

防災対応のための南海トラフ沿いの異常な現象に関する
評価基準検討部会における検討の主な論点（中間まとめ）（案）

平成 30 年 11 月 7 日

本部会では、「南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応検討ワーキンググループ」（以下、南海トラフ WG）における防災対応の検討に資するよう、防災対応をとるべき異常な現象であると判断するための基準や、関連した地震学的な観点からの留意点等について整理を行った。現時点における検討結果を報告する。

1. 過去に発生した地震の特徴について

- ・「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」（以下、調査部会）において、世界中で発生した地震事例のデータベース（ISC-GEM ver. 4）を用いて、M 8 クラスの地震発生後、隣接領域で同規模の地震が発生する頻度は、最初の地震発生直後ほど高いこと等が示された。
- ・上記の調査は余震を一部含んだものではあったことから、今回、最新の同データベース（ver. 5）を用い、いくつかの方法で余震を除去したデータセットを作成した上で同様の調査をしたところ、結果は上記調査と同じであることを確認した（図 1）。
- ・南海トラフ沿いで発生する地震の特徴として、調査部会では、「日本海溝沿いのプレート境界面に比べ、大きな破壊単位での地震の発生が想起される」と指摘している。
- ・南海トラフでの過去の地震を見ると、南海トラフで巨大な地震が発生した領域は、紀伊半島より東側の領域と西側の領域に大きく区分される。白鳳地震以降の 9 事例のうち、津波地震の可能性が高い慶長地震を除く 8 事例では、これら両領域がほぼ同時若しく

は時間差をおいて発生した事例は、白鳳、永長¹、明応を除く 5 事例（仁和、正平（康安）、宝永、安政、昭和）とされている。明らかに時間差があるとされているものに限った場合でも、8 事例のうち 3 事例（正平、安政、昭和）がある（地震調査委員会、南海トラフの地震活動の長期評価（第 2 版）、2013 年）（図 2）。

- ・一方、最近 100 年程度に発生した世界の M 8 以上の地震 103 事例のうち、隣接領域で地震が続発したと考えられるものが 11 事例ある。また、スマトラ地震や東北地方太平洋沖地震のように複数の領域が同時に、またはほぼ同時に破壊したとされる研究事例もある（図 1）。

2. 半割れケース、一部割れケースの評価基準について

（1）カテゴリー分け

- ・南海トラフ WG での防災対応は、南海トラフの過去の事例をもとに、
 - ①「南海トラフの東側（または西側）の領域で大規模地震（M 8 クラス）が発生し、残り領域が未破壊の状況」を「半割れケース」、南海トラフでの事例は知られていないが東北地方太平洋沖地震で見られた事例として、②「大規模地震に比べて一回り小さい地震（M 7 クラス）が発生した後に、より大きな M 8 クラス以上の地震が発生する可能性がある状況」を「一部割れケース」として想定し、これらの防災対応を検討している。
- ・これらの防災対応の実施を判断するには、それぞれのケースに対応する地震現象をカテゴリー分けし、その評価基準となるしきい値を決める必要がある。地震学の知見のみからは、この基準となるしきい値を明示することは難しいが、地震学的な観点から、南海トラフ WG において対応基準を検討する上で参考となる考え方等を提示することは可能である。今回、この検討の参考となるものとして、マグニチュード、破壊域の面積、地震発生確率等につい

¹ 地震調査委員会の 2013 年の長期評価公表後、康和地震は内陸の地震という研究もあるため、ここに分類した。

て検討し整理した。

- ・過去に発生した宝永、安政、昭和の地震に関して、モーメントマグニチュード（以下、 M_w ）と断層面積の関係を求めたところ、この中で最小の地震は昭和東南海地震で、 M_w は 8.2、断層面積は想定震源域のうち紀伊半島より東側で深さ 10-30km の部分の面積の 75%程度であった。
- ・地震発生確率については、地震活動の時間的、空間的变化から将来の地震発生確率を算出する統計モデルを用いることが適当である。今回、代表的な統計モデルとして時空間 ETAS モデル（以下、ETAS）を用いて、先行地震の M_w を変えた場合に、隣接領域で後発する地震の発生確率がどのように変化するか試算した。この際、南海トラフに適した標準的なパラメータが得られていないことから、日本全域及び日本海溝領域に対し求められている最新のパラメータを用いた。基準となる先行地震での発生確率で規格化することで、パラメータ依存性を小さくし、 M_w の変化に伴う確率の違いを確認した（図 3）。
- ・最初に発生した地震の M_w による違いが比較できるよう、 M_w を変化させた際の、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を整理した（図 4、図 5）。
- ・ETAS を用いた後発地震の発生確率は、南海トラフで発生した「半割れケース」の地震で規模が最小の昭和東南海地震の $M_w 8.2$ を基準として、M 8 クラスの後発地震の発生確率を示した。
- ・ M_w の推定誤差を見込んだ下限である $M_w 8.0$ の場合、後発地震の発生確率は 3 分の 2 から半分程度の値となっている。
- ・「一部割れケース」として想定した M 7 クラスの地震による M 8 クラスの後発地震の発生確率は、M 8 クラスの地震の場合に比べ 10 分の 1 程度となっている。最初に発生する地震の規模を M 6 クラスにすると更に 10 分の 1 程度低くなり、M 8 クラスの地震に比べ 100 分の 1 程度となる。
- ・ここでは、破壊域の面積や地震モーメントの大きさ、後発地震の発生確率を参考に、各ケースと判断する基準を M_w という一つの指

標に代表させたが、大規模地震の発生様式を事前に全てのケースについて想定することは困難であり、実際に地震が発生した際は、 M_w を基本としつつ、緊急に解析された破壊域の面積やすべり量の大きさ等を総合的に評価して、「半割れケース」、「一部割れケース」等を判断する必要がある。

- ・ 昭和、安政、宝永の3事例では、想定震源域のうち深さ 10-30km の部分の 70%程度以上（日向灘を除くと 80%程度以上）が同時または、時間差をもって破壊された（図6）。このような割れ残りが生じた際、割れ残った領域を破壊した大規模地震は過去事例としては知られていない。しかし、これらの領域は、すでに破壊された領域と近接していることから、未破壊領域に対する地震発生の可能性が評価されるまでの間、余震等への注意喚起と併せ、地震活動に対する一般的な注意喚起が必要である。

（２）日向灘の地震の取り扱い

- ・ 日向灘で発生した地震について、その後M8クラス（あるいはそれ以上）の地震が発生した事例は知られていない（図7、図8）。しかし、日向灘での数少ない事例のみをもってこの領域の地震が南海トラフのM8クラスの地震に繋がらない特別な領域であると評価することは困難である。
- ・ 一方、日向灘は南海トラフの最大クラスの地震の想定において、震源域が更に西側に拡大した場合の領域として想定されたものである。しかし、この領域で発生した地震が、それよりも東側の領域と同様に南海トラフの領域全体に影響する可能性は否定できない。
- ・ 日向灘の地震については、南海トラフの想定震源域における他の領域の地震と同一の基準で評価するのが適当である。

（３）プレート境界型以外の地震の取り扱い

- ・ 想定震源域のフィリピン海プレートの内部や陸側のプレートの内部（地殻内）のM8クラスの地震、海溝軸外側などの周辺領域で

発生したM8クラスの地震について、これらの地震が想定震源域内のプレート境界に与える影響について定量的に評価することは困難である。一方で、例えば2004年9月5日の三重県南東沖の地震(M7.4)はプレート内部で発生した地震であるが、地震発生後に想定震源域のプレート境界面の浅部で超低周波地震を引き起こしたとされる研究報告がある。また、クーロン応力を考慮すると想定震源域内へ影響を及ぼす可能性もある。

- ・ 以上のことから、これらの領域の地震は、プレート境界に影響を与えると考えられ、注意することが重要である。この場合、南海トラフで想定する「半割れケース」の地震の場合とは異なり、南海トラフ全域での地震発生に対して注意等と呼びかけることとなる。
- ・ この際、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、想定震源域の海溝軸外側50km程度まで拡張した範囲に震源域が含まれる地震を評価対象とするのが適当である(図9、図10)。
- ・ 注、これら領域で発生する地震については、現時点では、M7クラスとM8クラスの地震を区別した評価が行えていない。本部会で今後検討する。

(4) 防災対応実施期間の終了時の評価

- ・ 最初の地震発生からある一定期間が経過した際、仮に地震活動が標準的な活動と比べ著しく活発であった場合でも、過去の大規模地震発生後の地震活動の推移にはばらつきがあり、後発地震の発生可能性を評価することは難しい(図11)。そのため、地震活動の推移を周知することは重要であるものの、防災対応期間の延長に資するような科学的評価を行うことは困難である。
- ・ この一定期間経過後も、地震発生の可能性がなくなったわけではない旨の注意喚起をすることが重要である。
- ・ なお、これまで知られていないが、仮に、地震活動が減衰しないような現象が発生した場合はその旨の注意喚起をすることが必要

