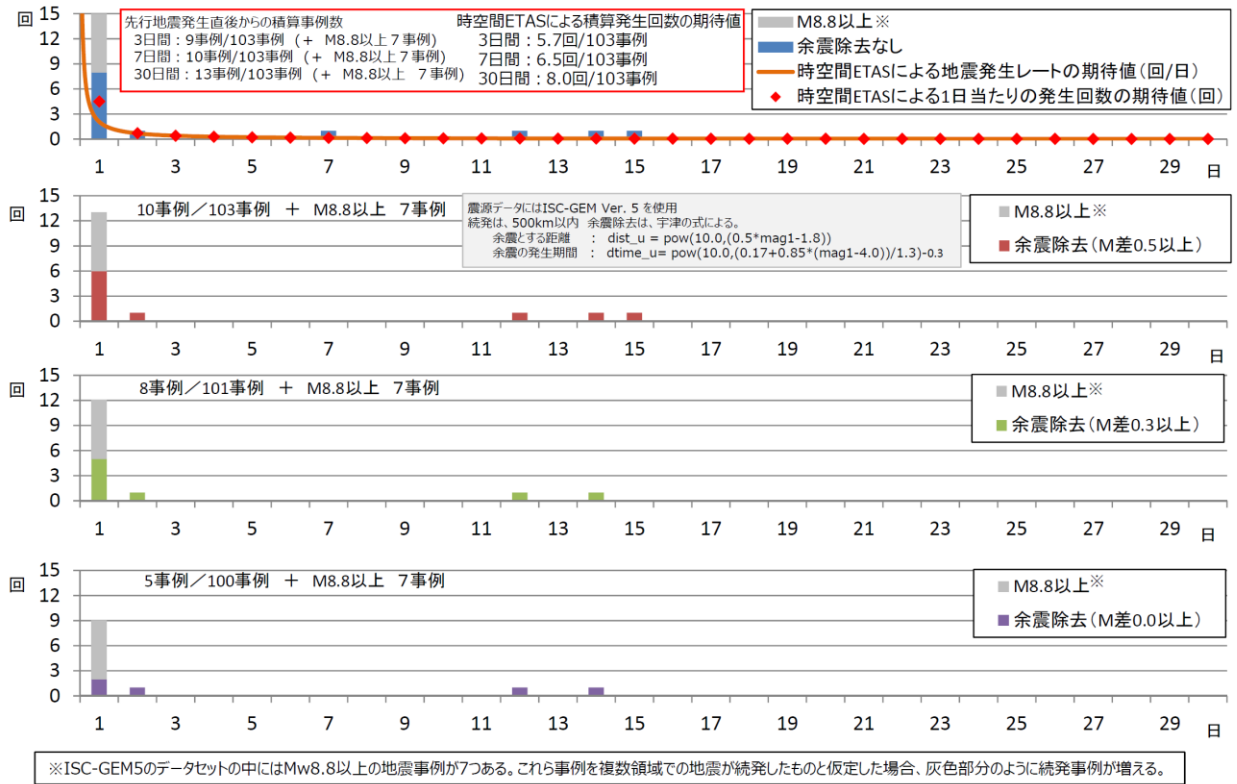


(別冊 図表集)

M8.0以上→M7.8以上の続発

続発は、500km以内 余震除去は、宇津の式による。
 余震とする距離 : $dist_u = pow(10.0, (0.5 * mag1 - 1.8))$
 余震の発生期間 : $dtime_u = pow(10.0, (0.17 + 0.85 * (mag1 - 4.0)) / 1.3) - 0.3$

● M8.0以上 (103事例) の地震に続いて、M7.8以上の地震が**続発 (30日内)** したケースの発生パターン (横軸: 続発するまでの時間 日単位)



M7.0-7.9→M7.8以上の続発

続発は、500km以内 余震除去は、宇津の式による。
 余震とする距離 : $dist_u = pow(10.0, (0.5 * mag1 - 1.8))$
 余震の発生期間 : $dtime_u = pow(10.0, (0.17 + 0.85 * (mag1 - 4.0)) / 1.3) - 0.3$

● M7.0-7.9 (1334事例) の地震に続いて、M7.8以上の地震が**続発 (30日内)** したケースの発生パターン (横軸: 続発するまでの時間 日単位)

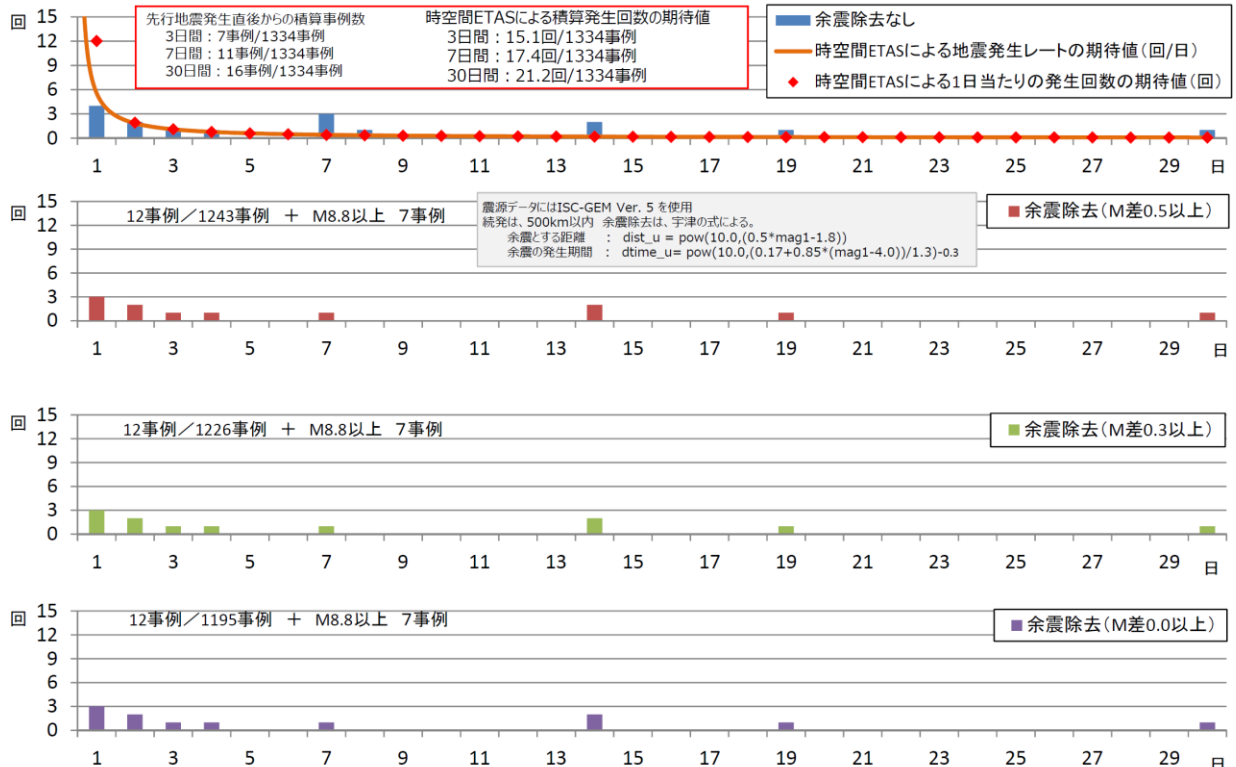
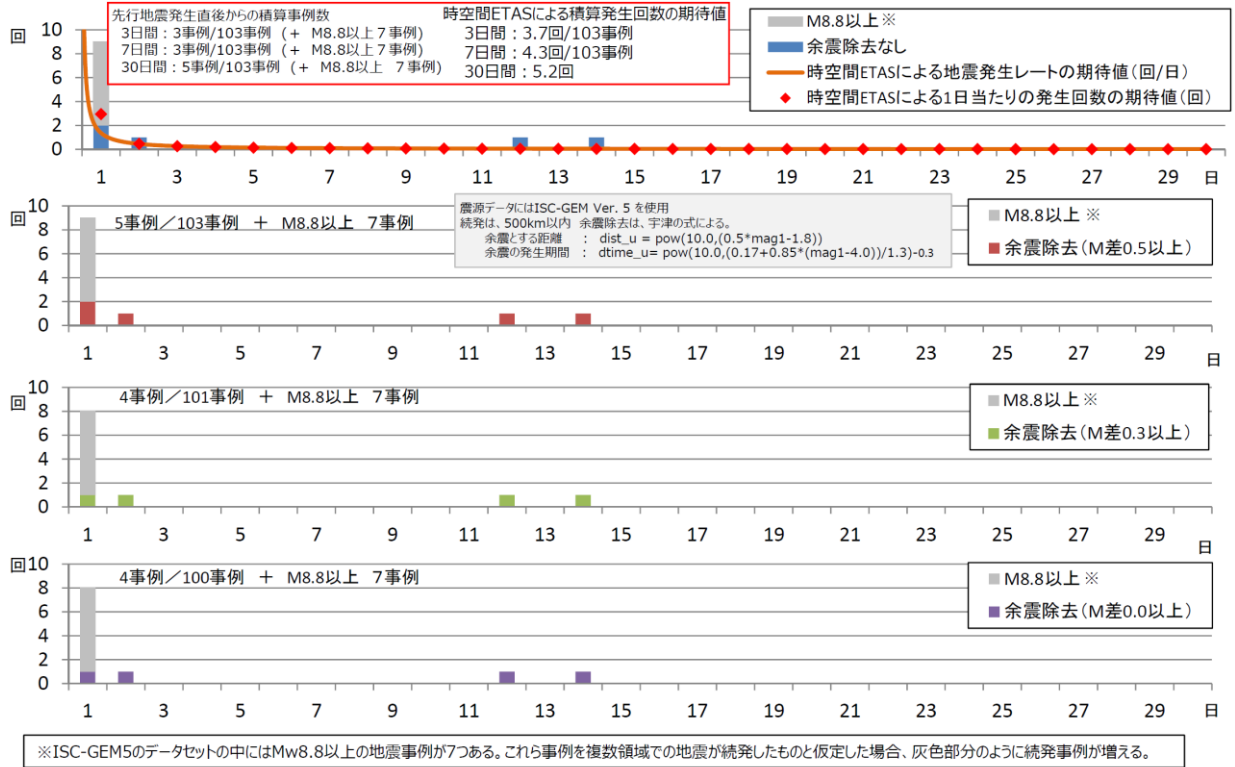


図 1-1 M7.8以上の地震が連動したケースの発生パターン

M8.0以上→M8.0以上の続発

続発は、500km以内 余震除去は、宇津の式による。
 余震とする距離 : $\text{dist}_u = \text{pow}(10.0, (0.5 * \text{mag}1 - 1.8))$
 余震の発生期間 : $\text{dtime}_u = \text{pow}(10.0, (0.17 + 0.85 * (\text{mag}1 - 4.0)) / 1.3) - 0.3$

- M8.0以上 (103事例) の地震に続いて、M8.0以上の地震が**続発 (30日内)** したケースの発生パターン (横軸：続発するまでの時間 日単位)



M7.0-7.9→M8.0以上の続発

続発は、500km以内 余震除去は、宇津の式による。
 余震とする距離 : $\text{dist}_u = \text{pow}(10.0, (0.5 * \text{mag}1 - 1.8))$
 余震の発生期間 : $\text{dtime}_u = \text{pow}(10.0, (0.17 + 0.85 * (\text{mag}1 - 4.0)) / 1.3) - 0.3$

- M7.0-7.9 (1334事例) の地震に続いて、M8.0以上の地震が**続発 (30日内)** したケースの発生パターン (横軸：続発するまでの時間 日単位)

