

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

- ・ ISC が整理した世界中で発生した地震に関するデータベース（ISC-GEM ver. 5）を用いて、Mw8.0 の地震発生後に M 8 クラスの後発地震が隣接領域で発生した事例について、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整理をしたところ、後発地震が発生する頻度は余震の除去方法にほとんど依存しないことを確認した（資料 1）。
- ・ 南海トラフ沿いで発生する地震の特徴について、昨年度「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」がとりまとめた報告書では、以下の指摘がある。

南海トラフ沿いのプレート境界面は、地震の発生数が少なく、大きな破壊単位の存在が想起される。一方で、日本海溝沿いのプレート境界面では M 7 クラスまでの様々な大きさの地震がかなりの頻度で発生している。これらから、南海トラフ沿いのほうが日本海溝沿いよりは、相対的により固有地震モデルに近いと考えられる。しかし、近年の調査により、南海トラフの過去の大規模地震においても、多様な断層運動が起きたことが推定されつつあり、破壊単位が複数あると考えられ、極めて単純な「固有地震モデル」の適用は難しく、単純な固有地震モデルではないことに留意が必要である。このような場合には確率論的要素等の影響があり、確度の高い予測は難しい。

- ・南海トラフで過去に発生した大規模地震は、白鳳地震以降の9事例が知られているが、内陸の地震であるという研究もある永長・康和と津波地震の可能性が高い慶長を除く7事例のうち、ほぼ同時・時間差をおいて発生したのは、白鳳、明応を除く5事例（仁和、正平、宝永、安政、昭和）とされている。明確に時間差があるとされているものに限っても、7事例のうち3事例（正平、安政、昭和）がある。
- ・一方、最近100年程度に発生した世界のM8以上の地震100事例のうち、続発しているものが6事例ある。

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で防災対応を検討している「半割れケース」、「一部割れケース」について、地震学的には、この二つの中間的な現象も起こり得る。このため、この二つを明確に分けるしきい値を示す事は難しいが、以下、マグニチュード、破壊域の面積、地震発生確率の観点で検討した。
- ・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の $M_w 8.2$ で、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部分の面積の75%程度であった。
- ・また、時空間ETASモデル（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、隣接領域で後発地震の発生する確率がどのように変化するか計算したところ、後発地震の発生確率はパラメーターに大きく依存するものの、ある基準となる先行地震規模 M_w での発生確率で規格化することで、パラメーター依存性は小さくなり、 M_w の変化に伴う違いが比較しやすくなった（資料2）。
- ・ 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資料4のとおり整理した。このようなデータから「半割れケース」や「一部割れケース」の下限とする M_w を検討することができる。

- ・なお、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、 M_w という一つの指標に代表させたが、実際に大規模地震が発生した際は、 M_w だけでなく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」等を判断するべきである。

- ・事務局として、以下の事項を南海トラフWGでの議論のたたき台として示したい。

※地震モーメントの大きさが倍半分程度の誤差 (M_w で ± 0.2 程度) を含むと考え、資料4から昭和東南海地震 ($M_w 8.2^1$) と比較して、ETASによるM8クラスの地震発生確率が0.7倍程度、破壊域の面積が想定震源域のうち紀伊半島以東の半分程度、地震モーメントが1/2程度となる $M_w 8.0$ 程度を半割れの下限值とする。

※この場合、半割れケースの下限值と比べて、ETASモデルでのM8クラスの後発地震の発生確率が10分の1程度となる $M_w 7.0$ 程度を一部割れケースの下限值とする。

※また、昭和、安政、宝永の事例から、全域が破壊されたと見なす下限値としては、過去3事例で連動して破壊されることがない日向灘を除いた想定震源域のうち深さ10-30kmの部分の80%程度以上が破壊された場合を基準とする。

- ・南海トラフにおける過去の事例を見ると、このような割れ残りが生じた際、割れ残った領域においてさらなる大規模地震 (~M8クラス) が発生した明確な事例は知られていない。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、一般的なM8クラスの地震が発生した場合と同様、活発な地震活動に注意が必要である。

¹ 「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)で求められた津波断層モデルのうち、紀伊半島より東側での地震モーメントから算出

(2) 日向灘の地震の取り扱い

- ・日向灘で半割れケースの地震が発生した事例は知られておらず、M8クラスの地震が発生した場合は、他の海域と同じ基準で評価するのが適当である。
- ・日向灘で近年発生した一部割れケースに相当するM7クラスの地震について、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ない（図2、3）。しかし、世界全体でみても、M7クラスの地震がM8クラスの地震に繋がった事例は少なく、日向灘での数少ない事例のみをもってこの海域がM8クラスの後発地震に繋がらない海域であると評価することは困難であり、他海域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が、例えば2004年9月5日の三重県南東沖の地震（気象庁マグニチュード（以下、Mj）7.4）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内の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、これらの地震は、プレート境界での一部割れケースの地震と同様に扱うのが適当である。
- ・なお、これら領域で発生するM7クラスの地震についても、この地震がプレート境界に与える影響について、M8クラスの地震の場合との違いを評価することは難しいため、この規模の地震も、一部割れケースと同等の地震として考えるのが適当である。
- ・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プレート境界に