である。この場合、防災対応の終了は、地震活動が通常の活動と同様に減衰し始めてからの一定期間とするのがよいのではないか。

3. ゆっくりすべりケースの評価基準について

- ・「ゆっくりすべりケース」ではひずみ計等で有意な変化として捉えられる、短い期間にプレート境界の固着状態が明らかに変化しているようなゆっくりすべりを評価の対象とする（図 12）。
- ・この「有意な変化」とは、変化速度の大きな現象を検出対象として、単位時間（例えば 24 時間）あたりの変化量が通常のノイズレベルを有意に超える変化量を設定する。
- ・複数のひずみ計等で有意な変化が観測され、想定震源域内のプレート境界で通常と異なるゆっくりすべりが発生している可能性がある場合など、南海トラフ地震との関連性の検討が必要と認められる変化を観測した場合に調査を開始する。
- ・調査の結果、通常とは異なる場所や発生様式（変化速度が大きいなど）のゆっくりすべりがプレート境界で発生していると判断した場合は、調査部会の報告書にあるとおり定量的な評価はできないものの、定性的には、南海トラフ地震発生の可能性が平常時と比べて相対的に高まっていると評価することが可能である。
- ・なお、プレート境界でゆっくりすべりが発生した際には、地殻変動のほか、深部低周波地震や浅部低周波地震等の地震活動が観測されることもあるので、これらの観測結果を総合的に評価することが重要である。
- ・変化が収まった場合には、変化していた期間と概ね同程度の期間で様子を見て、新たな変化が見られなかった場合には、事象の発生中と比べて地震発生の可能性は低減したと判断する。
- ・ただし、地震発生の可能性が低減したと判断した場合においても、地震発生の可能性がなくなったわけではない旨の注意喚起をすることが重要である。
- ・なお、南海トラフでは数ヶ月間から数年間継続するようなゆっくりすべりが発生することが知られているが、それらの変化速度は

小さく、短期間にプレート境界の固着状態が変化するようなものではないことから本ケースでの評価対象とはしない。

4. 半割れケースまたは一部割れケースとゆっくりすべりケースが同時に発生した際の評価について

- ・半割れケースまたは一部割れケースに相当するようなM8やM7クラスの地震が発生すると、地震発生に伴う急激な地殻変動とそれに引き続く余効変動が観測されると考えられる。このような場合、地震直後に余効変動のメカニズムを見極めることは困難で、ある程度の期間、余効変動の推移を監視する必要がある。仮にゆっくりすべりが検出できた場合でも、現在の科学的な知見においては、地震発生の可能性が相対的に高まっていると評価できるものの、半割れケースまたは一部割れケースにおける地震発生の可能性が更に高まっているか否かを定量的に評価することはできない。

(参考)

- ・近年、地震発生後の余効変動には、断層面上での余効すべりと粘弾性媒質中での応力緩和にかかる変動に区別されることが分かってきた。しかし、現時点においては、これら変化の区分は、余効変動が始まってからある程度の時間が経過した後に評価できるのが実情である。今後、地震発生直後からの地殻変動が評価できるよう研究を進めることが重要である（図13、図14）。

5. 現象発生後の評価の推移について

- ・現状では、発生した地震に対して気象庁の「南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会（以下、評価検討会）」の評価結果が発表されるのは地震発生から最短で2時間後であり、これまでの間、被災地域以外に対して後発地震に関する情報提供が行われないこととなる（図15）。
- ・しかし、地震発生直後ほど後発地震の発生確率が高いことを踏まえ、評価検討会による調査が開始されるまでの間に入手可能な震

度分布、すべり分布、 M_w 等の観測・解析データを用いて、可能な限り早い段階から、何らかの情報提供を行うことが重要である。

6. おわりに

- ・本部会では、評価基準の検討に資する議論を行った。ただし、現時点の科学的知見をもとに取りまとめたものであり、今後の調査研究の進展等を踏まえ、適切に見直し等が行われる必要がある。
- ・また、実際には典型的な事例以外にも多様な現象が発生することが考えられる。この場合においても、本報告の考え方に準じて評価することが重要である。
- ・さらに、地震発生の可能性を適切に評価し、防災対応に活かしていくためには必要な観測及び測量体制を補強・充実し、特に南海トラフの西側の領域の観測及び測量が不足しており、強化が重要である。また、現象を理解するための調査研究の推進が引き続き重要である。観測及び測量や調査研究の主要な項目については、「南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性について」（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 月公表）を参考願いたい。

中央防災会議 防災対策実行会議
南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応検討ワーキンググループ
防災対応のための南海トラフ沿いの異常な現象に関する
評価基準検討部会

委 員 名 簿

座長	やまおか 山岡	こうしゅん 耕 春	名古屋大学大学院環境学研究科附属 地震火山研究センター 教授
委員	い で 井出	さとし 哲	東京大学大学院理学系研究科 教授
	う ね 宇根	ひろし 寛	国土地理院地理地殻活動研究センター長
	お ばら 小原	かずしげ 一成	東京大学地震研究所 教授
	し お み 汐見	かつひこ 勝彦	防災科学技術研究所地震津波防災研究部門 副部門長
	ほ り 堀	たか ね 高峰	海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター 地震津波予測研究グループ グループリーダー
	まつざわ 松澤	とおる 暢	東北大学大学院理学研究科附属 地震・噴火予知研究観測センター長・教授
	みやざわ 宮澤	まさとし 理稔	京都大学防災研究所 准教授
	よ こ た 横田	たかし 崇	愛知工業大学地域防災研究センター長・教授

計 9 名（敬称略）

事務局 内閣府政策統括官（防災担当）、気象庁

検 討 経 緯

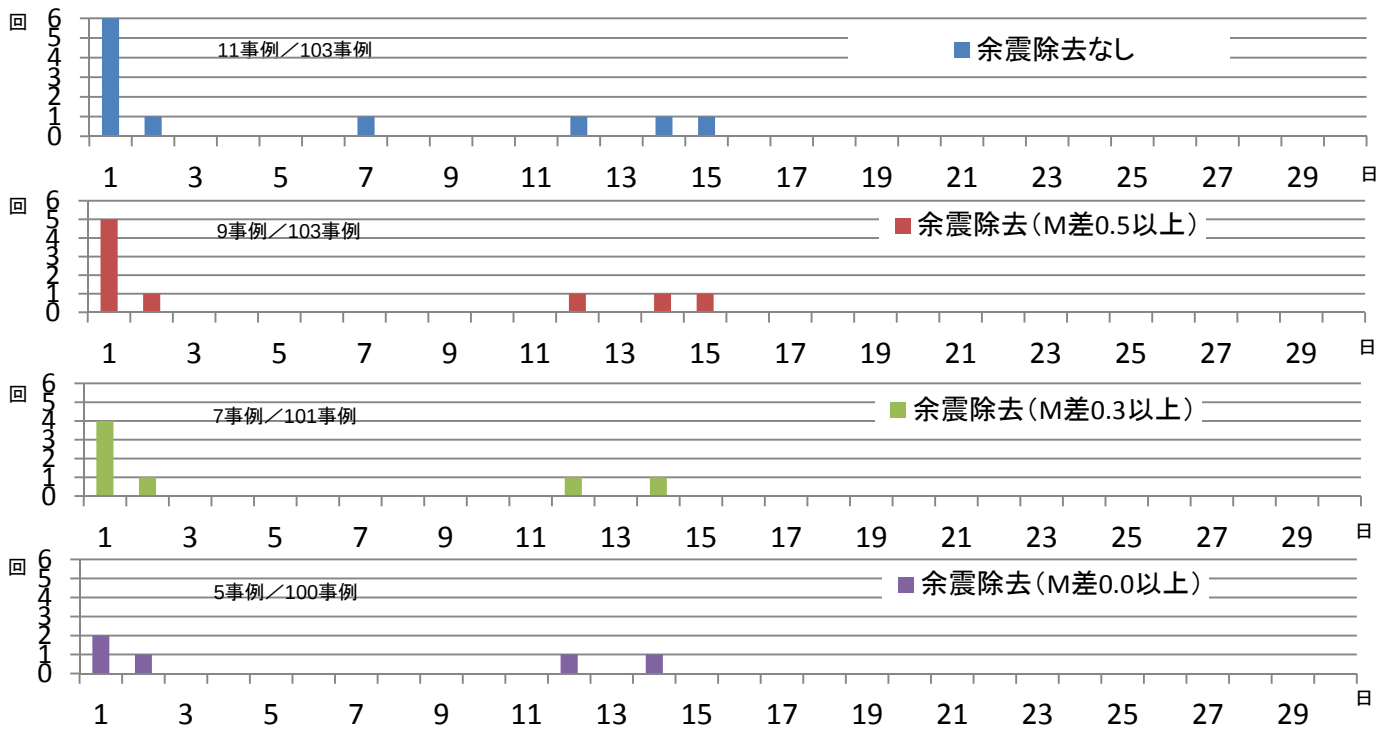
- 第 1 回 平成 30 年 10 月 17 日
- 第 2 回 平成 30 年 11 月 1 日
- 第 3 回 平成 30 年 11 月 7 日

(別冊 図表集)