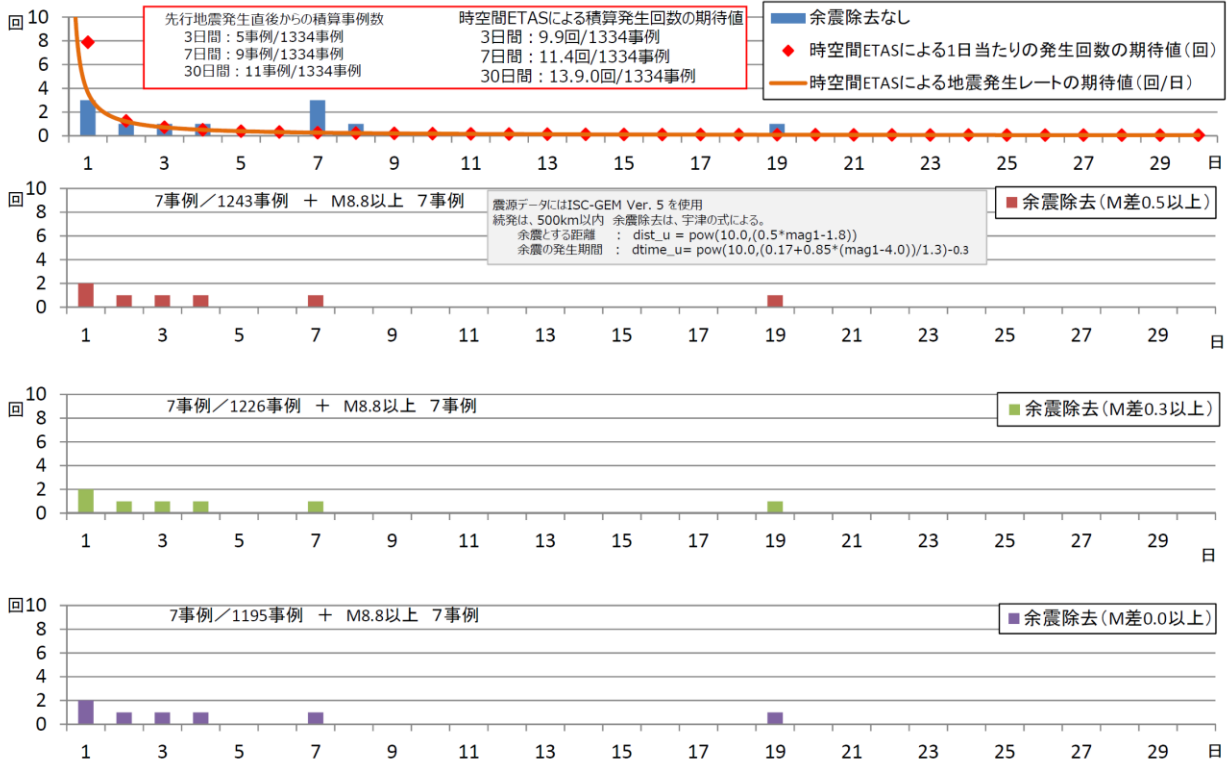


図1-2 M8.0以上の地震が連動したケースの発生パターン

(参考) 続発事例の一覧

前ページの余震除去なしの場合の続発事例について、その震源データを以下に整理した。

●M8.0以上→M7.8以上

最初の地震			後発の地震			差	
年月日時分秒	M	緯度(度) 経度(度)	年月日時分秒	M	緯度(度) 経度(度)	震央距離[km]	時間[日]
2009/10/7 22:18	8.0	-11.393 166.309	2009/10/7 22:18	7.8	-11.551 166.456	23.655	0.00
1960/5/22 18:56	8.6	-37.939 -72.961	1960/5/22 19:11	9.6	-37.857 -72.593	33.538	0.01
2011/3/11 5:46	9.1	38.285 142.546	2011/3/11 6:15	7.9	36.220 141.084	263.327	0.02
2012/4/11 8:38	8.6	2.273 93.051	2012/4/11 10:43	8.3	0.754 92.420	181.822	0.09
2000/11/16 4:54	8.0	-3.989 152.254	2000/11/16 7:42	7.8	-4.805 153.139	163.463	0.12
1968/5/16 0:49	8.2	40.860 143.435	1968/5/16 10:39	7.9	41.430 142.864	79.422	0.41
2007/9/12 11:10	8.5	-3.593 101.502	2007/9/12 23:49	7.9	-1.428 100.761	218.707	0.53
1923/9/1 2:58	8.1	35.274 139.344	1923/9/2 2:46	7.9	34.985 139.928	62.131	0.99
1960/5/21 10:02	8.1	-36.176 -72.647	1960/5/22 18:56	8.6	-37.939 -72.961	38.130	1.37
1963/10/13 5:17	8.5	44.872 149.483	1963/10/20 0:53	7.8	44.726 150.547	85.771	6.82
1971/7/14 6:11	8.0	-4.476 153.850	1971/7/26 1:23	8.1	-3.183 153.172	108.325	11.80
1905/7/9 9:40	8.0	49.709 98.483	1905/7/23 2:46	8.3	49.292 96.843	127.614	13.71
1932/6/3 10:36	8.1	20.063 -102.546	1932/6/18 10:12	7.8	19.235 -103.762	123.029	14.98

●M7.0-7.9→M7.8以上

最初の地震			後発の地震			差	
年月日時分秒	M	緯度(度) 経度(度)	年月日時分秒	M	緯度(度) 経度(度)	震央距離[km]	時間[日]
2009/10/7 22:03	7.6	-12.963 166.431	2009/10/7 22:18	8.0	-11.393 166.309	49.326	0.01
1976/1/14 15:56	7.8	-28.514 -176.544	1976/1/14 16:47	7.9	-27.086 -176.646	64.143	0.04
1960/5/22 10:30	7.1	-36.225 -72.983	1960/5/22 18:56	8.6	-37.939 -72.961	31.805	0.35
1963/10/12 11:27	7.0	44.647 149.225	1963/10/13 5:17	8.5	44.872 149.483	32.301	0.74
1923/2/2 5:07	7.3	53.739 160.813	1923/2/3 16:01	8.4	54.418 160.250	84.163	1.45
2000/11/16 7:42	7.8	-4.805 153.139	2000/11/17 21:01	7.8	-4.465 151.940	137.941	1.56
2011/3/9 2:45	7.3	38.433 142.987	2011/3/11 5:46	9.1	38.285 142.546	41.902	2.13
1922/11/7 23:00	7.0	-27.631 -70.058	1922/11/11 4:32	8.3	-27.089 -69.130	120.751	3.23
1931/10/3 22:47	7.0	-9.032 161.415	1931/10/10 0:19	8.0	-8.281 161.056	143.474	6.06
1931/10/3 21:18	7.0	-11.869 161.333	1931/10/10 0:19	8.0	-8.281 161.056	268.211	6.13
1931/10/3 19:13	7.9	-10.866 161.145	1931/10/10 0:19	8.0	-8.281 161.056	156.638	6.21
1971/7/19 0:14	7.1	-4.246 153.868	1971/7/26 1:23	8.1	-3.183 153.172	129.027	7.05
1987/11/17 8:46	7.2	58.731 -142.954	1987/11/30 19:23	7.9	58.828 -141.387	27.310	13.44
1976/1/1 1:29	7.3	-27.082 -176.656	1976/1/14 15:56	7.8	-28.514 -176.544	63.864	13.60
1979/11/23 23:40	7.2	4.731 -75.840	1979/12/12 7:59	8.1	1.555 -78.724	492.614	18.35
1921/12/18 15:29	7.3	-2.082 -70.480	1922/1/17 3:50	7.9	-1.089 -70.440	111.302	29.51

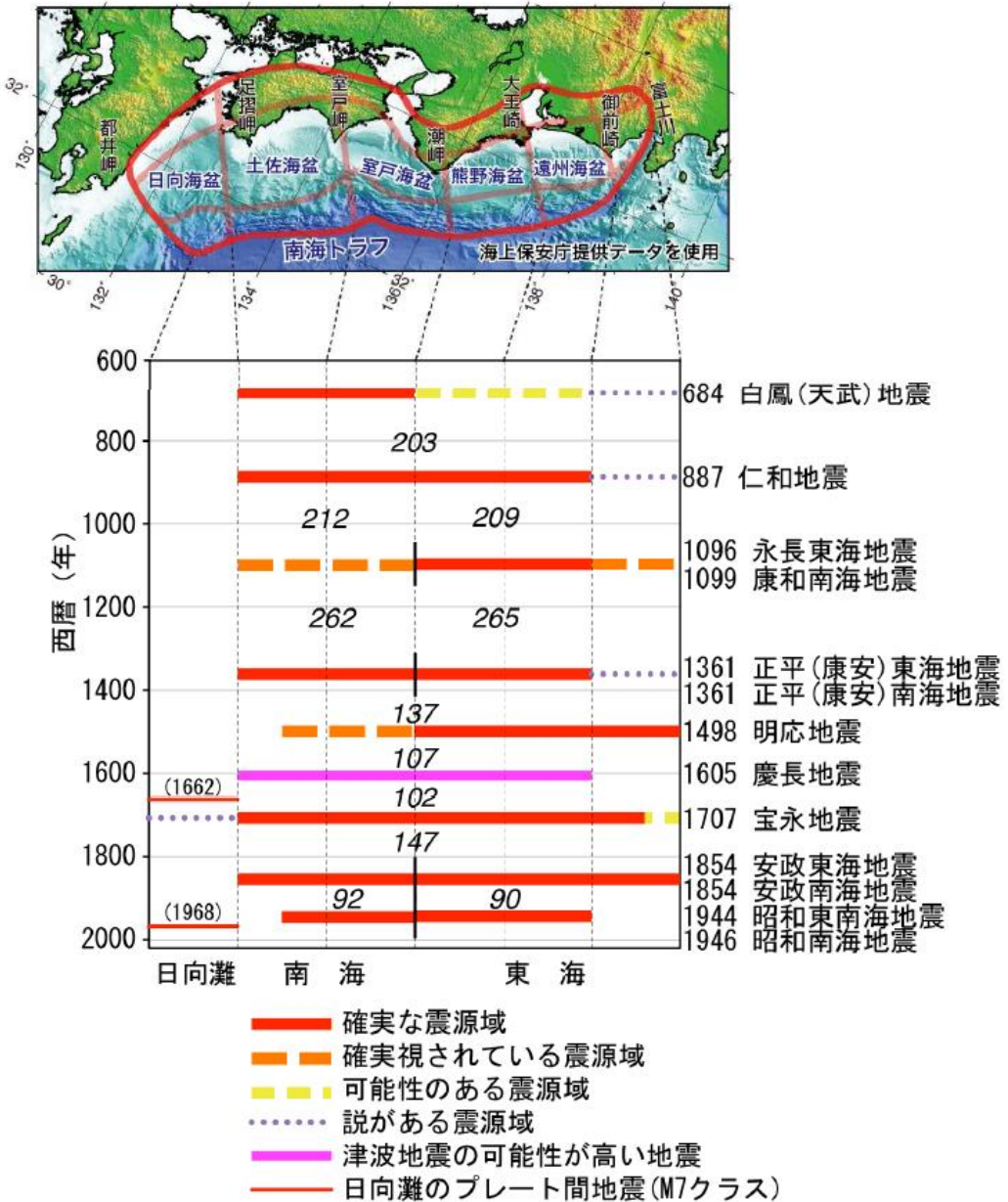


図2 南海トラフで過去に起きた大地震の震源域の時空間分布(石橋, 2002 をもとに編集)
 ・白鳳(天武)地震(684年)以降の地震を示している。
 ・図中イタリック体で表した数字は、地震の発生間隔(年)を示す。
 ・震源域は地形の境界(都井岬、足摺岬、室戸岬、潮岬、大王崎、御前崎、富士川)で東西方向に区切っている。
 ・黒の縦棒は、南海と東海の地震が時間差(数年以内)をおいて発生したことを示す。

地震調査委員会「南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)」より引用

発生年月日	震央地名 (地震名称)	M	Mw (気象庁)	Mw (中央防災会議)	Mw (USGS)	Mw (ISC-GEM5.1)	Mt
1707/10/28	宝永地震	8.6	-	8.9	-	-	8.4
1854/7/23	安政東海地震	8.4	-	8.6	-	-	8.3
1854/7/24	安政南海地震	8.4	-	8.7	-	-	8.3
1931/11/2	日向灘	7.1	-	-	-	7.9	7.3
1941/11/19	日向灘	7.2	-	-	-	8.0	7.6
1944/12/7	昭和東南海地震	7.9	-	8.2	-	8.1	8.1
1946/12/21	昭和南海地震	8.0	-	8.4	-	8.3	8.1
1961/2/27	日向灘	7.0	-	-	-	7.5	7.5
1968/4/1	日向灘	7.5	-	-	-	7.5	7.7
1984/8/7	日向灘	7.1	-	-	-	6.9	6.9
2004/9/5	三重県南東沖	7.1	7.3	-	7.2	7.2	-
2004/9/5	三重県南東沖	7.4	7.5	-	7.4	7.4	-
2009/8/11	駿河湾	6.5	6.3	-	6.2	6.7	-

