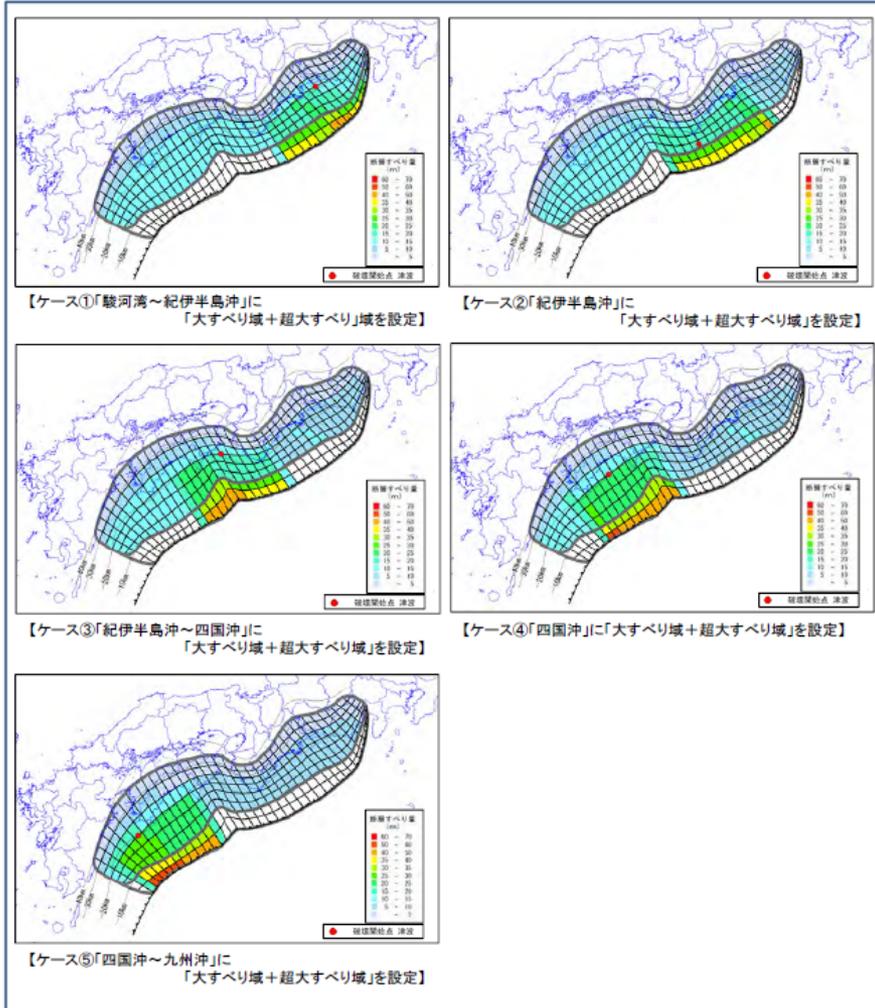


図5.4 陸側ケースの震度分布

津波断層モデルと津波高

基本ケース(5ケース)



【基本的な検討ケース】(計5ケース)