M8.0以上→M7.8以上の連動

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

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



M7.0-7.9→M7.8以上の連動

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

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

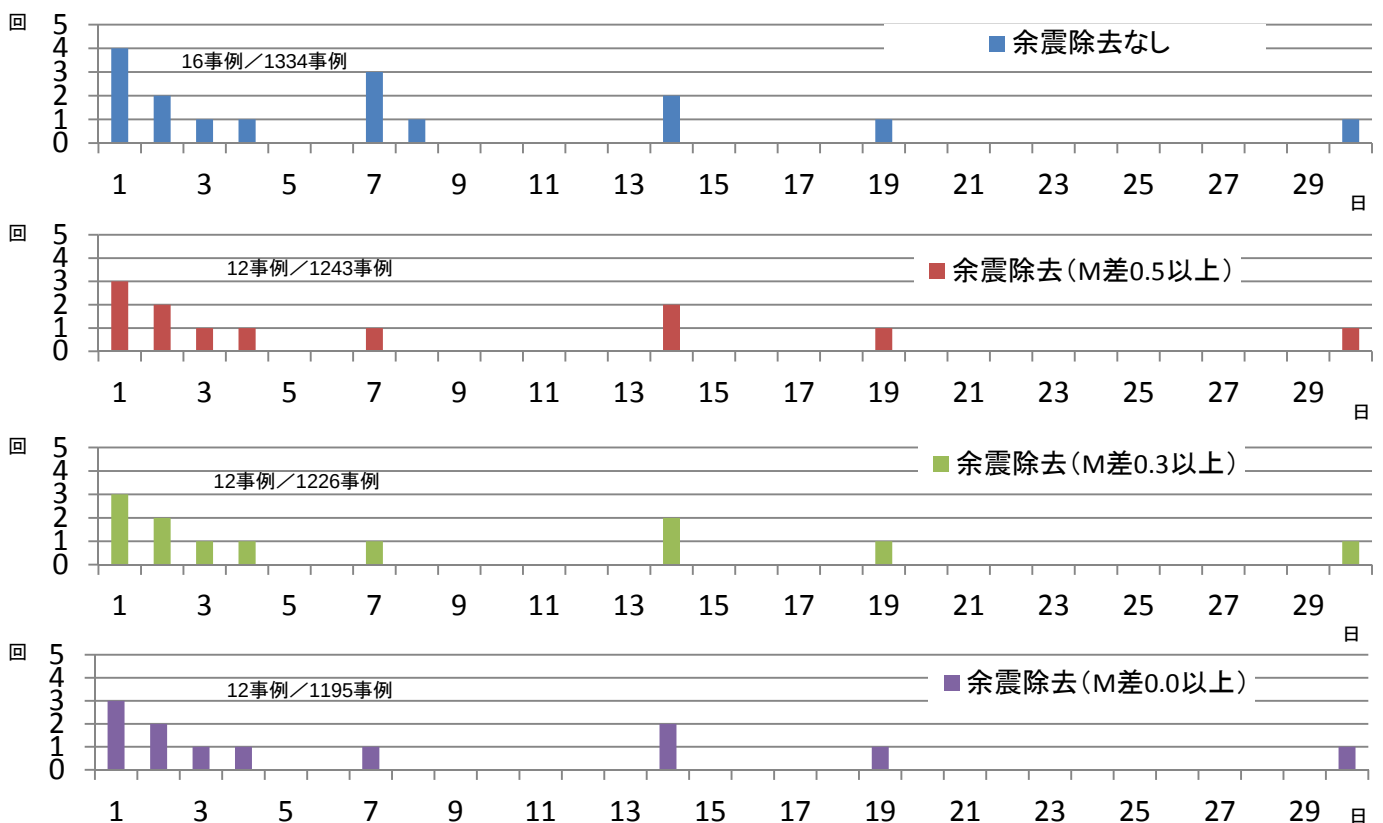


図 1 - 1 M7.8以上の地震が連動したケースの発生パターン

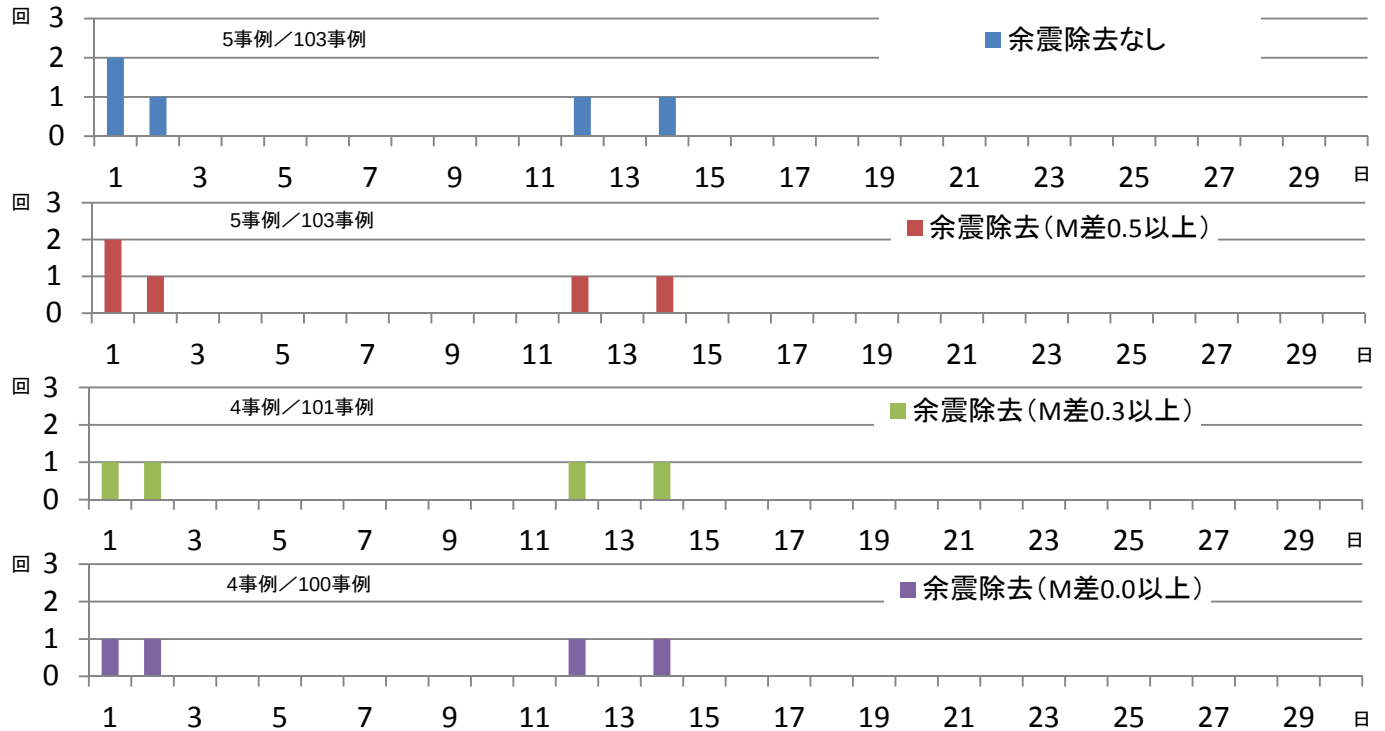
M8.0以上→M8.0以上の連動

連動は、500km以内 余震除去は、宇津の式による。

余震とする距離 : $\text{dist}_u = \text{pow}(10.0, (0.5 * \text{mag1} - 1.8))$

余震の発生期間 : $\text{dtime}_u = \text{pow}(10.0, (0.17 + 0.85 * (\text{mag1} - 4.0)) / 1.3) - 0.3$

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



M7.0-7.9→M8.0以上の連動

連動は、500km以内 余震除去は、宇津の式による。

余震とする距離 : $\text{dist}_u = \text{pow}(10.0, (0.5 * \text{mag1} - 1.8))$

余震の発生期間 : $\text{dtime}_u = \text{pow}(10.0, (0.17 + 0.85 * (\text{mag1} - 4.0)) / 1.3) - 0.3$