表1 南海トラフにおける過去の地震のマグニチュード比較

- (※1)Mのうち、宝永地震、安政東海地震、安政南海地震は日本被害地震総覧(2013)によるマグニチュード、その他は気象庁マグニチュード(Mj)を示す。また、Mwはモーメントマグニチュード、Mtは津波マグニチュードを示す。
- (※2)Mw(中央防災会議)は、「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告」(2015年)による。ここで求められた津波断層モデルを紀伊半島の三重県と和歌山県の県境付近を境界に東側、西側に分けて、それぞれの地震モーメントからMwを算出した(下表参照)。

	全体	西側	東側
宝永	8.87	8.76	8.53
安政	8.84	8.71	8.55
昭和	8.51	8.41	8.17

- (※3)Mtのうち、宝永地震、安政東海地震、安政南海地震は阿部(1988)「津波マグニチュードによる日本付近の地震津波の定量化」(東京大学地震研究所彙報,63)、その他は阿部(1999)「遡上高を用いた津波マグニチュードMtの決定」(日本地震学会地震第2輯,52)による。
- (※4)図6「南海トラフにおける過去の地震発生」の吹き出しに記載されているマグニチュードを赤字で示している。

試算に用いたモデル

ある時刻(t_i)に対象領域内である規模 (M_i) の地震が発生した後の
 対象領域内での、ある時間(t)における一定規模(M)以上の地震発生レート 【Ogata, 1988 等】

$$\lambda(t, M) = \underbrace{\mu}_{\text{背景地震活動}} + \sum_i \underbrace{K e^{\alpha(M_i - M_c)}}_{\text{先行地震規模による影響の大きさ}} \underbrace{/(t - t_i + c)^p}_{\text{時間変化}} \underbrace{10^{-b(M - M_c)}}_{\text{規模別頻度分布}}$$

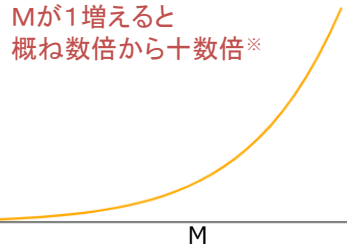
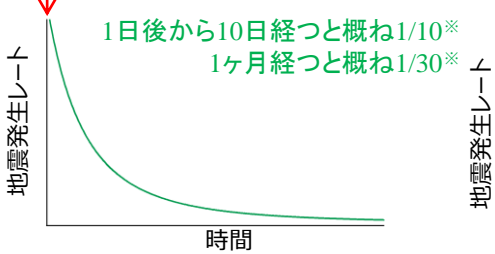
空間分布は考慮しない(時空間ETASモデルの λ を対象領域の面積で積分したような形)

- λ を対象範囲で積分することにより、先行地震後一定期間内で M 以上の地震発生回数の期待値を計算
- 地震の発生がポアソン分布に従うとして、期間内に少なくとも1回の地震が発生する確率を算出

試算モデルが表現する一般的な地震の特徴 ※を付した値は典型的なパラメータによる概算値であり活動により値は前後する。

◆地震発生後の地震活動の時間変化 + 地震規模による影響

先行地震発生

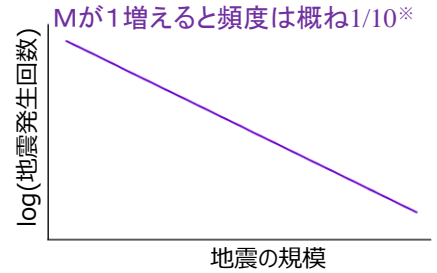


$$v(t - t_i, M_i) = K e^{\alpha(M_i - M_c)} / (t - t_i + c)^p$$

K, c, p は地震発生レートの時間変化を表すパラメータ
 M_c はパラメータ推定に用いるデータの下限規模
 α は地震発生レートの先行地震規模依存性を表すパラメータ

- ある地震が発生した後は、別の地震が発生しやすい。
- 影響の大きさは地震の規模による。

◆地震の規模別頻度分布



$$\log N(M) = A - bM$$

$N(M)$ はある規模(M)以上の地震の総数
 A, b は地震の規模別頻度分布を表すパラメータ

- 規模の小さな地震ほど発生回数が多い。

使用したパラメータ

以下の2つの領域、期間について一元化カタログからパラメータを推定した。

- 1923~2017年、南海トラフ巨大地震の想定震源域内、深さ90km以浅
- 1926~2010年、日本全国およびその周辺(北緯30~47度、東経128~149度)、深さ65km以浅 (Ogata and Zhuang(2006)の領域Cに対応)

南海トラフ巨大地震の想定震源域



	南海トラフ	日本周辺
地震回数	980	5975
b	0.822	0.913
M_c	4.45	4.95
μ	0.00766	0.0581
K	0.0103	0.0174
c	0.0122	0.0267
α	1.63	1.68
p	0.983	1.07

試算に用いたモデル【尾形, 2015】

空間分布も考慮

ある時刻(t_i)に場所(x_i, y_i)である規模 (M_i) の地震が発生した後の、
ある時刻(t)ある場所(x, y)における単位面積当たり一定規模(M)以上の地震発生レート

$$\lambda(t, x, y, M) = \left\{ \underbrace{\mu(x, y)}_{\text{背景地震活動 (試算では}\mu=0\text{を仮定)}} + \sum_i \underbrace{\left[\underbrace{\nu(t-t_i)}_{\text{時間変化}} \cdot \underbrace{g(x-x_i, y-y_i; M_i)}_{\text{空間分布}} \right]}_{\text{規模別頻度分布}} \right\} 10^{-b(M-M_c)}$$

背景地震活動
(試算では $\mu=0$ を仮定)

時間変化

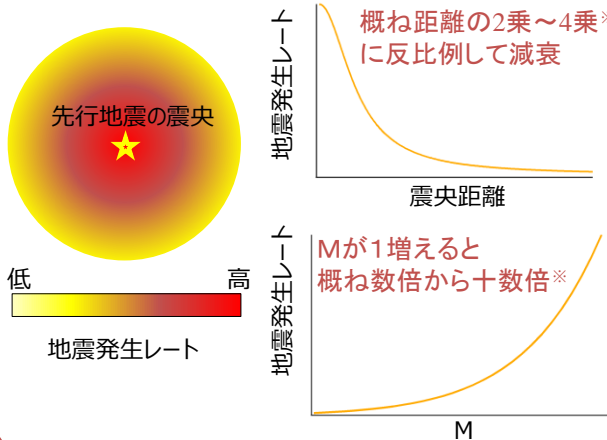
空間分布

規模別頻度分布

- λ を対象範囲で積分することにより、先行地震の影響による一定期間、一定領域内でのM (パラメータ推定に用いたデータのM下限) 以上の地震発生回数の期待値を計算
- 地震の発生がポアソン分布に従うとして、期間内に少なくとも1回の地震が発生する確率を算出

試算モデルが表現する一般的な地震の特徴

◆ 規模による影響の大きさと空間分布



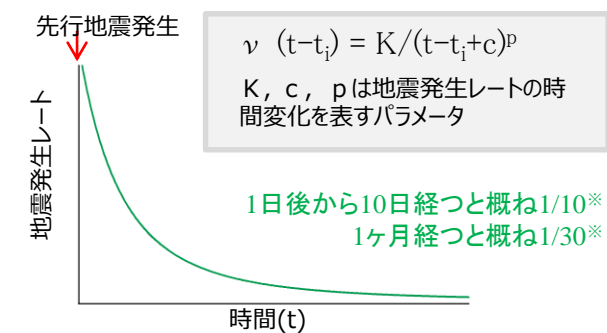
$$g(x-x_i, y-y_i; M_i) = e^{(\alpha-\gamma)(M_i-M_c)} \cdot \left\{ \frac{((x-x_i)^2 + (y-y_i)^2)}{e^{\gamma(M_i-M_c)} + d} \right\}^{-q}$$

【Ogata and Zhuang, 2006】

M_c はパラメータ推定に用いるデータの下限規模
 α, γ, d, q は地震発生レートの先行地震規模依存性や空間分布を表すパラメータ

- ある地震が発生した後は、その周辺で別の地震が発生しやすい。
- 影響の大きさや範囲は地震の規模による。

◆ 地震発生後の地震活動の時間変化



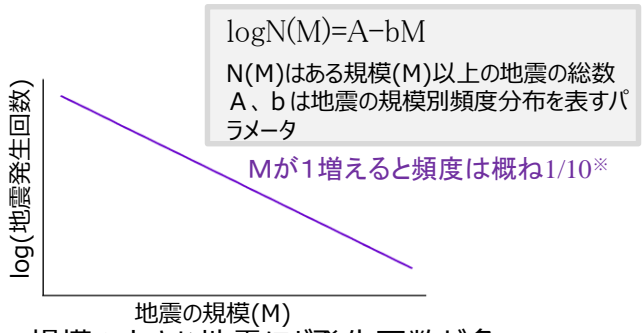
$$\nu(t-t_i) = K/(t-t_i+c)^p$$

K, c, p は地震発生レートの時間変化を表すパラメータ

1日後から10日経つと概ね1/10※
1ヶ月経つと概ね1/30※

- ある地震が発生した後は、別の地震が発生しやすい。

◆ 地震の規模別頻度分布 (GR則)



$$\log N(M) = A - bM$$

$N(M)$ はある規模(M)以上の地震の総数
 A, b は地震の規模別頻度分布を表すパラメータ

Mが1増えると頻度は概ね1/10※

- 規模の小さな地震ほど発生回数が多い。

※を付した値は典型的なパラメータによる概算値であり活動により値は前後する。

使用したパラメータ

Ogata and Zhuang(2006)による日本全国及びその周辺 (C領域) の震源データに基づくパラメータを使用。GR則のb値については、同期間、同領域の一元化カタログから推定した。

The MLEs of space-time ETAS model fitted to the three datasets 1926-1995

Model	$\hat{\nu}$	\hat{K}	\hat{c}	$\hat{\alpha}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\rho}$	\hat{d}	\hat{q}	AIC
Unit	Events/day/degree ²		Days	Magnitude ⁻¹			Degrees ²		

All Japan data (Region C) $M \geq 5.0$, 4586 events

(10)	0.134×10^{-3}	0.468×10^{-4}	0.186×10^{-1}	1.644	1.183	1.026	0.394×10^{-2}	1.800	-1435.0
------	------------------------	------------------------	------------------------	-------	-------	-------	------------------------	-------	---------