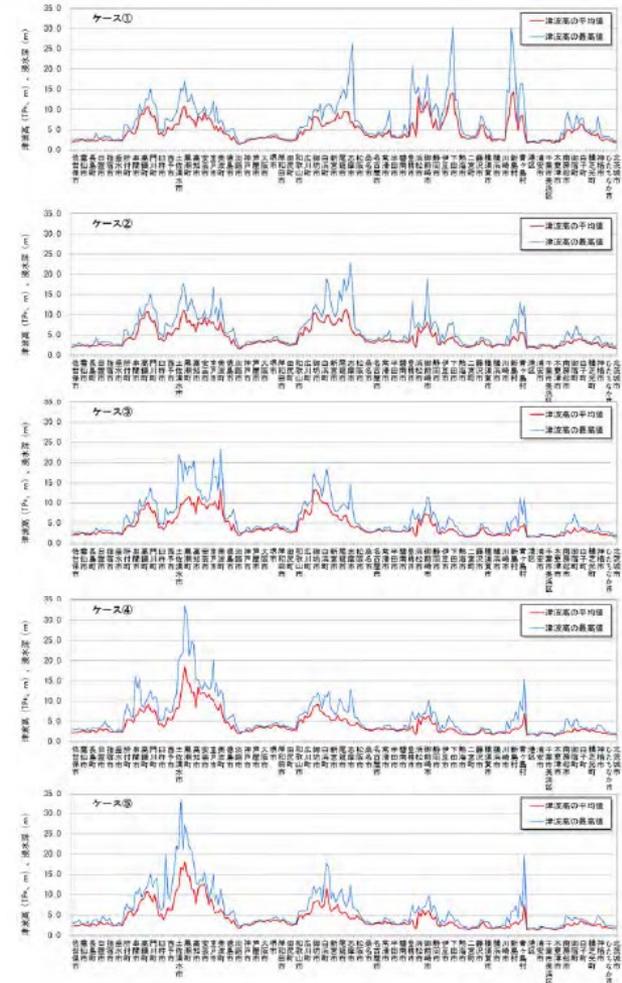


図5.6 津波高(満潮時)

各市町村の津波高の最高値と津波高の平均値の比較【基本的なケース】

津波断層モデルと津波高

派生ケース(6ケース)