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

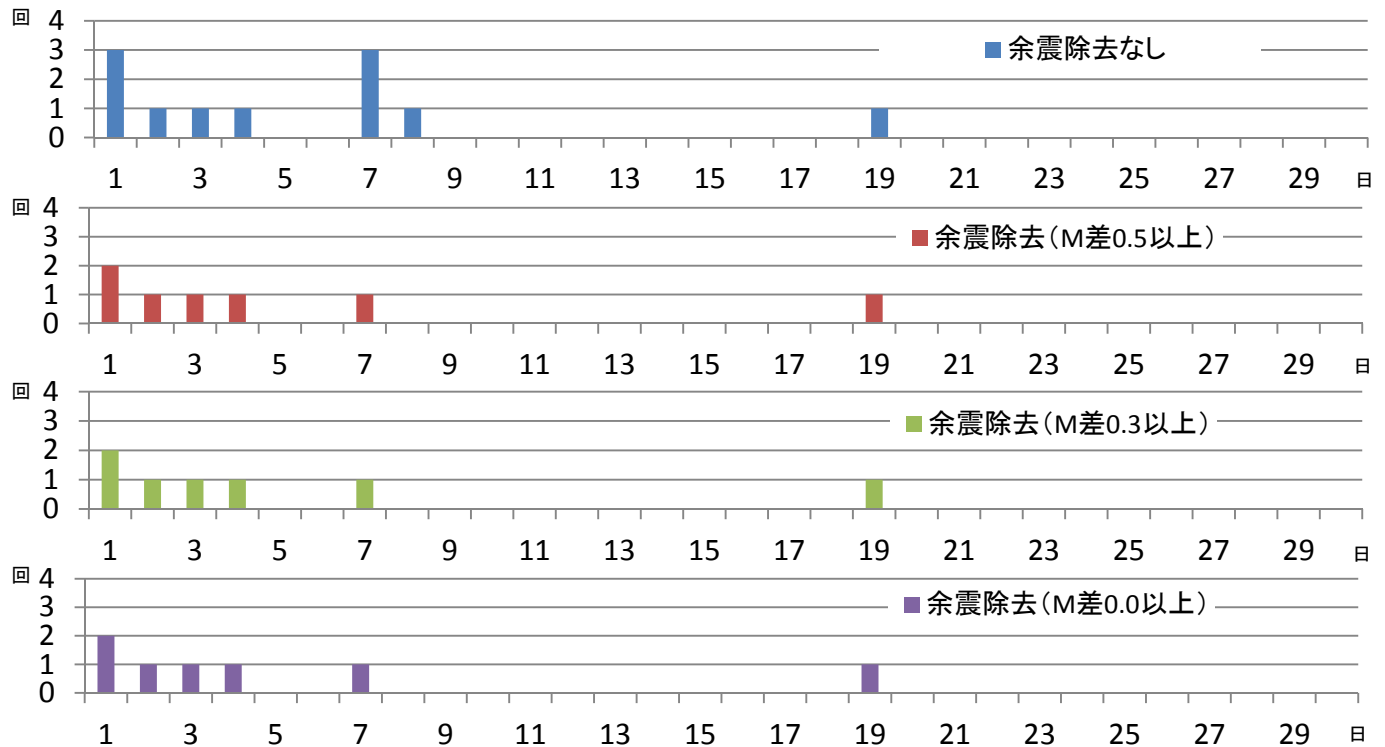


図 1-2 M8.0以上の地震が連動したケースの発生パターン

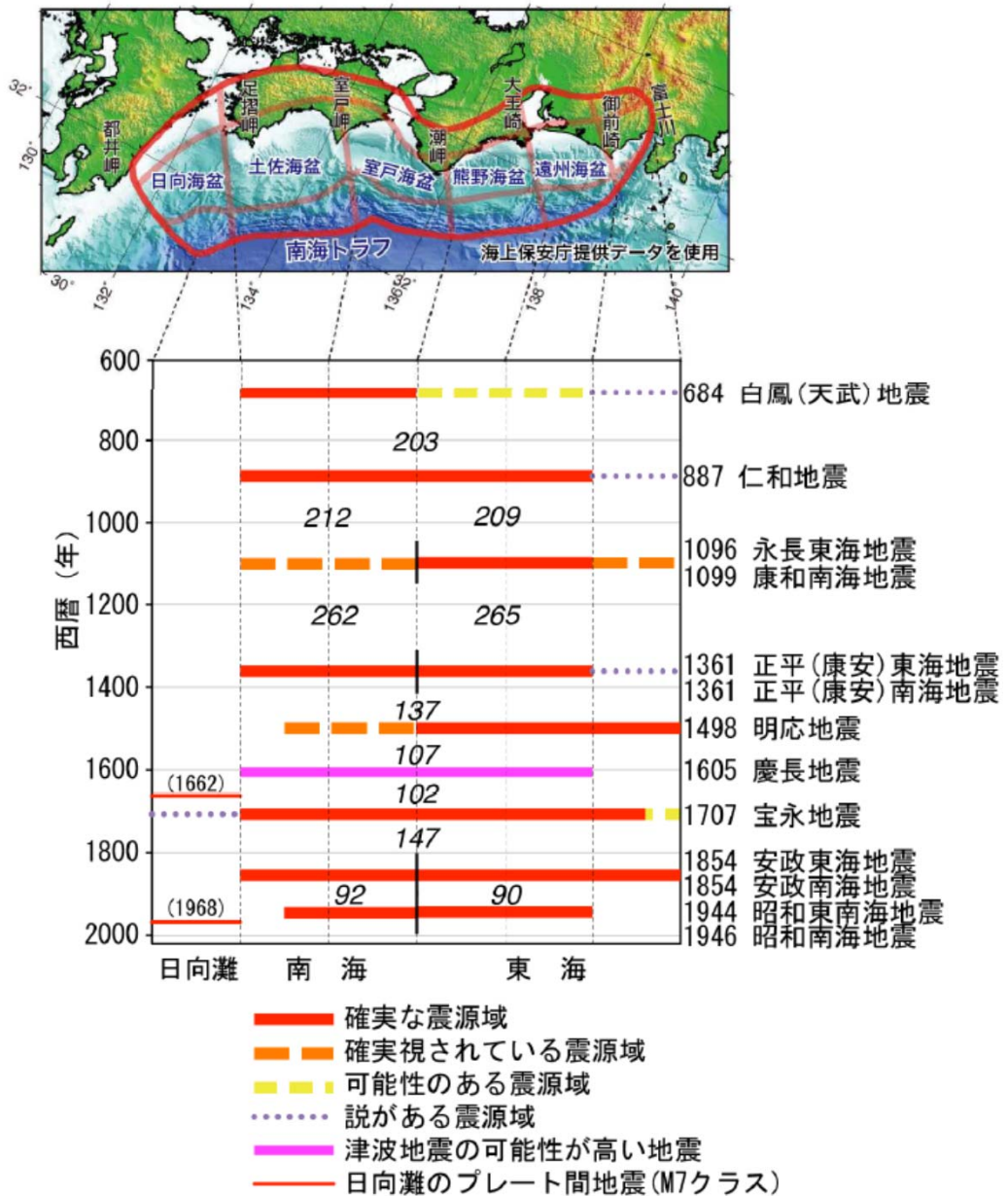


図2 南海トラフで過去に起きた大地震の震源域の時空間分布（石橋，2002 をもとに編集）

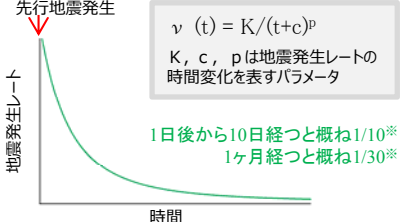
- ・白鳳（天武）地震（684 年）以降の地震を示している。
- ・図中イタリック体で表した数字は、地震の発生間隔（年）を示す。
- ・震源域は地形の境界（都井岬、足摺岬、室戸岬、潮岬、大王崎、御前崎、富士川）で東西方向に区切っている。
- ・黒の縦棒は、南海と東海地震が時間差（数年以内）をおいて発生したことを示す。

地震発生確率の試算に用いたモデルの概要

- 先行地震による地震発生可能性の高まりの検討のため、Ogata (2011) 及びOgata and Zhuang(2006)によるモデルを使用して、一定期間、一定領域内で、パラメータ推定に用いたデータのM下限以上の地震の発生回数の期待値を計算
- GR則を仮定してある規模以上の地震の発生回数の期待値に換算し、これら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

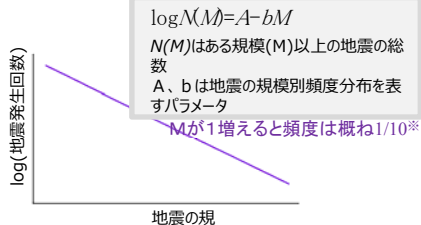
試算モデルが表現する一般的な地震の特徴

◆地震発生後の地震活動の時間変化



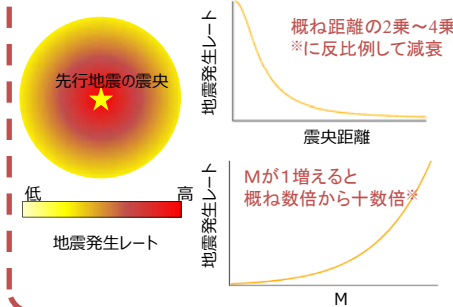
・ある地震が発生した後は、別の地震が発生しやすい。

◆地震の規模別頻度分布



※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。

◆規模による影響の大きさと空間分布



モデル1 【Ogata, 2011】

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

モデル2 【Ogata and Zhuang, 2006】

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

M_c はパラメータ推定に用いたデータの下限M
 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。

試算に用いたモデル

ある時間(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 【尾形, 2015】

$$\lambda(t, x, y, M) = \left[\mu(x, y) + \sum_i v(t-t_i) g(x-x_i, y-y_i; M_i) \right] 10^{-b(M-M_c)}$$

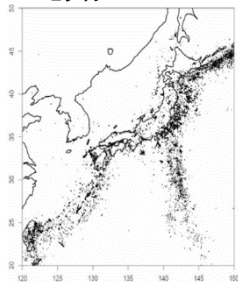
背景地震活動 (試算では $\mu=0$ を仮定)
 時間変化
 空間分布
 規模別頻度分布

- ・先行地震の影響による一定期間、一定領域内でのM以上の地震発生回数の期待値を計算 (λ を対象範囲で積分)
- ・期間内に少なくとも1回の地震が発生する確率を算出

試算に用いたモデルとパラメータ

- Ogata (2011) 及びOgata and Zhuang(2006)によるモデルを使用
- GR則のb値は、各モデルのパラメータ推定に用いたデータと同期間、同領域の一元化カタログから推定した

モデル1



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-Mc4

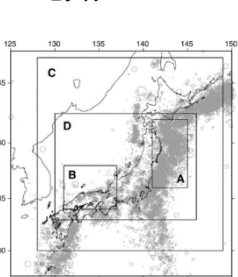
データ期間 2002年～2008年、 $M \geq 4$ 、 $b=0.86$

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-Mc5

データ期間 1926年～2008年、 $M \geq 5$ 、 $b=0.90$

モデル2



Ogata and Zhuang(2006)による3セットを使用

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

Model	$\hat{v}$	$\hat{K}$	$\hat{c}$	$\hat{\alpha}$	$\hat{\gamma}$	$\hat{p}$	$\hat{d}$	$\hat{q}$	AIC
Unit	Events/day/degree ²	Days	Magnitude ⁻¹	Degrees ²					
Off the east coast of Tohoku District (Region A) $M \geq 4.5$, 4333 events									
(10)	0.134×10^{-3}	0.402×10^{-4}	0.243×10^{-1}	1.645	1.331	1.050	0.179×10^{-2}	1.648	-1057.6*
Central and western Honshu (Region B) $M \geq 4.0$, 3007 events									
(10)	0.953×10^{-4}	0.524×10^{-4}	0.878×10^{-2}	1.103	0.802	1.028	0.416×10^{-3}	1.580	-675.1*
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