日本全国及びその周辺 : $b=0.92$

図3b 時空間ETASモデルによる試算の概要

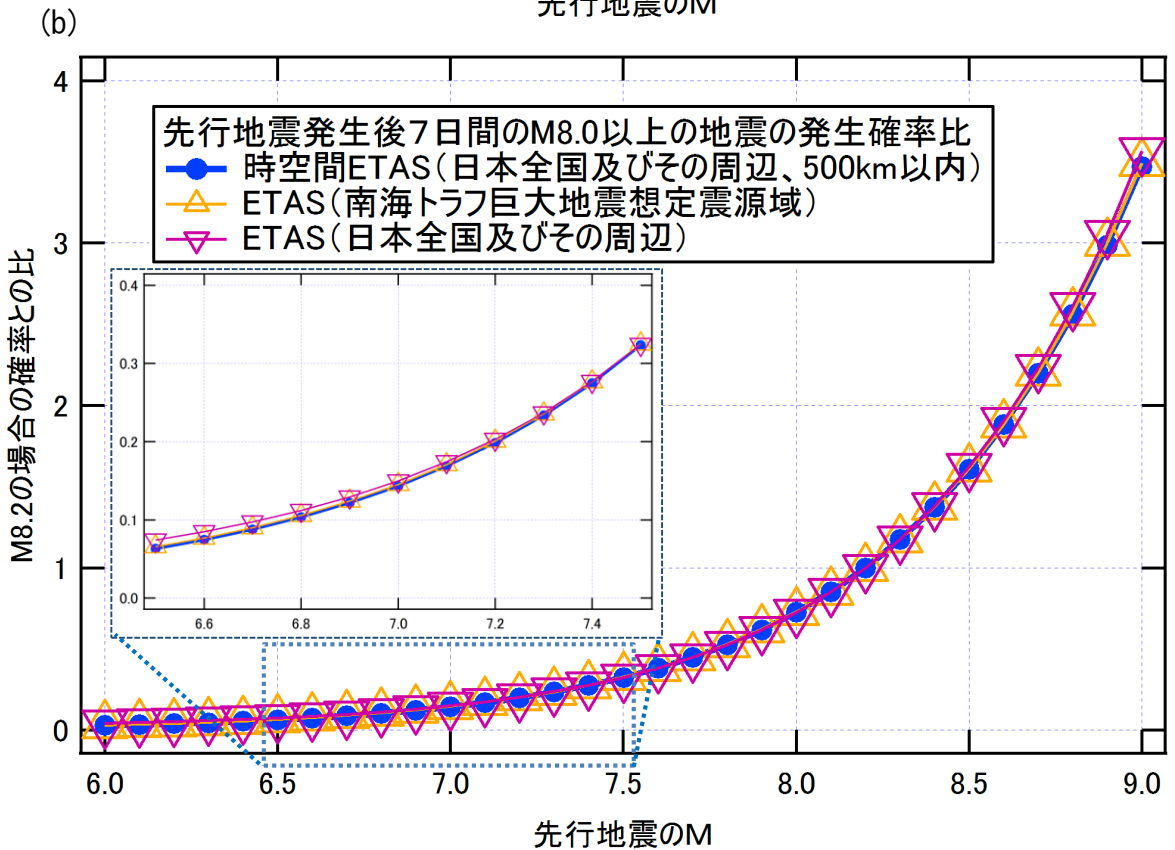
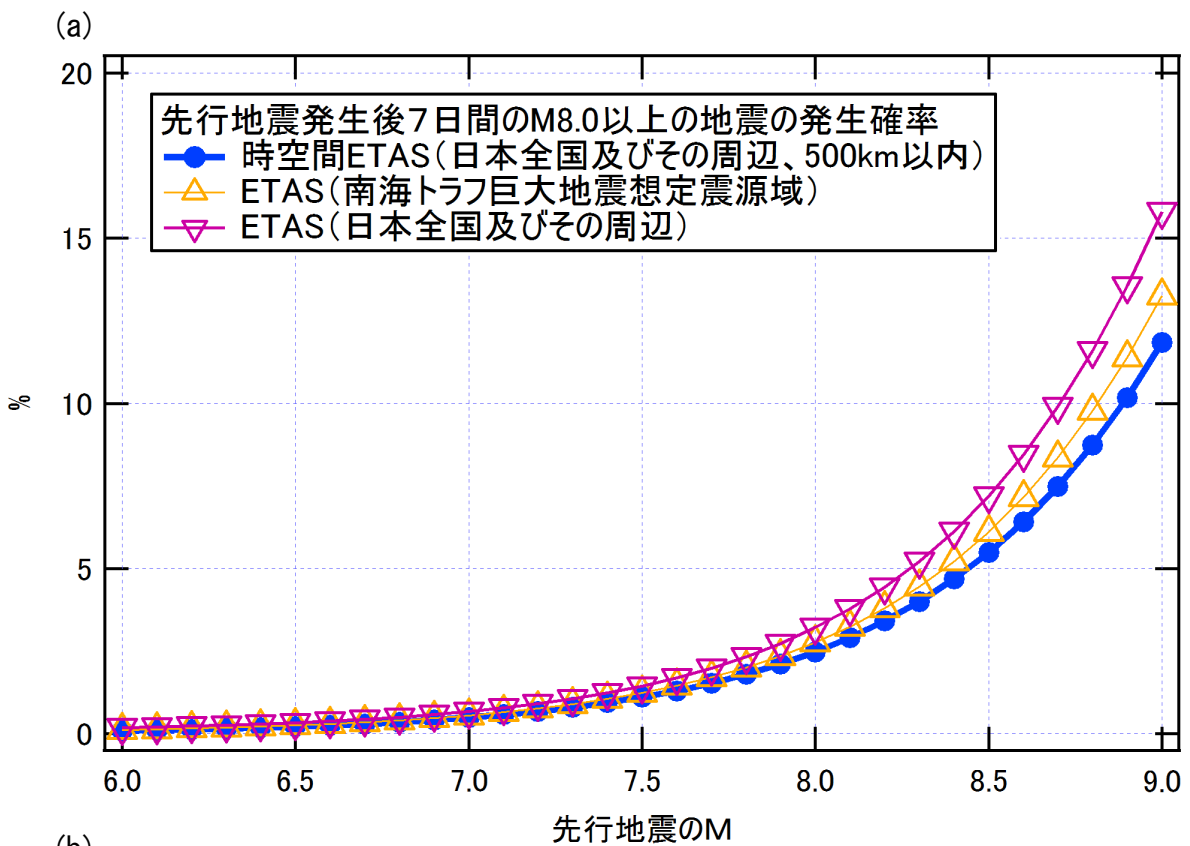


図3 c (a) ETASによる先行地震から500km以内での7日間以内の地震発生確率の先行地震規模別の試算結果。
 (b) (a)の発生確率を、各モデルで先行地震がM8.2の場合の発生確率との比としてプロットしたもの。
 先行地震がM6.5~M7.5の範囲の拡大図を图中的点線枠内に示している。

時間・空間に依存するETASにおける先行地震周辺の地震発生レートの空間分布(g)についての2つのモデル

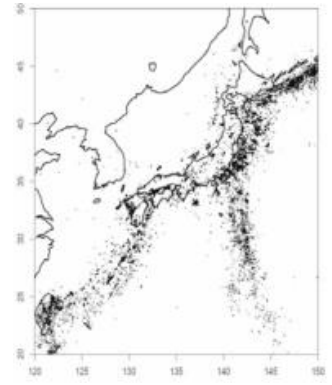
モデル1 【Ogata, 2011】

$$g(x,y;M) = \{(x^2+y^2)/e^{\alpha(M-Mc) + d}\}^{-q}$$

Ogata (2011)による2セットのパラメータを使用

Table 1. Estimates of the models applied to the $M \geq 4$ data.

Model unit	μ events/day/deg ²	K events/day/deg ²	c days	α 1/mag	p —	d deg ²	q —	AIC, ABIC
Space-Time ETASiso	7.77E-05	9.63E-05	1.24E-03	1.197	0.853	2.32E-04	1.415	47972.0
モデル1 (M4以上)	データ期間 2002年~2008年、 $M \geq 4$ 、 $b=0.86$							
Space-Time ETASiso	7.97E-06	8.79E-05	4.48E-03	1.257	0.891	4.88E-03	1.763	81893.7
モデル1 (M5以上)	データ期間 1926年~2008年、 $M \geq 5$ 、 $b=0.90$							



同じデータを用いた推定では、モデル1よりもモデル2の方がAIC小
【Ogata and Zhuang, 2006】

本検討における、南海トラフ沿いの領域についての時空間ETASモデルによる試算には、モデル2(C) (日本全国及びその周辺)を使用

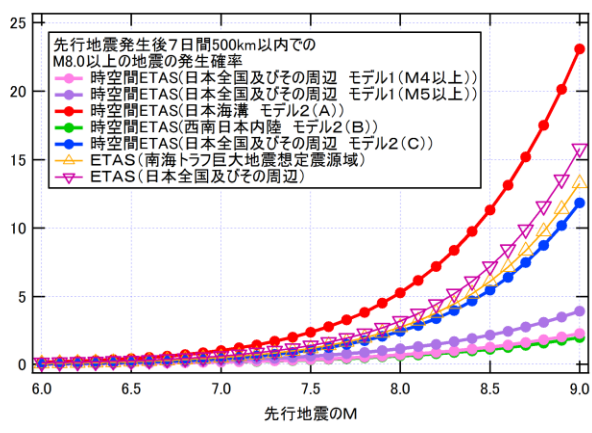
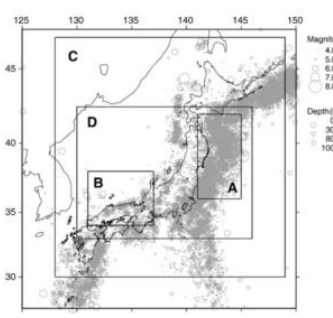
モデル2 【Ogata and Zhuang, 2006】

$$g(x,y;M) = e^{(\alpha-\gamma)(M-Mc)} \cdot \{(x^2+y^2)/e^{\gamma(M-Mc) + d}\}^{-q}$$

Ogata and Zhuang(2006)による3のパラメータセットを使用

The MLEs of space-time ETAS model fitted to the three datasets 1926-1995

Model	$\hat{\nu}$	\hat{K}	\hat{c}	$\hat{\alpha}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{\rho}$	\hat{d}	\hat{q}	AIC
Unit	Events/day/degree ²	Days	Magnitude ⁻¹	—	—	Degree ²	—	—	—
Off the east coast of Tohoku District (Region A) $M \geq 4.5$, 4333 events									
モデル2 (A)	0.134×10^{-3}	0.402×10^{-4}	0.243×10^{-1}	1.645	1.331	—	0.179×10^{-2}	1.648	-1057.6*
Central and western Honshu (Region B) $M \geq 4.0$, 3007 events									
モデル2 (B)	0.953×10^{-4}	0.524×10^{-4}	0.878×10^{-2}	1.103	0.802	—	0.416×10^{-3}	1.580	-675.1*
All Japan data (Region C) $M \geq 5.0$, 4586 events									
モデル2 (C)	0.134×10^{-3}	0.468×10^{-4}	0.186×10^{-1}	1.644	1.183	—	0.394×10^{-2}	1.800	-1435.0



先行地震M8.2の場合との比

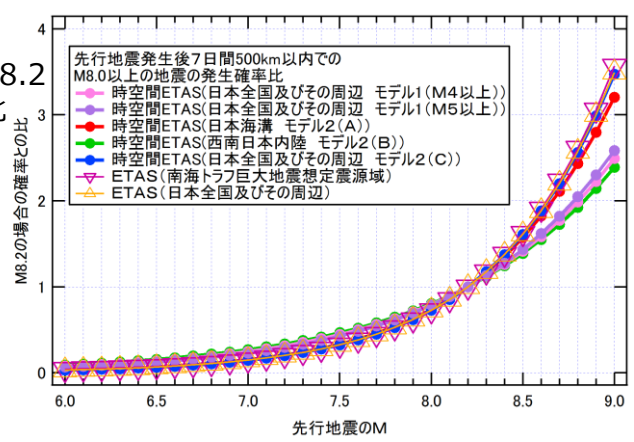


図3 (参考図) ETASに関わる複数のモデルやパラメータセットとそれらを用いた先行地震発生後7日間の地震発生確率、各モデルで先行地震がM8.2の場合の発生確率に対する比の試算結果。

Mw	想定震源域のうち紀伊半島以西に対する面積比 ※括弧内はMw8.2に対する比	想定震源域のうち紀伊半島以東に対する面積比 ※括弧内はMw8.2に対する比	地震モーメント (Mw8.2の値に対する比)	ETASによる1週間以内M8クラスの発生確率 (Mw8.2の値に対する比)
8.2	38% (1.00)	75% (1.00)	1	1
8.1	30% (0.79)	60% (0.79)	0.71	約0.85
8.0	24% (0.63)	47% (0.63)	0.50	約0.73
7.9	19% (0.50)	38% (0.50)	0.35	約0.62
7.8	15% (0.40)	30% (0.40)	0.25	約0.53
7.7	12% (0.32)	24% (0.32)	0.18	約0.45

Mw	想定震源域のうち紀伊半島以西に対する面積比 ※括弧内はMw8.2に対する比	想定震源域のうち紀伊半島以東に対する面積比 ※括弧内はMw8.2に対する比	地震モーメント (Mw8.2の値に対する比)	ETASによる1週間以内M8クラスの発生確率 (Mw8.2の値に対する比)	1923年以降に発生した基準Mを越える地震事例(東南海、南海以外はMj)
8.2	38% (1.00)	75% (1.00)	1.0	1.00	2
8.0	24% (0.63)	47% (0.63)	0.5	約0.73	2
7.5	7.6% (0.20)	15% (0.20)	0.09	約0.32	3
7.0	2.4% (0.06)	4.7% (0.06)	0.02	約0.14	9
6.5	0.8% (0.02)	1.5% (0.02)	0.003	約0.06	25