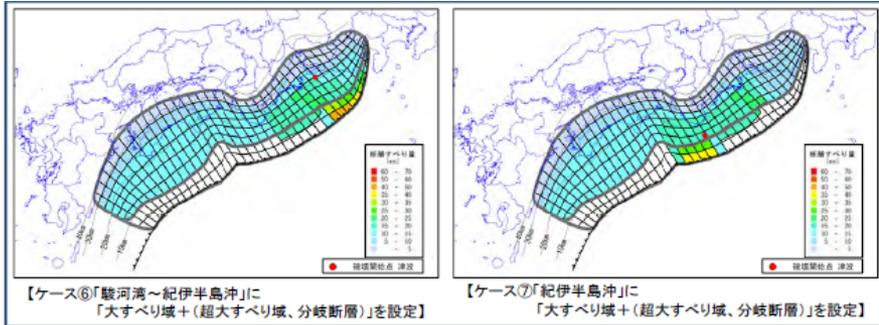
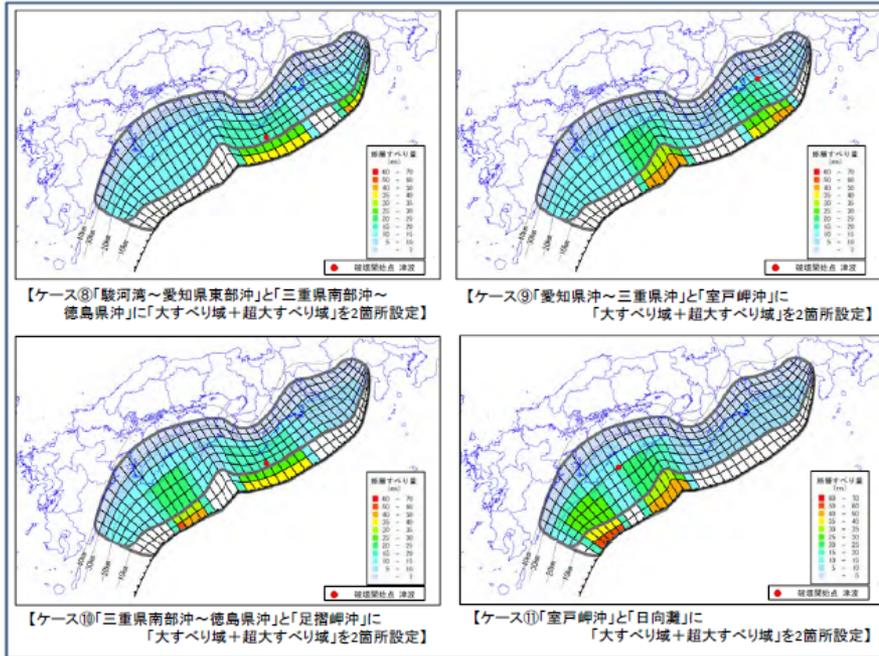
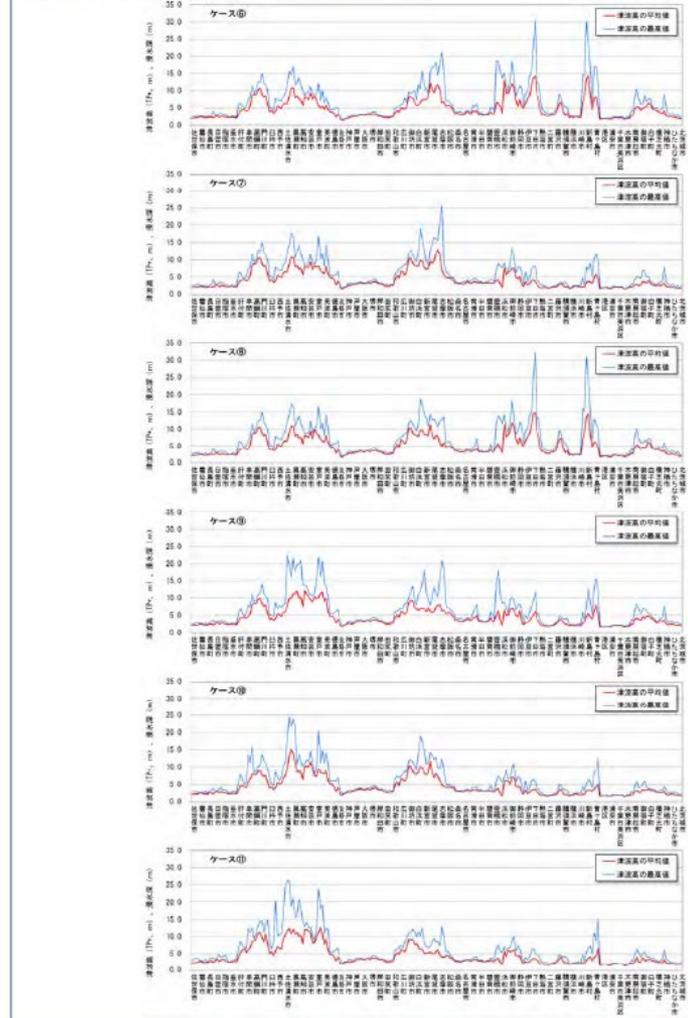