モデル2A

$b=0.75$

モデル2B

$b=0.80$

モデル2C

$b=0.92$

図3-1 時空間ETASによる計算

地震発生後にM8クラス(M8.0以上)の地震が発生する確率先行地震規模依存性

- 発生確率はモデルによりばらつくが、ある規模の地震発生後の確率との比を取ることで、GR則のb値の影響がなくなり、先行地震の規模依存性へのパラメータの影響は小さくなる

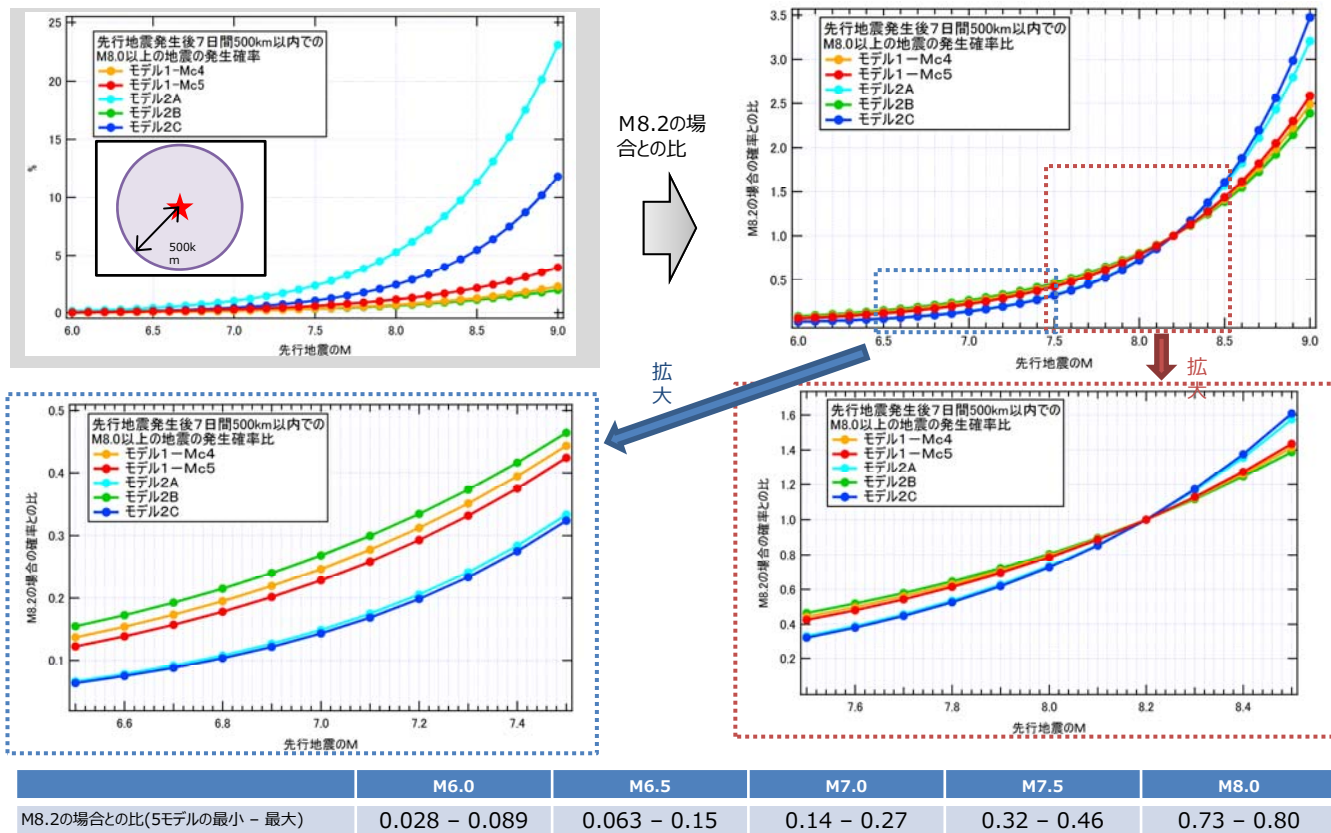


図3-2 時空間ETASによる計算

Mw	想定震源域のうち西側に対する面積比 ※括弧内はMw8.2に対する比	想定震源域のうち東側に対する面積比 ※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	51% (1.00)	75% (1.00)	1	1
8.1	41% (0.79)	60% (0.79)	0.71	0.81-0.86
8.0	32% (0.63)	47% (0.63)	0.50	0.65-0.73
7.9	26% (0.50)	38% (0.50)	0.35	0.52-0.63
7.8	21% (0.40)	30% (0.40)	0.25	0.42-0.54
7.7	16% (0.32)	24% (0.32)	0.18	0.33-0.46

図4 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 (Mw8.2～7.7)

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)	基準Mを越える地震事例数 (1923年以降、東南海・南海以外はMj)
8.2	51% (1.00)	75% (1.00)	1.0	1.00	2
8.0	32% (0.63)	47% (0.63)	0.5	0.65-0.73	2
7.5	10% (0.20)	15% (0.20)	0.09	0.21-0.34	3
7.0	3.2% (0.06)	4.7% (0.06)	0.02	0.07-0.16	9
6.5	1.0% (0.02)	1.5% (0.02)	0.003	0.02-0.07	25

図5 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 (Mw8.2～6.5)

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、紀伊半島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(日向灘除く)のうち深さ10-30km部分の面積(紀伊半島より西側:43965km²、同東側:30125km²)と比較。ETASは1週間以内に500km以内でM8.0以上が発生する確率の5つのモデルの上限値と下限値を記載。

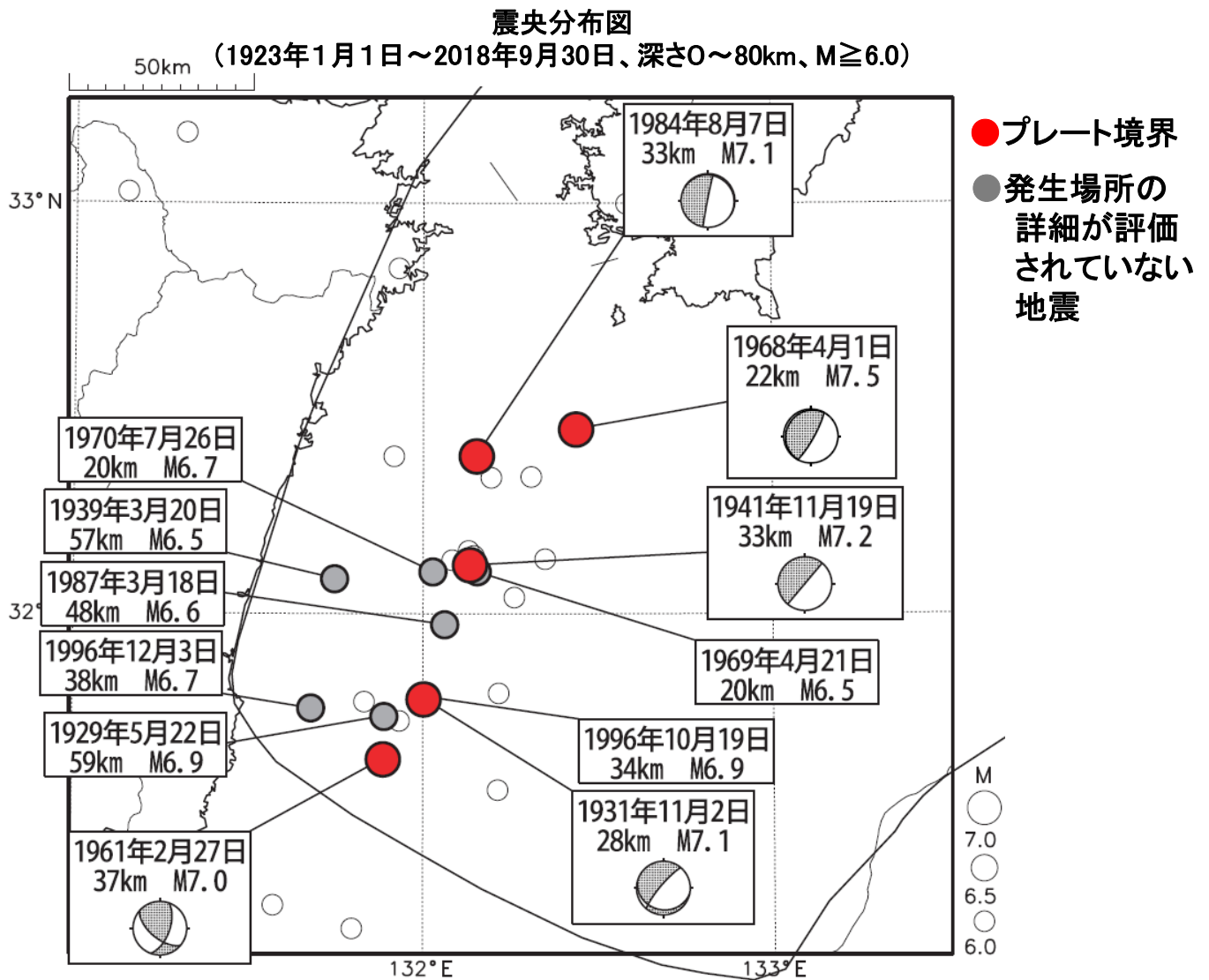
	全割れケース		紀伊半島以西での 半割れケース	紀伊半島以東での半 割れケース
宝永	90%(82%)		93%(81%)	85%
安政	98%(89%)		96%(83%)	100%
昭和	81%(67%)		86%(63%)	75%

図6 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、日向灘除く)における面積比。括弧内は日向灘を含めた場合。

※「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、日向灘を除いた深さ10-30kmの部分の面積を、想定震源域のうち日向灘を除いた深さ10-30kmの部分の面積で割った値。