表2 Mwの変化に伴う、破壊域の面積、地震のエネルギー、ETASによる後発地震の発生確率等の変化

面積比の求め方:「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告」(2015年)で求められた昭和東南海と昭和南海地震をあわせた津波断層モデルのうち、三重県と和歌山県の県境付近を境界に、これより東側部分の面積(22611km²)を基準に、昭和東南海地震をMw8.2と仮定し、スケーリング則で各Mwでの面積を算出。これを想定震源域のうち深さ10-30km部分の面積(紀伊半島より西側:59397km²、同東側:30125km²)と比較。ETASは、時間・空間に依存するモデルによる1週間以内に500km以内でM8.0以上が発生する確率の値を記載。

	全割れケース	紀伊半島以西での半割れケース	紀伊半島以東での半割れケース
宝永	82% (90%)	81% (93%)	85%
安政	89% (98%)	83% (96%)	100%
昭和	67% (81%)	63% (86%)	75%

表3 過去に発生した南海トラフの大規模地震の破壊域の面積比
 ※主部(深さ10-30km)における面積比。括弧内は日向灘を除いた場合。

※「全割れケース」は「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告」(2015年)で求められた各津波断層モデルの破壊域のうち深さ10-30kmの部分の面積を、想定震源域のうち深さ10-30kmの部分の面積で割った値。
 「半割れケース」は上記破壊域のうち、三重県と和歌山県の県境付近を境界に以東・以西それぞれの部分の面積を、想定震源域のうち深さ10-30kmの部分の三重県と和歌山県の県境付近を境界に以東・以西それぞれの部分の面積で割った値。

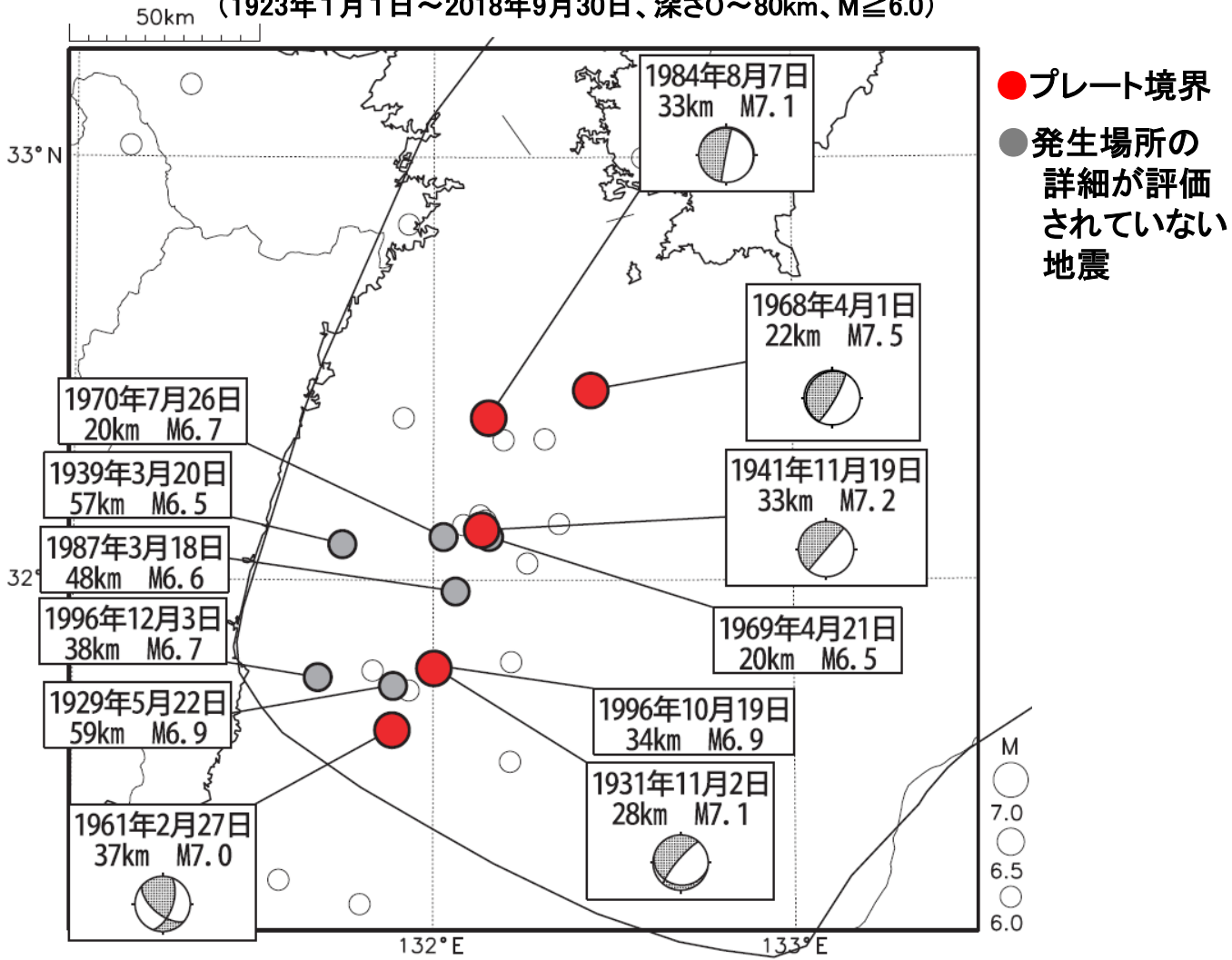
(参考)過去の南海トラフの大規模地震の破壊域の面積

10-30km		東+西	西	東	0-40km		東+西	西	東
		89522	59397	30125			144379	95609	48770
宝永	東+西	73592	82%		宝永	東+西	74524	52%	
宝永	西	47854	53%	81%	宝永	西	47854	33%	50%
宝永	東	25738	29%	85%	宝永	東	26670	18%	55%
安政	東+西	79316	89%		安政	東+西	80661	56%	
安政	西	49165	55%	83%	安政	西	49165	34%	51%
安政	東	30151	34%	100%	安政	東	31496	22%	65%
昭和	東+西	60209	67%		昭和	東+西	60208	42%	
昭和	西	37598	42%	63%	昭和	西	37598	26%	39%
昭和	東	22611	25%	75%	昭和	東	22611	16%	46%
10-40km		東+西	西	東	10-30km		東+西	西	東
		109725	73774	35950	日向灘除く		74090	43965	30125
宝永	東+西	73592	67%		宝永	東+西	66800	90%	
宝永	西	47854	44%	65%	宝永	西	41062	55%	93%
宝永	東	25738	23%	72%	宝永	東	25738	35%	85%
安政	東+西	79317	72%		安政	東+西	72525	98%	
安政	西	49165	45%	67%	安政	西	42373	57%	96%
安政	東	30151	27%	84%	安政	東	30151	41%	100%
昭和	東+西	60208	55%		昭和	東+西	60208	81%	
昭和	西	37598	34%	51%	昭和	西	37598	51%	86%
昭和	東	22611	21%	63%	昭和	東	22611	31%	75%

※表3の作成のために求めた破壊域の面積、及びこの面積の想定震源域の面積に対する比率。表3以外に、より深い震源域も含めた場合(深さ:10-40km)、津波断層域も含めた場合(深さ:0-40km)についても算出した。東西の境界は三重県と和歌山県の県境付近に設定した。面積はいずれもkm²。

震央分布図

(1923年1月1日～2018年9月30日、深さ0～80km、M \geq 6.0)



M6.5以上の地震に吹き出しをつけている。

南海トラフ想定震源域

M6.5以上の地震について、地震調査研究推進本部の評価により、発生場所が明確であるものについては「●プレート境界」と色をつけている。M6.5以上で発生場所の詳細が明確でないものは「●詳細不明」と色をつけている。

上図の南海トラフ想定震源域内の地震活動経過図

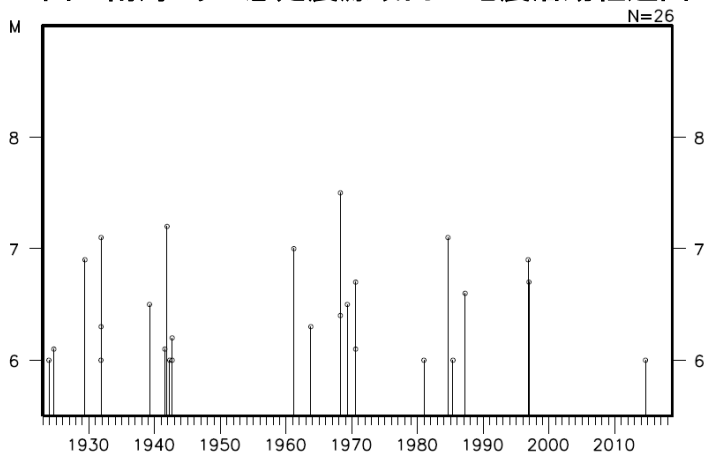
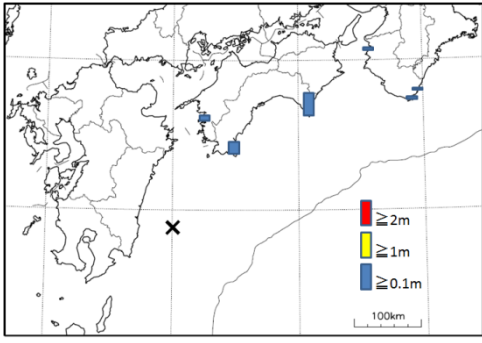
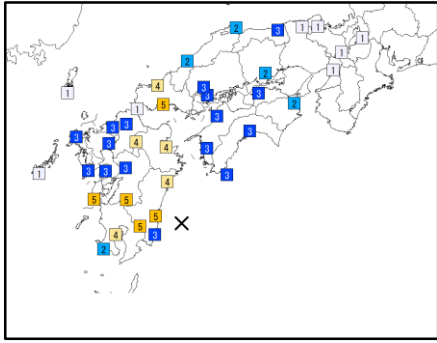
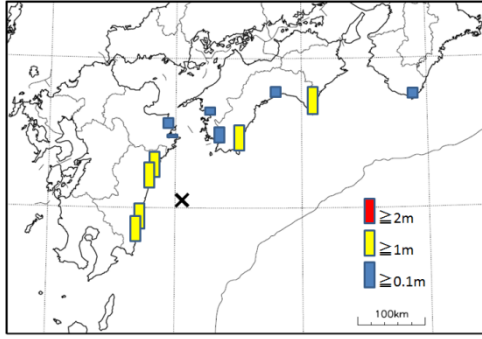
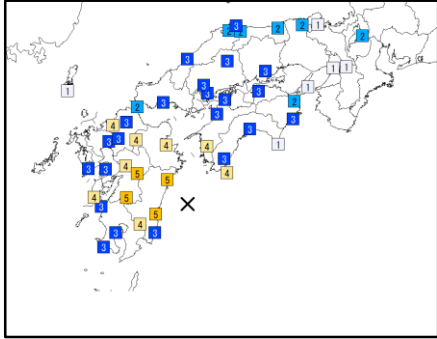


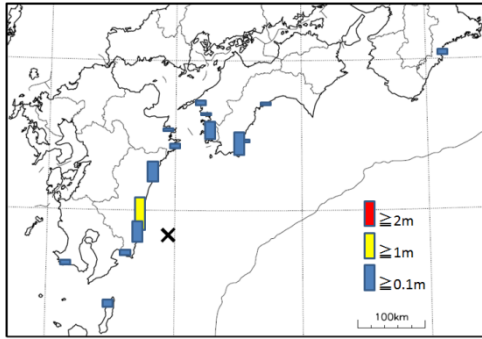
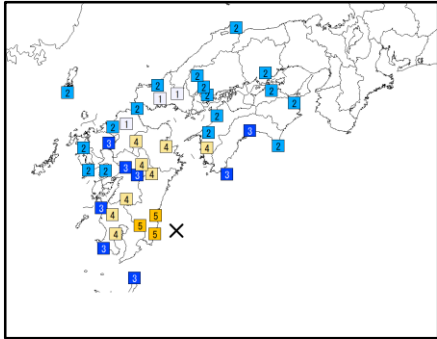
図4 日向灘における過去の地震