図2.3(3) 大すべり域、超大すべり域が2箇所のパターン【4ケース】

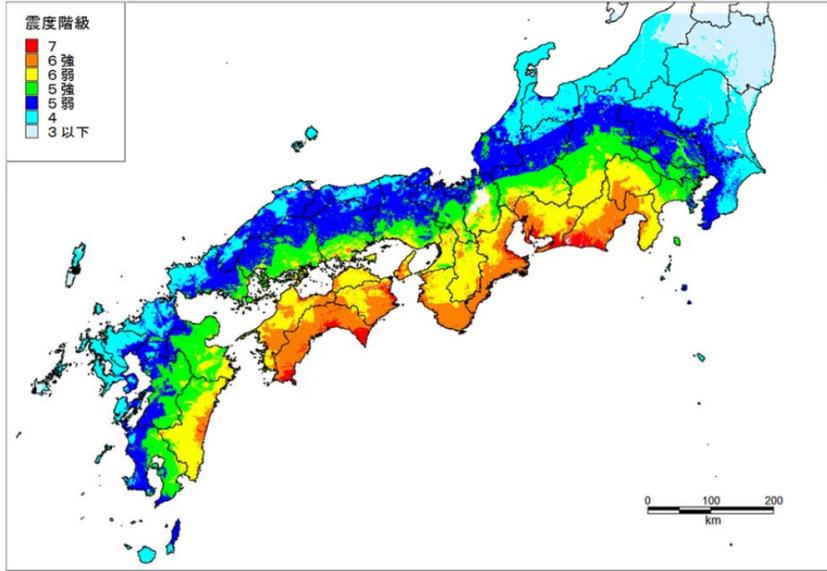


【その他派生的な検討ケース】(計6ケース)



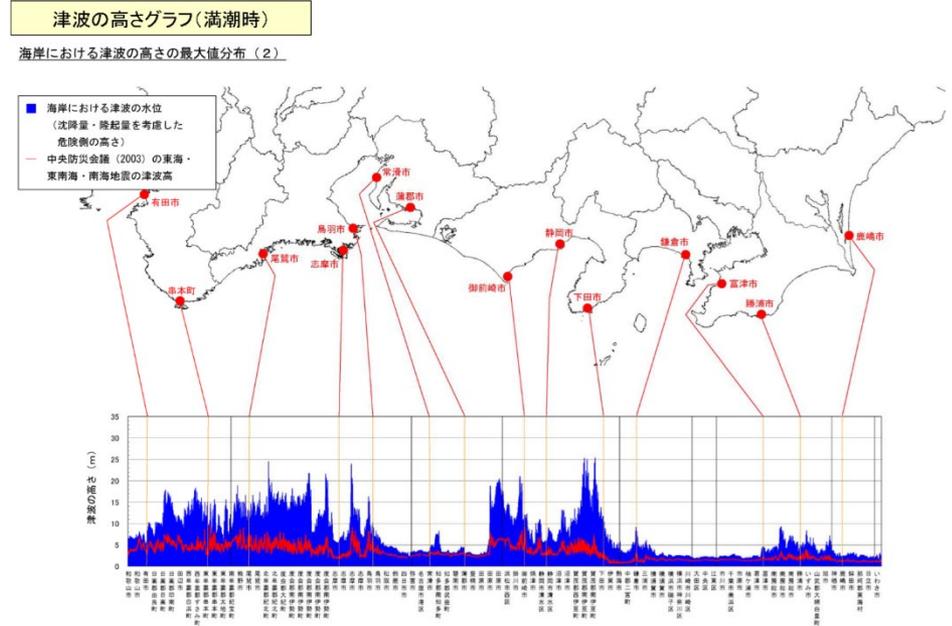
内閣府 南海トラフ巨大地震モデル検討会

震度分布



全ケースの重ね合わせ

津波高さ分布



	M	浸水面積	浸水域内人口	人的被害	建物被害 全壊棟数	経済損失
東北地方太平洋沖地震	9.0	561 km ²	62万人	1万8800人	13万400棟	16~25兆円
南海トラフ巨大地震	9.1	1,015 km ²	163万人	32万3000人	238万5000棟	215兆円
倍率		1.8倍	2.6倍	17倍	18倍	10倍

まとめ

1. 日本周辺で発生する地震で最大規模となるのは、千島海溝・日本海溝・相模トラフ・南海トラフで発生するプレート間地震で、地震動に加えて地殻変動（海岸の隆起・沈降）や津波を伴い、被害が生じている。
2. 南海トラフではプレート間地震がおおよそ100年程度の間隔で繰り返し発生しているが、これらの地震には多様性がある。
3. 宝永地震・安政地震・昭和南海地震の隆起量を考慮した時間予測モデルによれば、今後30年間に発生する確率は70～80%程度。
4. 南海トラフ地震の被害想定は、最大規模（M 9.1）の複数の地震モデルからの震度分布・津波高分布の重ね合わせに基づいている。