「半割れケース」は上記震源域のうち紀伊半島以東・以西それぞれの部分の面積を、想定震源域のうち日向灘を除いた深さ10-30kmの部分の紀伊半島以東・以西それぞれの部分の面積で割った値。



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

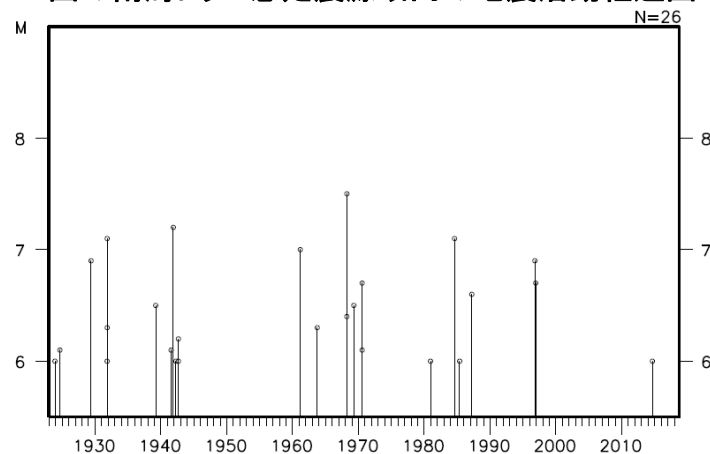
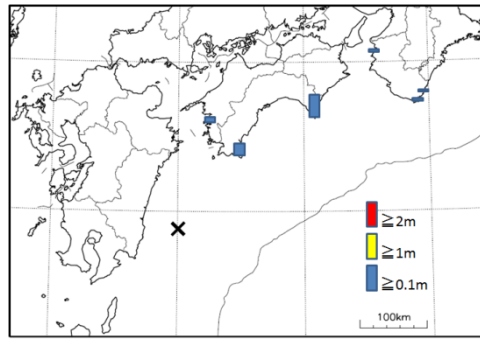
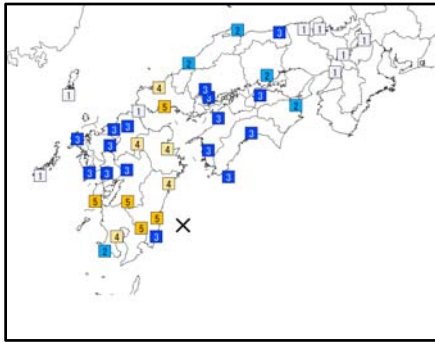
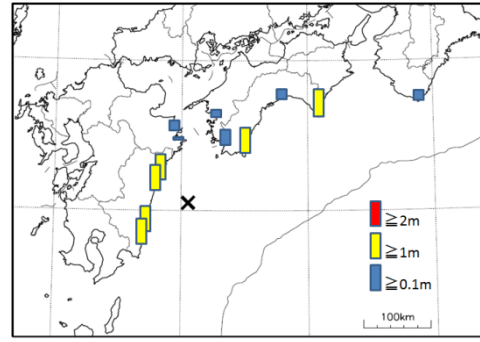
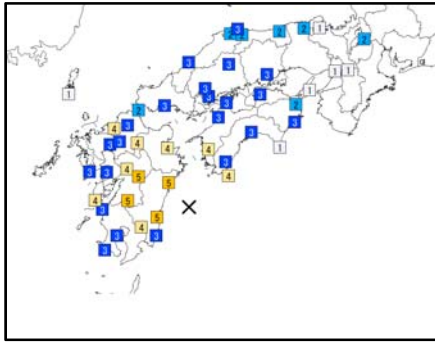


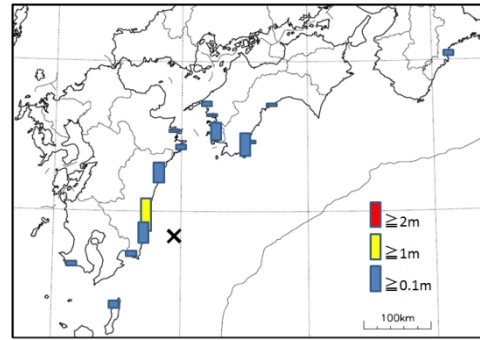
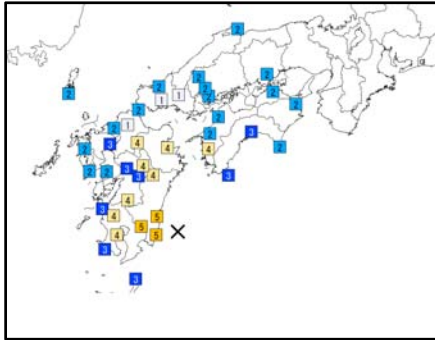
図7 日向灘における過去の地震



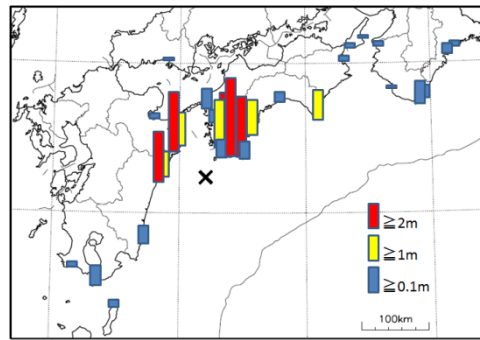
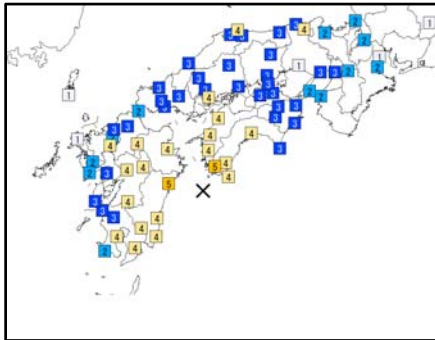
1931/11/2
Mj:7.1 Mt:7.3



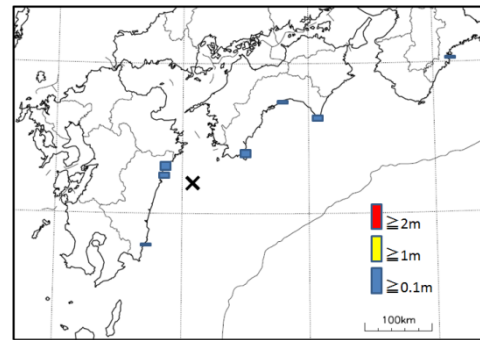
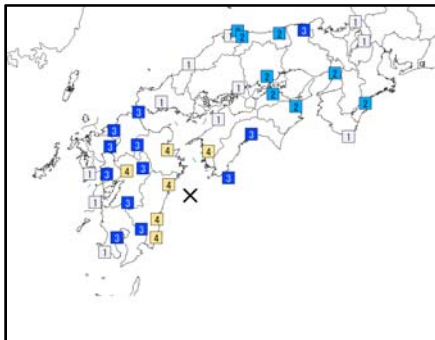
1941/11/19
Mj:7.2 Mt:7.6