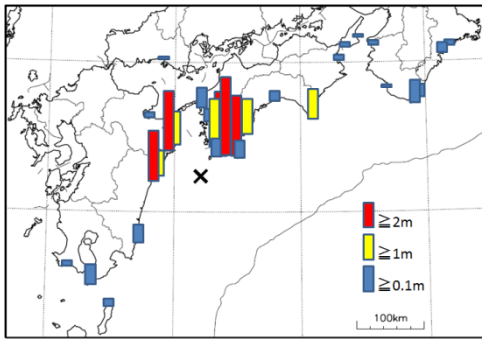
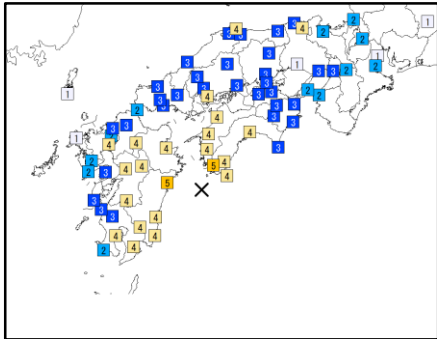
1931/11/2
Mj:7.1 Mt:7.3



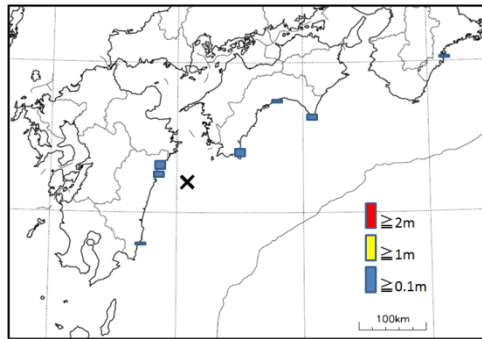
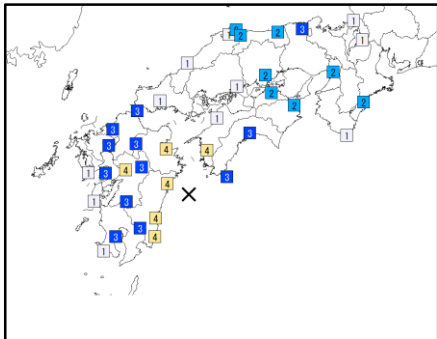
1941/11/19
Mj:7.2 Mt:7.6



1961/2/27
Mj:7.0 Mt:7.5



1968/4/1
Mj:7.5 Mt:7.7



1984/8/7
Mj:7.1 Mt:6.9

Mjは気象庁マグニチュード、Mtは津波マグニチュードを示す。

出典：渡辺 偉夫「日本被害津波総覧」、宇佐美 龍夫「日本被害地震総覧 599-2012」、阿部(1988)

津波の高さの図は、それぞれの出典のデータから気象庁で作成した。津波の高さは、検潮所および現地調査のデータが含まれており、同一地点で異なる値の場合は高い方を引用している。0.1m未満の値は0.1mとして表示している。

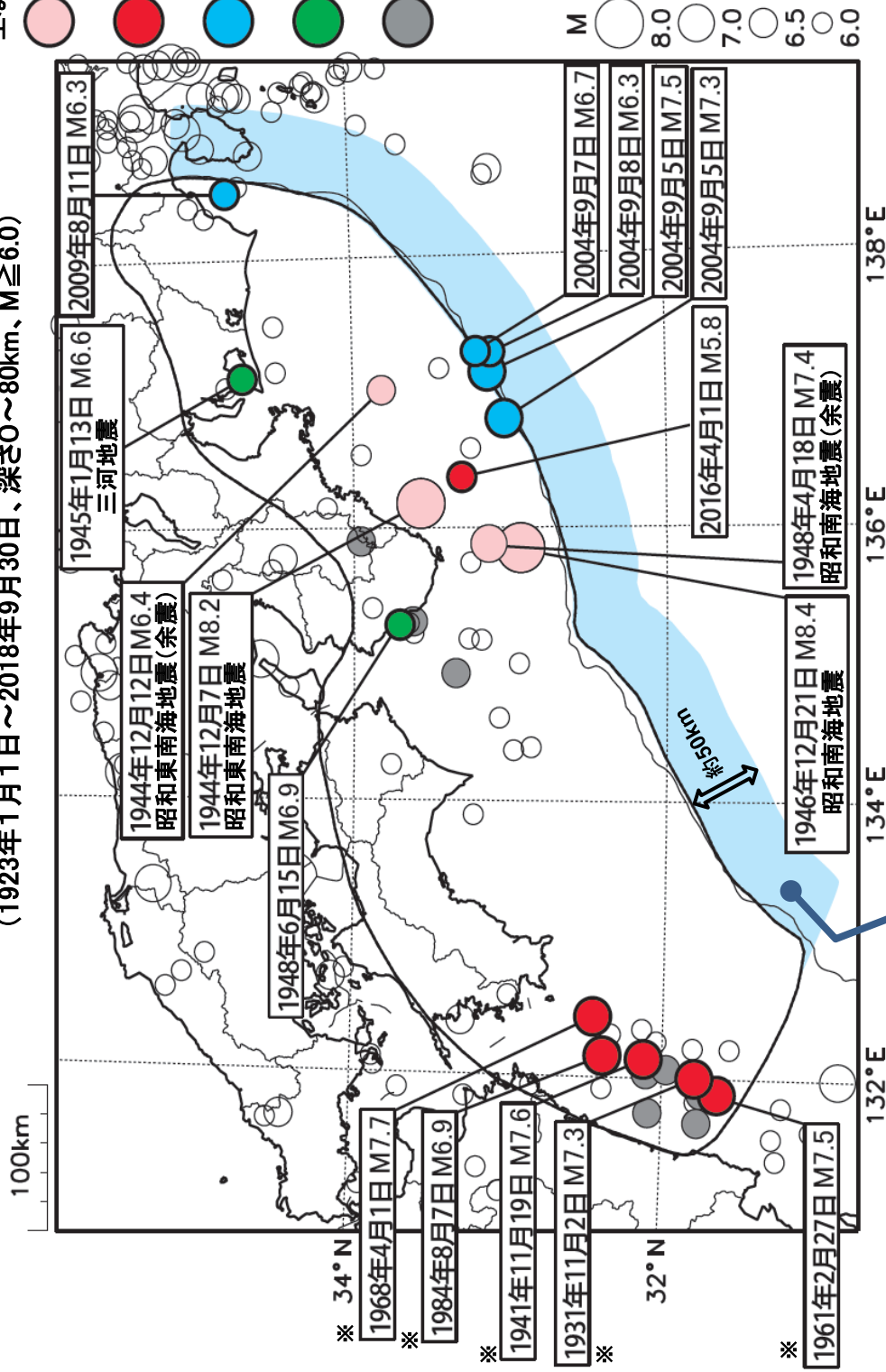
図5 日向灘で発生したM7以上の地震の震度分布・津波観測値

震央分布図

(1923年1月1日～2018年9月30日、深さ0～80km、M \geq 6.0)

南海トラフ想定震源域周辺の
主な地震の評価

- 昭和東南海・南海地震
およびその余震
- プレート境界
- フィリピン海
プレート内部
- 地殻内
- 発生場所の詳細が
評価されていない地震



海溝軸外側で発生した地震のうち、一部割れケースの地震と同様に取り扱い領域。

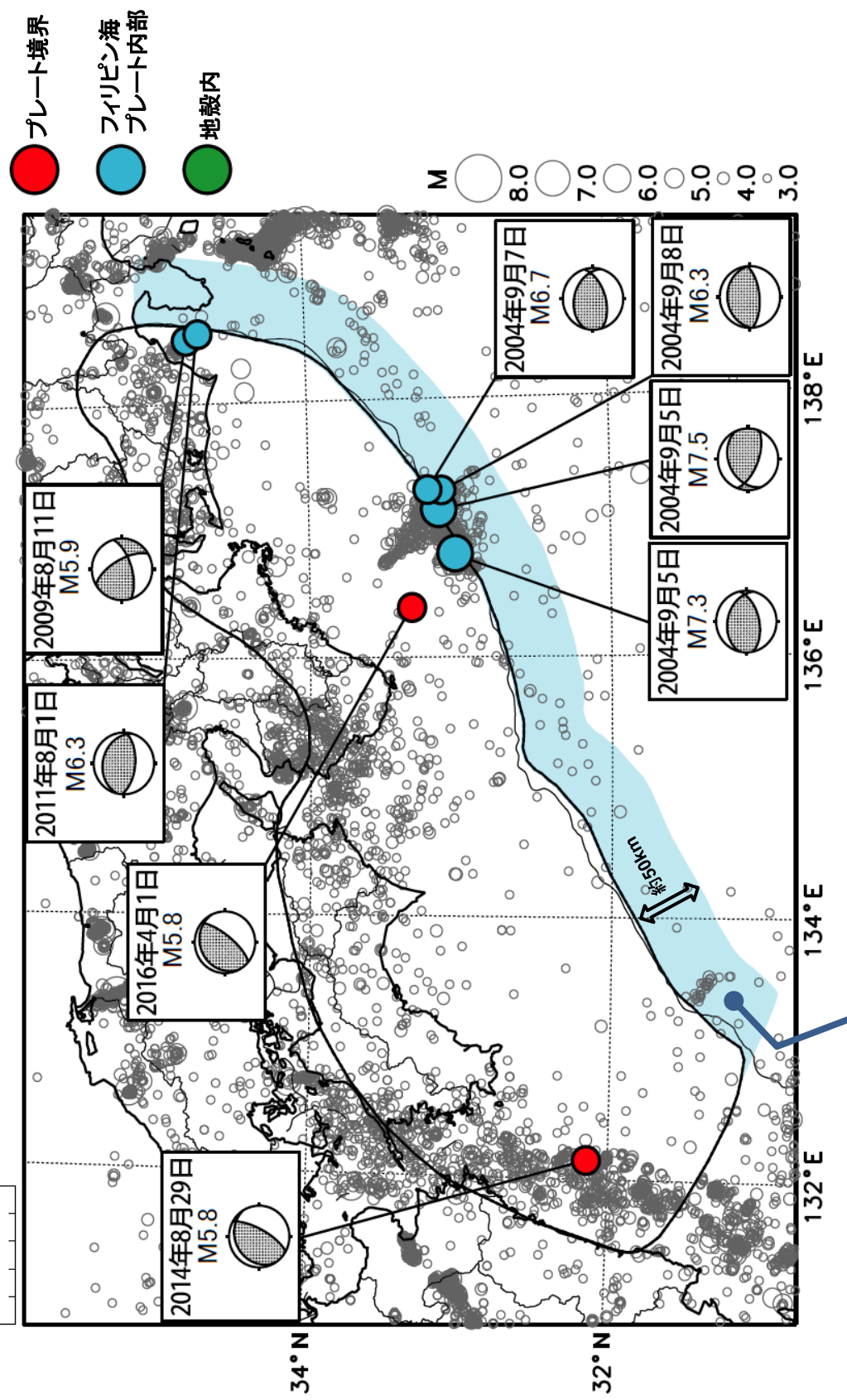
南海トラフ想定震源域周辺の地震について、地震調査研究推進本部の評価等により発生場所が明確であるものについては「●プレート境界」「●フィリピン海プレート内」「●地殻内」と色をつけている。発生場所の詳細が明確でないものは「●詳細不明」と色をつけている。
吹き出しを付けた地震のマグニチュードは気象庁で求めたMwもしくはISCJEM5.1のMwを示している。※が付されている地震のMは津波マグニチュードを用いた。
2016年4月1日の地震(Mw5.8)はプレート境界で発生した地震のため参考を示している。
周辺領域で発生する地震については、過去の海溝軸外側の地震が発生している領域を踏まえ、想定震源域の外側50km程度まで拡張した範囲を示している。

図6 南海トラフにおける過去の地震発生

南海トラフ想定震源域周辺の
主な地震の評価

震央分布図

(1997年10月1日～2018年9月30日、深さ0～80km、 $M \geq 3.0$)