1961/2/27
Mj:7.0 Mt:7.5



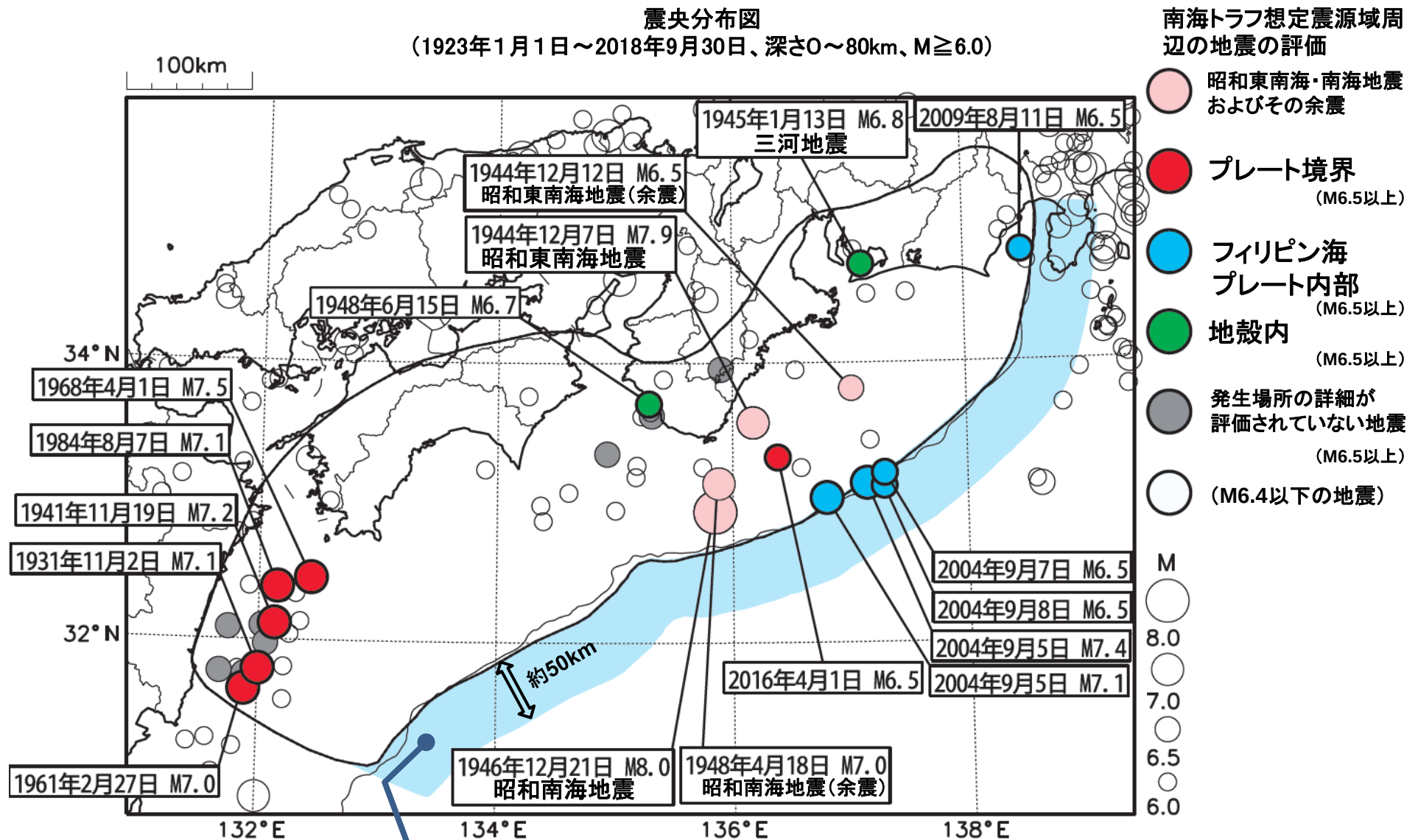
1968/4/1
Mj:7.5 Mt:7.7



1984/8/7
Mj:7.1 Mt:6.9

Miは気象庁マグニチュード、Mwはモーメントマグニチュード(ISCJEMより)、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」、気象庁「地震津波資料集」
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8 日向灘で発生したM7以上の地震の震度分布・津波観測値

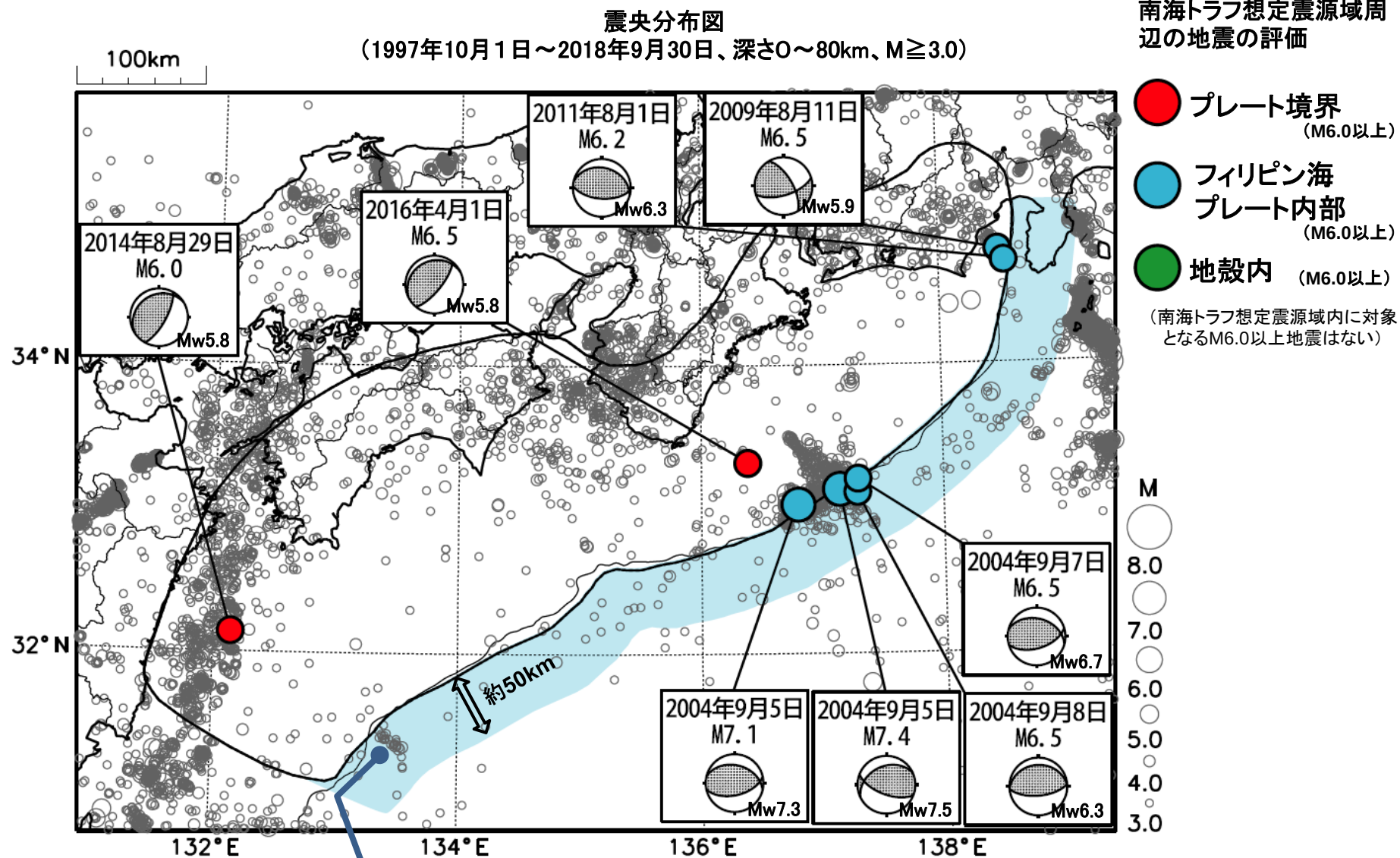


海溝軸外側で発生した地震のうち、一部割れケースの地震と同様に取り扱う領域。

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。

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は、 $M7.0$ 程度の震源断層(約45km)を踏まえ、海溝軸外側約50kmまで拡張した範囲を示している。震源断層の長さについては、 M と断層長(L)の経験式(宇津の式: $\log(L) = 0.5M - 1.85$)を使用している。

図9 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。

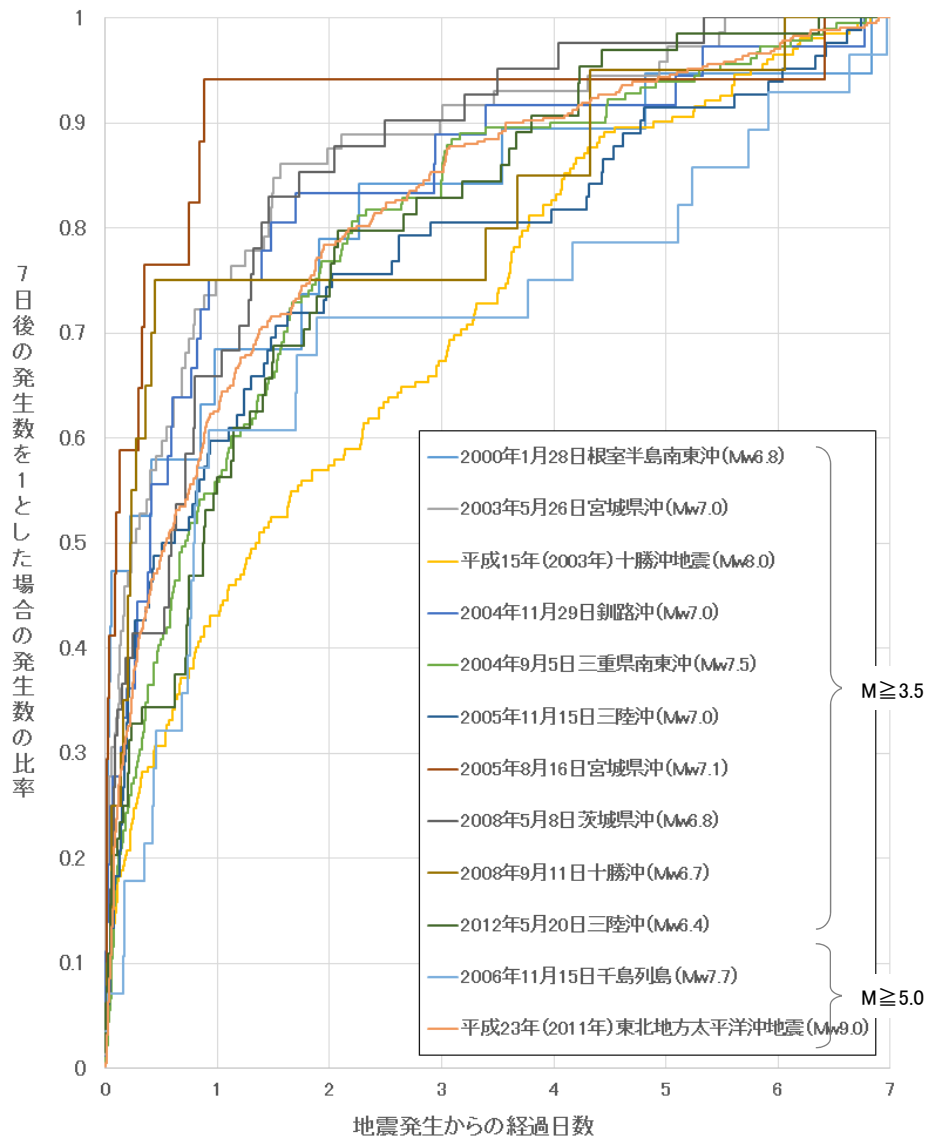
発震機構解は気象庁のCMT解を用いている。Mwは気象庁で求めた値を示している。

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は、M7.0程度の震源断層(約45km)を踏まえ、海溝軸外側約50kmまで拡張した範囲を示している。

震源断層の長さについては、Mと断層長(L)の経験式(宇津の式: $\log(L) = 0.5M - 1.85$)を使用している。

図10 南海トラフにおける最近の地震発生状況

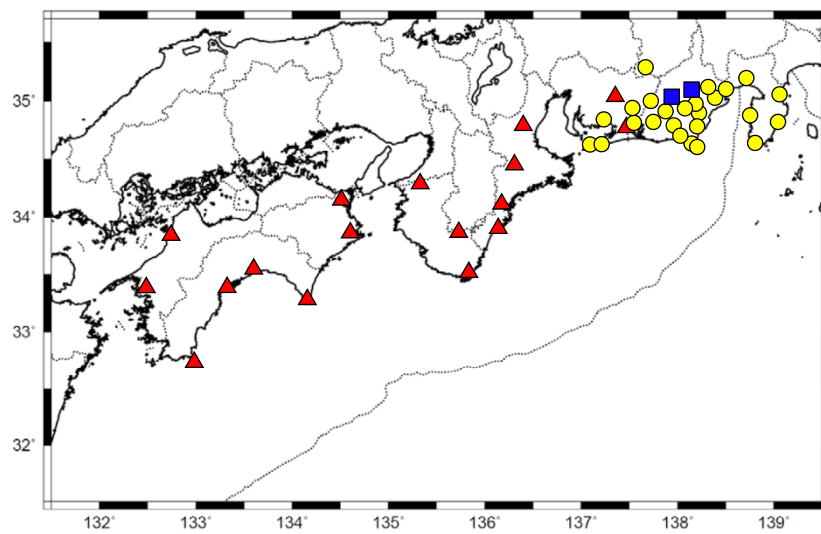
主な地震の回数比較グラフ(海域で発生した地震)



- ・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 1 1 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

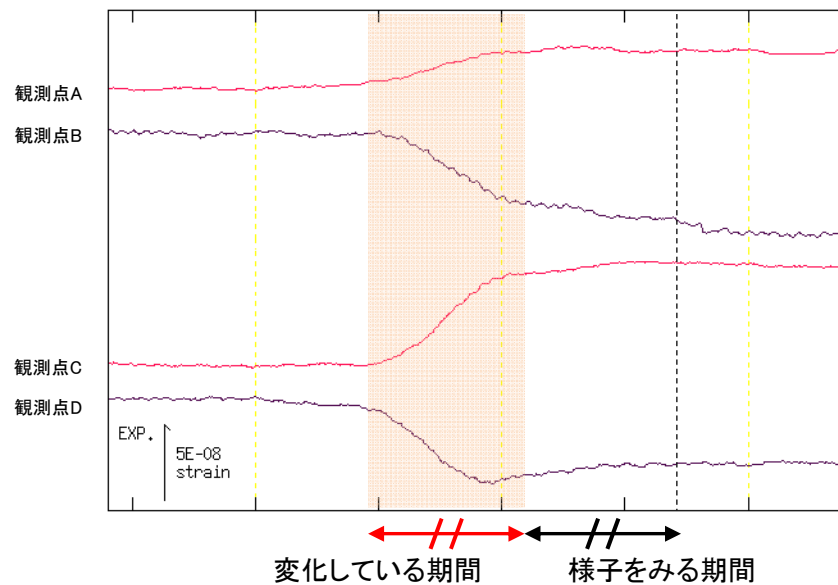


図12 ゆっくりすべり現象の始まりと終わりの判断

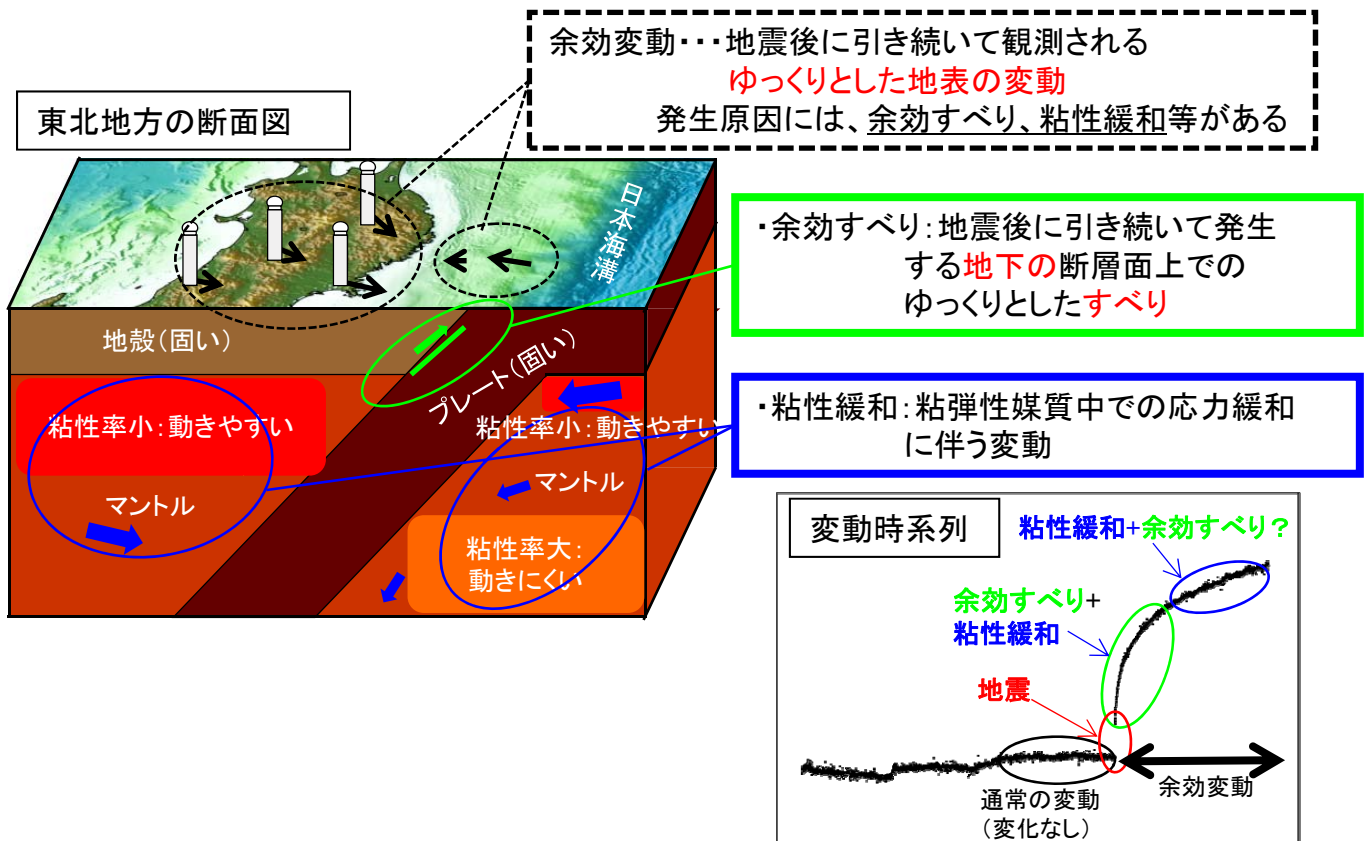
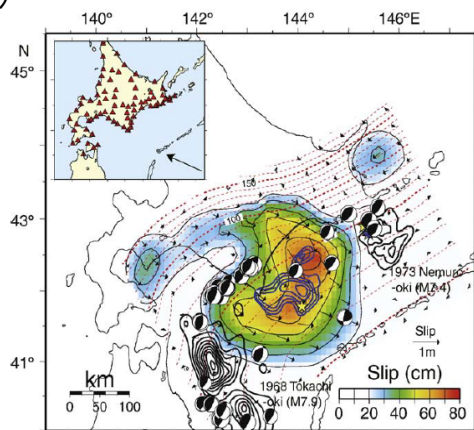


図 1 3 余効変動と発生原因

余効すべりの把握がなぜ必要か？

【2003年十勝沖地震】

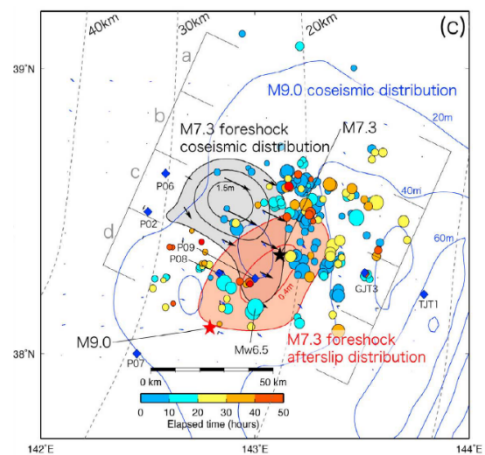
2003年十勝沖地震の余効すべり域が東深部に拡大し、2004年11月の釧路沖の地震(M7.1)の発生を促進した。
 (Murakami et al., 2006, Uchida et al., 2009等)



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 1 4 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	○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	○震度 ○津波警報 ○震源、M	○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)	○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。情報発表の仕方[P]
15分程度	○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)	○(必要に応じて)津波警報等の更新	○津波警報等、津波情報		
(30分程度)	すべり分布(GNSSによる自動解析結果)※		○南海トラフ地震に関連する情報(臨時:第1報)		
(随時)	○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)	○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	○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	○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)	○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	○報道発表(記者会見)		
最短2時間程度	○すべり分布(精査したGNSS解析結果)※ ○津波波源域※	半割れケースが発生した旨の評価結果公表 ○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	半割れケースが発生した旨の評価結果公表 ○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)	○半割れケースに対応した防災対応	
それ以降(～1日程度)	○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	○(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	○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)		

図15 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