海溝軸外側で発生した地震のうち、一部割れケースの地震と同様に取り扱う領域。

南海トラフ想定震源域周辺の地震について、地震調査研究推進本部の評価等による発生場所が明確であるものについては「●プレート境界」「●フィリピン海プレート内」と色をつけている。
吹き出しを付けた地震のマグニチュードは気象庁で求めたMwを示している。発震機構解は気象庁のCMPT解を用いている。
周辺領域で発生する地震については、過去の海溝軸外側の地震が発生している領域を踏まえ、想定震源域の外側50km程度まで拡張した範囲を示している。

図7 南海トラフにおける最近の地震発生状況

●ISC-GEM ver.5.1による同規模地震連発後のM8.0以上の地震の続発事例の割合と、時空間ETASによる期待値の比較

地震群の抽出規模範囲 (Mmin-Mmax)	地震群総数	M8.0以上続発事例		時空間ETASによる期待値※	
		事例数	%	事例数	%
M7.0-7.9	51	1	1.96	0.82	1.61
M6.0-6.9	909	4	0.44	2.8	0.31
M6.0-7.9	1135	6	0.53	5.1	0.45

(参考) 単発地震後の続発事例

	総数	M8.0以上続発事例		時空間ETASによる期待値※	
		事例数	%	事例数	%
M8.0以上 単発	103	3	2.91	4.4	4.27
M7.0-M7.9 単発	1334	9	0.67	11.4	0.85

※時空間ETASによる試算結果は、日本全国及びその周辺のデータに基づくパラメータセットを使用し、各地震群中の地震は全てほぼ同じ場所で発生したと仮定して、500km以内、地震群の最後の地震発生から7日以内の範囲でのM8.0以上の地震発生回数の期待値を計算、全ての地震群についての計算結果を足し合わせたもの。

●本検討における過去の世界の地震データからの地震群の抽出方法

- ・一定範囲の規模 (Mmin~Mmax) の地震を地震群の構成要素とする。
 - ・地震群中の全ての地震の組合せで震央距離は500km以内とする。
 - ・地震群中の前後の地震との発生時間差は3日以内とする。
 - ・続発地震規模 (M8.0以上) の地震が、地震群中の全ての地震との震央距離500km以内、時間差3日以内で発生した場合、それ以降の地震は別の地震群の構成要素とする。
- (下の概念図では、4つの地震群が抽出され、そのうち2つが続発事例)

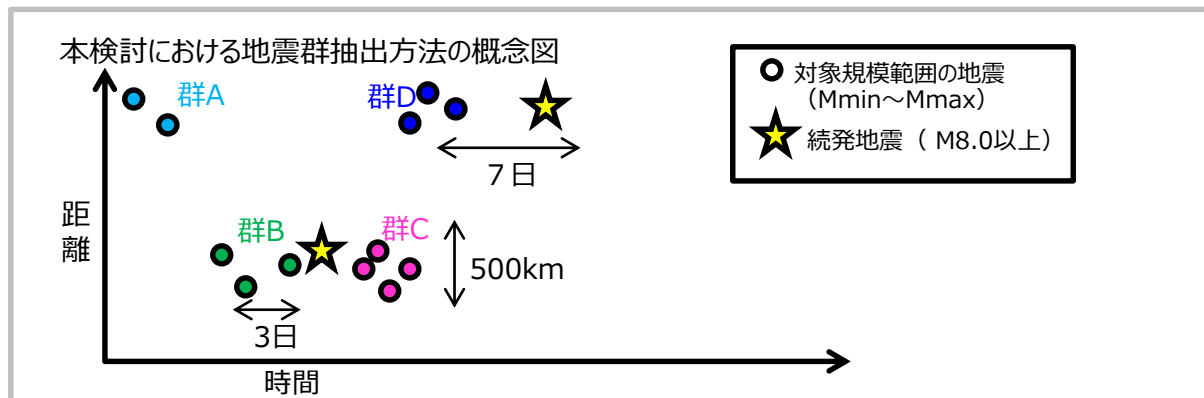
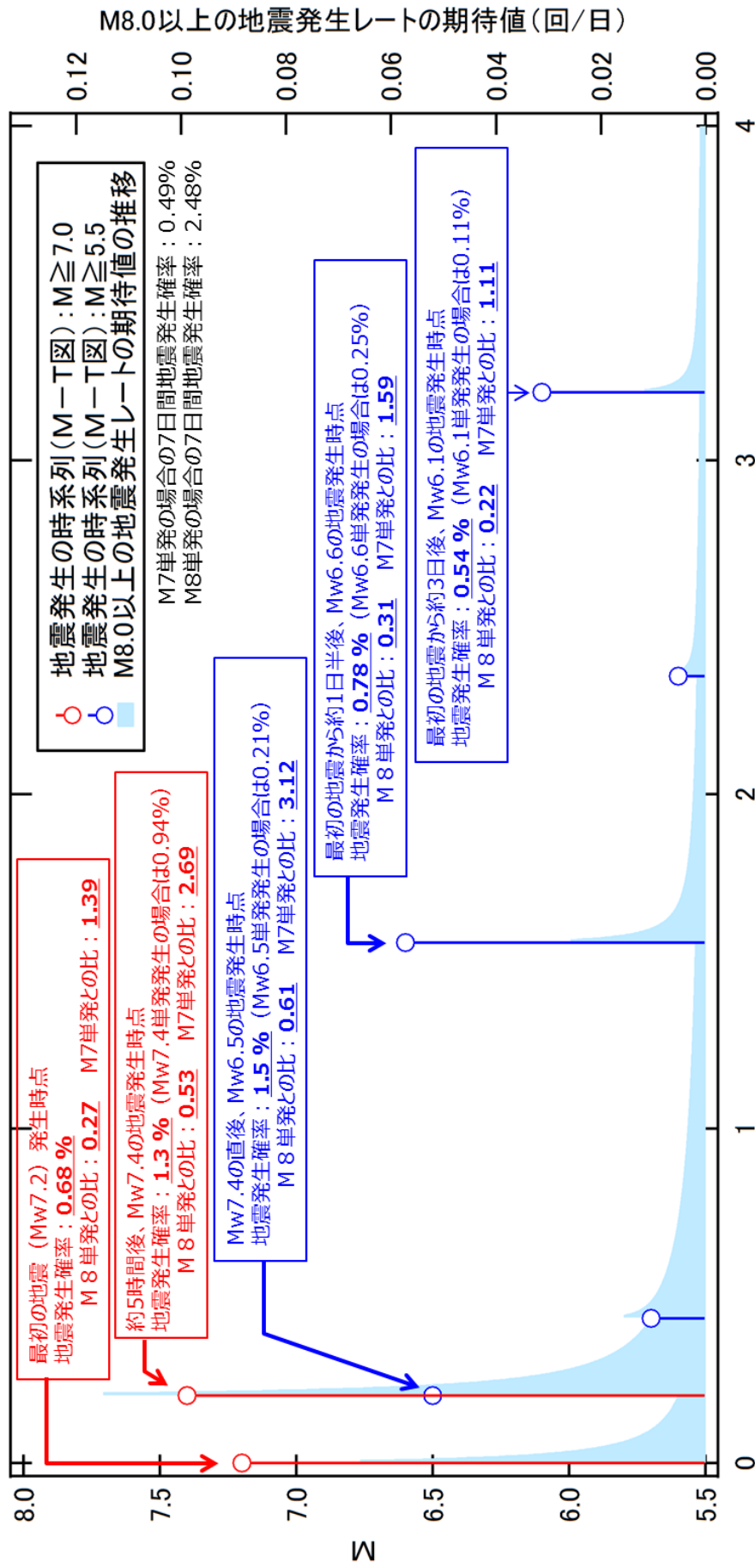


表4 過去の世界の地震の統計による同規模地震連発後のM8.0以上の地震続発事例の割合と、時空間ETASによる期待値の比較

2004年9月の紀伊半島南東沖の活動の例 (抽出した地震群の規模範囲: $M \geq 7.0$, $M \geq 5.5$)

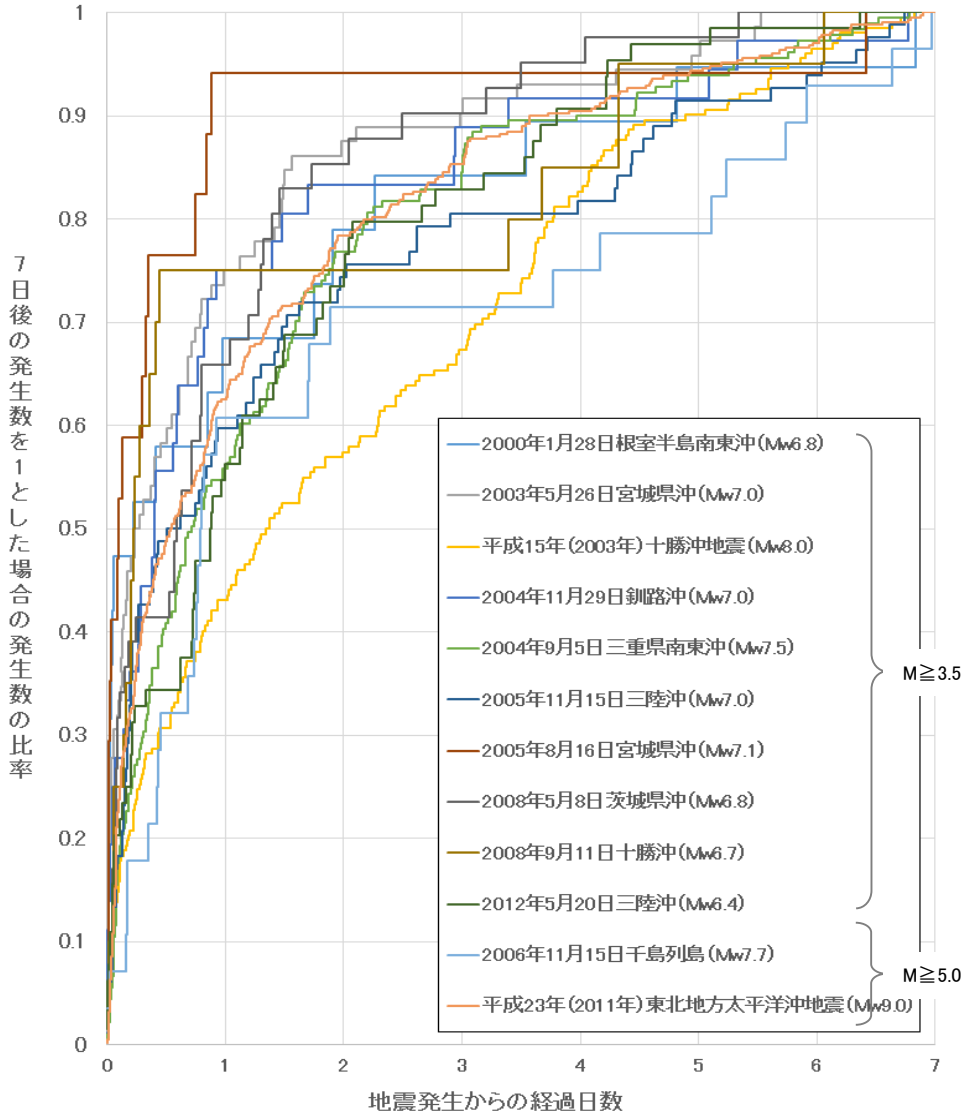


最初の地震発生からの経過時間(日)

地震発生確率は、日本全国及びその周辺のデータに基づくパラメータセットを使用した時間ETASモデルにより、地震群中の地震は全てほぼ同じ場所で発生したと仮定して、500km以内、各時点から7日以内の範囲でのM8.0以上の地震発生確率を計算したものの。なお、この例では、地震群中の最大震央距離は約53kmである。

図8 地震の発生状況に応じた地震発生確率の逐次更新イメージ (2004年9月の紀伊半島南東沖の活動の例)

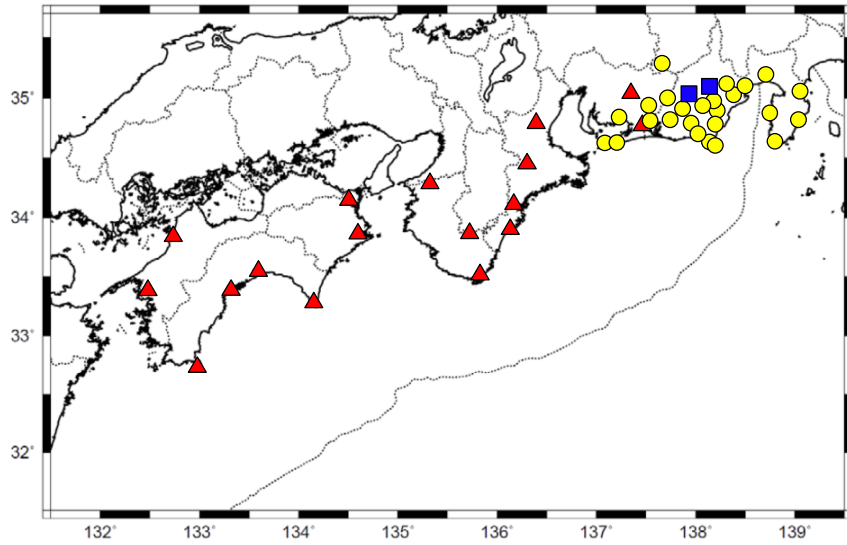
主な地震の回数比較グラフ(海域で発生した地震)



- ・地震発生から1週間の回数が1になるように規格化して表示している。
- ・平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震、2006年11月15日の千島列島の地震はM5.0以上の地震回数、その他の地震はM3.5以上の地震回数をカウントしている。

図9 主な地震の地震活動の推移

ひずみ観測点



● 気象庁観測点 ▲ 産業技術総合研究所観測点 ■ 静岡県観測点

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会(平成29年8月)に加筆

ひずみ変化のイメージ図

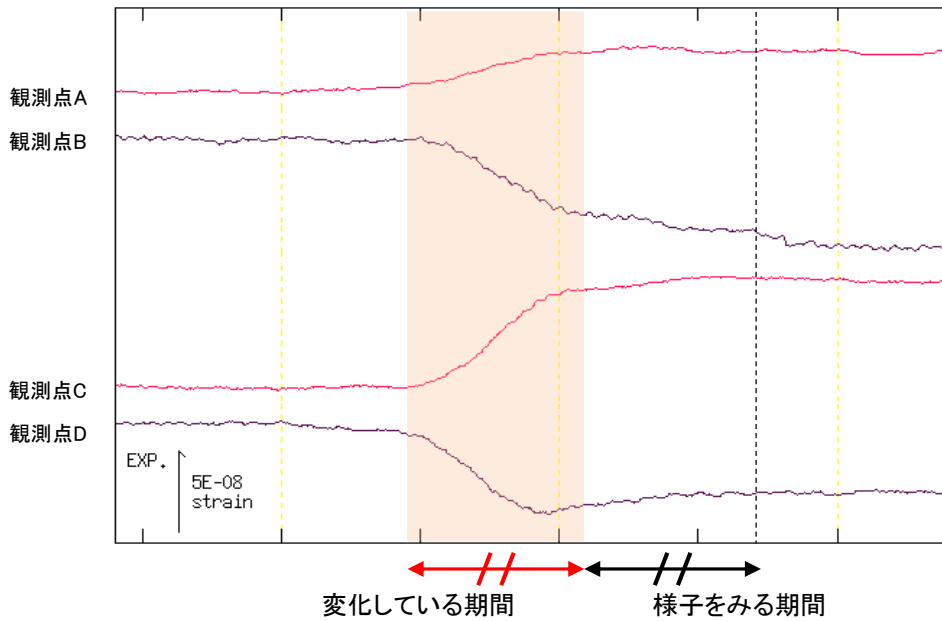


図10 ゆっくりすべり現象の始まりと終わりの判断

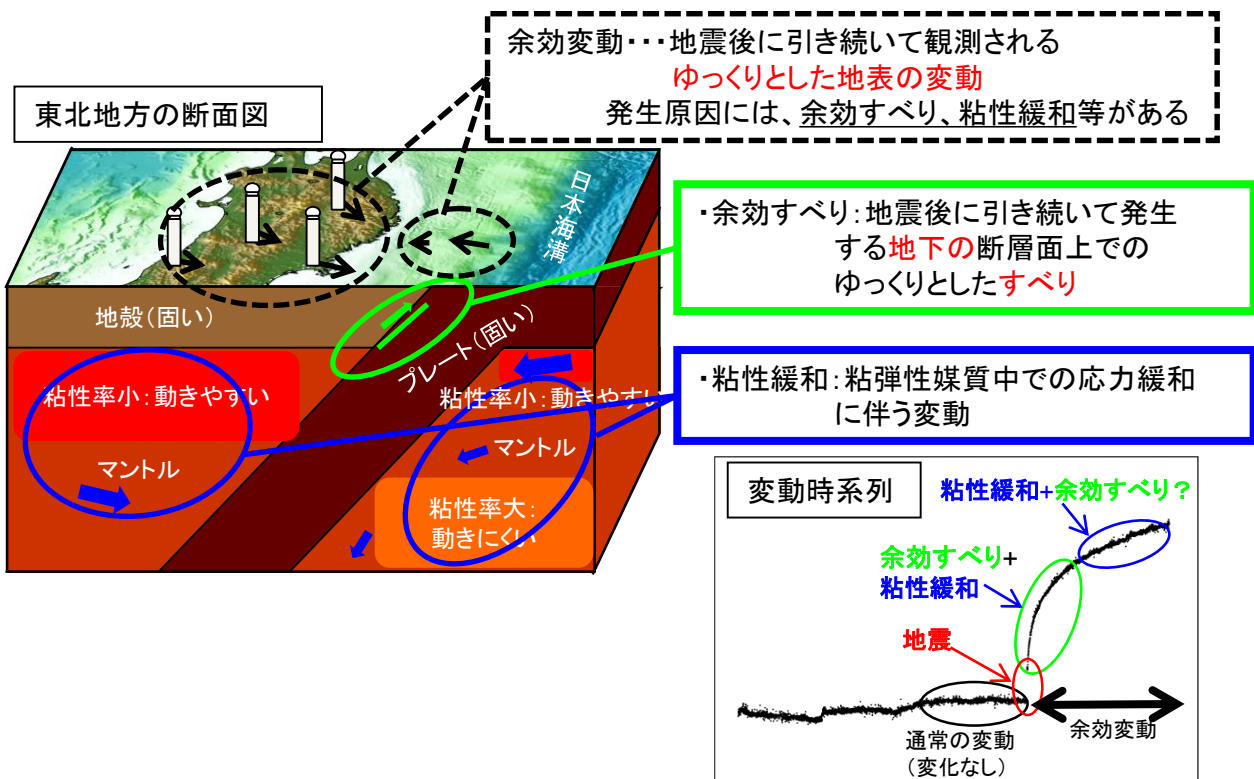
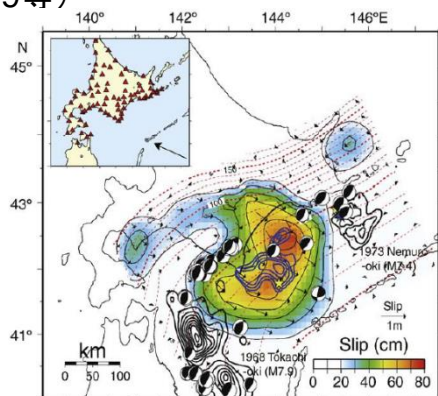


図11 余効変動と発生原因

余効すべりの把握がなぜ必要か？

【2003年十勝沖地震】

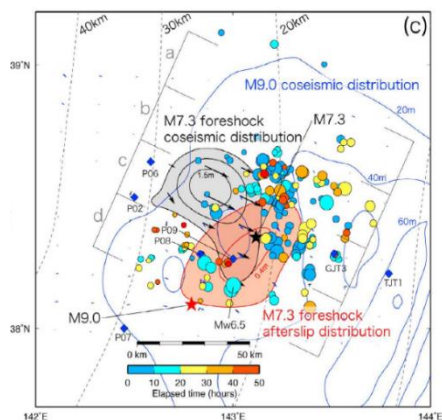
2003年十勝沖地震の余効すべり域が東深部に拡大し、2004年11月の釧路沖の地震(M7.1)の発生を促進した。(Murakami et al., 2006, Uchida et al., 2009等)



Uchida et al.(2009)

【2011年東北地方太平洋沖地震】

3月9日の最大前震の後に、余効すべりが発生。余効すべりが南東側に拡大し、本震の破壊開始点付近に至った。(Ohta et al., 2012等)

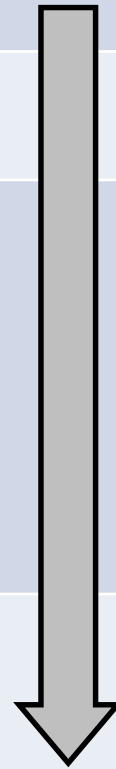


Ohta et al.(2012)

大地震発生後に、余効すべりが周辺に進展したり、加速していないかを迅速に把握することが必要

図12 余効すべり把握の必要性

地震発生からの経過時間	得られる観測データ・解析結果 (※を付したものは、精度良く結果が得られない場合がある)	公表内容	対応する情報等	防災対応	
				被災地域	それ以外の地域
0～5分程度	<ul style="list-style-type: none"> ○地震波形の自動解析による震度及び主要動到達時刻の予想(→緊急地震速報) ○2分程度の地震波形を用いた手動解析(→震源、M(マグニチュード)) ○震源、Mを用いた津波データベース検索結果(→津波警報、津波情報) ○震度観測結果 	<ul style="list-style-type: none"> ○震度 ○津波警報 ○震源、M 	<ul style="list-style-type: none"> ○緊急地震速報 ○震度速報 ○津波警報等、津波情報 ○地震情報(震源・震度に関する情報等) 	<ul style="list-style-type: none"> ○強い揺れに対する身の安全の確保 ○津波警報等に基づく避難(解除まで継続) 	暫定的な防災対応が必要か。
15分程度	<ul style="list-style-type: none"> ○W-Phase、Mw、発震機構、セントロイド ※(国内観測データによる自動解析結果) 	<ul style="list-style-type: none"> ○(必要に応じて)津波警報等の更新 	<ul style="list-style-type: none"> ○津波警報等、津波情報 		
(30分程度)	<ul style="list-style-type: none"> すべり分布(GNSSによる自動解析結果)※ 		<ul style="list-style-type: none"> ○南海トラフ地震に関連する情報(臨時:第1報) 		
(随時)	<ul style="list-style-type: none"> ○震度観測結果 ○沖合または沿岸における津波観測結果 ○Mw、発震機構、セントロイド※(国外観測データによる自動解析結果) 	<ul style="list-style-type: none"> ○地震の発生状況(震度1以上) ○津波観測結果 ○(必要に応じて)津波警報等の更新 	<ul style="list-style-type: none"> ○地震情報(震源・震度に関する情報等) ○津波情報 ○津波警報等 		
～2時間程度	<ul style="list-style-type: none"> ○震源、M※(精査した暫定震源) ○自動震源による地震活動図※(地震活動域、MT図、回数積算図等) ○Mw、発震機構、セントロイド※(手動解析結果) 	<ul style="list-style-type: none"> ○発生した地震や津波の解説、防災上の留意事項、今後の地震活動の見通し 	<ul style="list-style-type: none"> ○報道発表(記者会見) 		
最短2時間程度	<ul style="list-style-type: none"> ○すべり分布(精査したGNSS解析結果)※ ○津波波源域※ 	<ul style="list-style-type: none"> ○評価検討会における南海トラフ地震の発生可能性についての評価結果(観測及び解析結果を含む)、もしくは調査状況 	<ul style="list-style-type: none"> ○南海トラフ地震に関連する情報(臨時:第2報) ○報道発表(記者会見) 	<ul style="list-style-type: none"> ○半割れケースに対応した防災対応 	
それ以降(～1日程度)	<ul style="list-style-type: none"> ○すべり分布(震源過程解析結果)※ ○余効変動(地殻変動解析結果)※ ○暫定震源による地震活動図等 	<ul style="list-style-type: none"> ○(必要に応じて)評価検討会における南海トラフ地震の発生可能性の評価結果 ○発生した地震や津波の解説、防災上の留意事項、今後の地震活動の見通し 	<ul style="list-style-type: none"> ○南海トラフ地震に関連する情報(続報) ○随時報道発表(必要に応じて記者会見) 		



半割れケースが発生した旨の評価結果公表

表5 半割れケースが発生した場合のデータ収集、情報発表等の時間推移