おける一部割れケースの地震と同様に扱うのが適当である（図4、図5）。

（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6）。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、もし、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。

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」では短い期間にプレート境界の固着状態が変化するようなゆっくりすべりを評価基準の対象とし、長期的ゆっくりすべりは対象外とする。
- ・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、観測された変化が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、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。
- ・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、様子を見て、新たな変化が見られなかった場合には、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。(図7)

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、余効変動がある程度収まるまで、余効変動以外のゆっくりすべりが含まれているか否かの評価は困難である。仮にゆっくりすべりが検出できたとしても、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。したがって、それぞれ別々のものとして評価することとなる。

(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、余効変動が全体的に収まってからの評価となるのが実情である。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8、9)

5. 現象発生後の評価の推移について

- ・現状では、発生した地震に対する評価検討会の評価結果が公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かったことになっている(図10)。
- ・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、Mw 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体制を補強・充実し、特に南海トラフの西側の領域の観測が不足しており、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	こうしゆん 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
	おぼら 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)

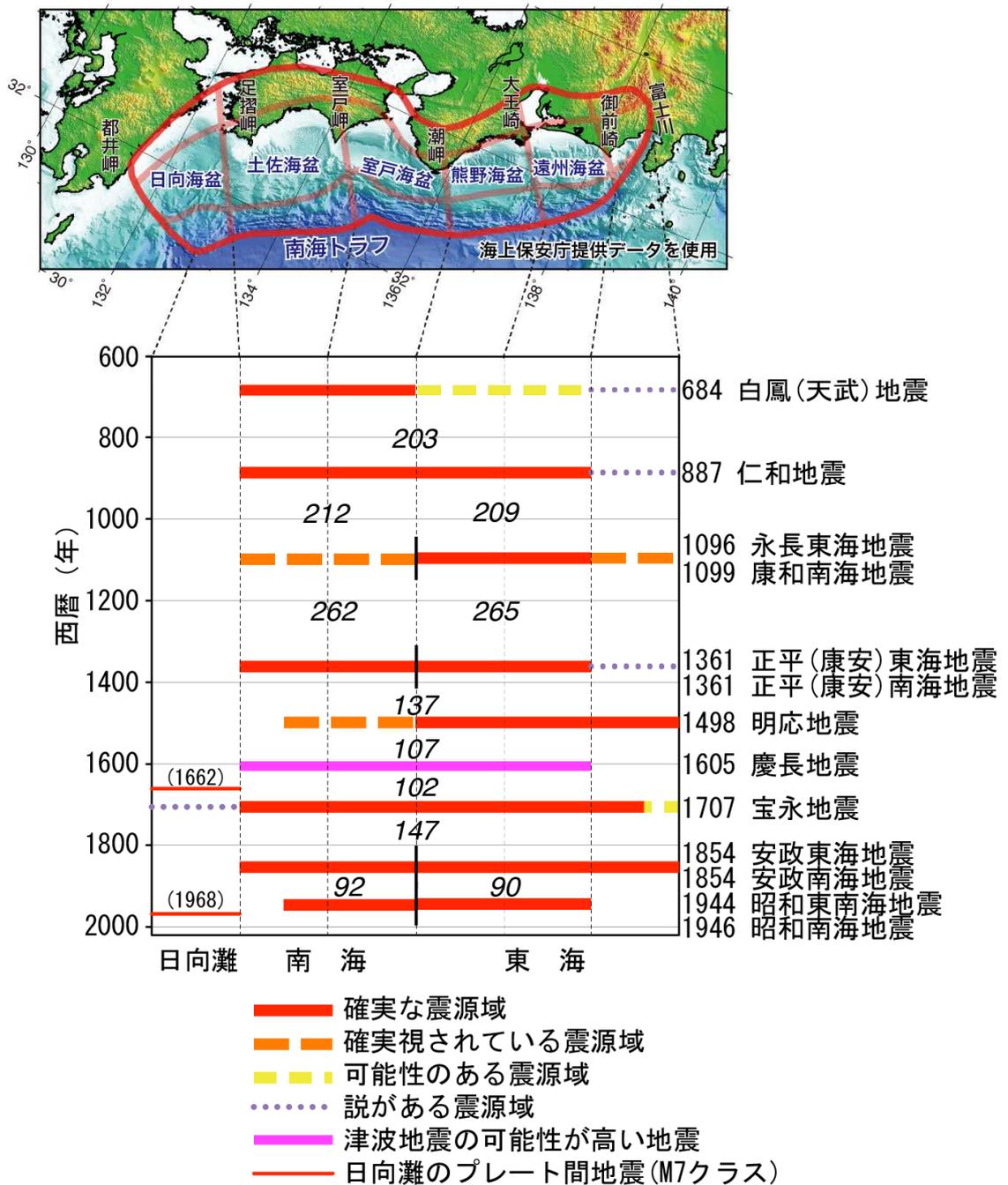
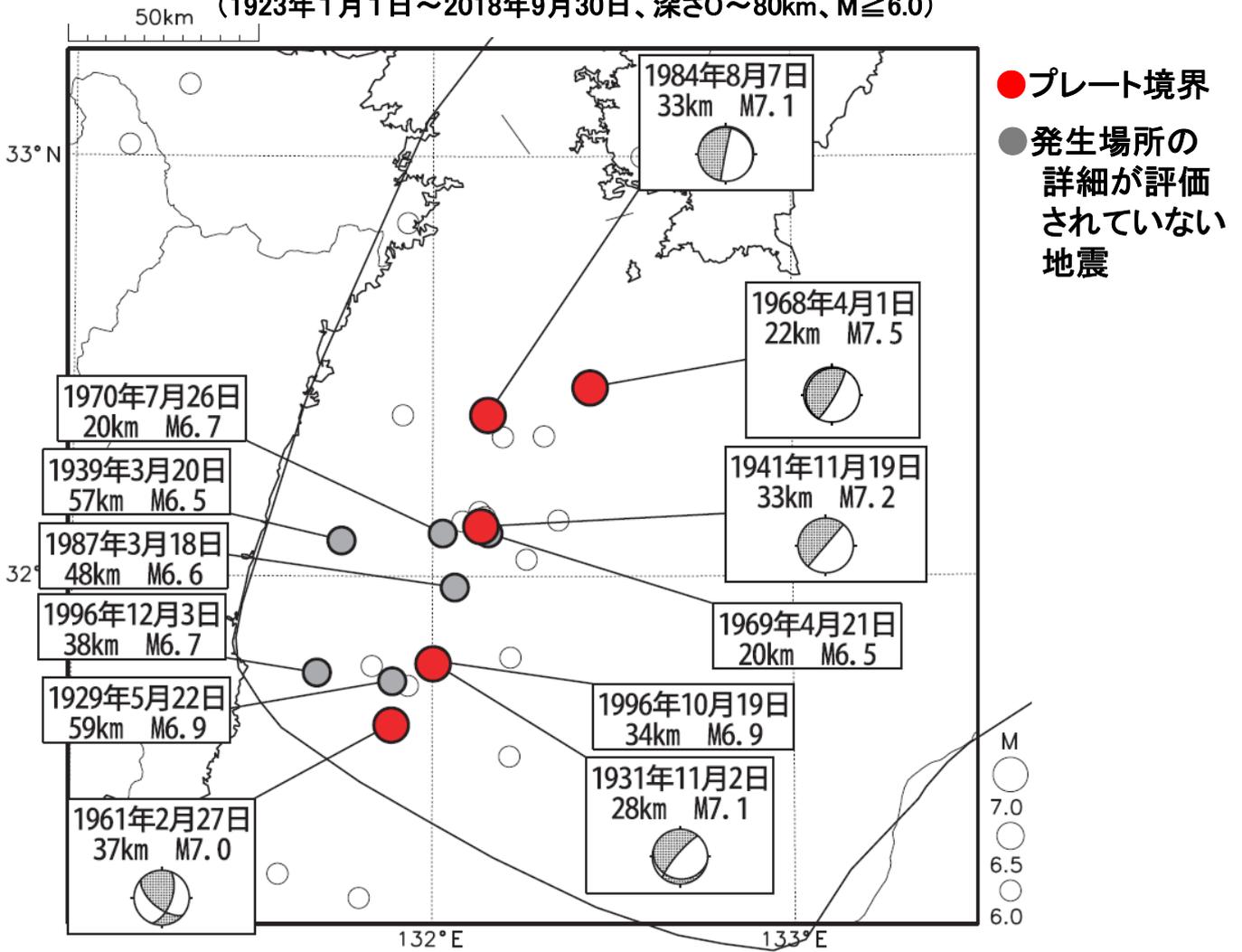


図1 南海トラフで過去に起きた大地震の震源域の時空間分布 (石橋, 2002 をもとに編集)

- ・ 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。

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

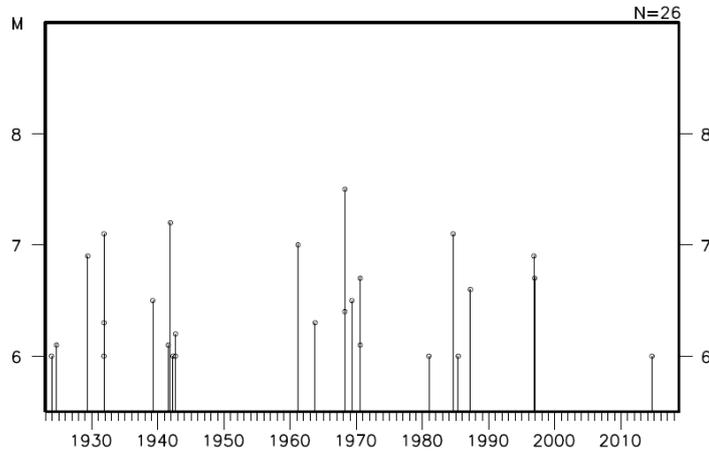
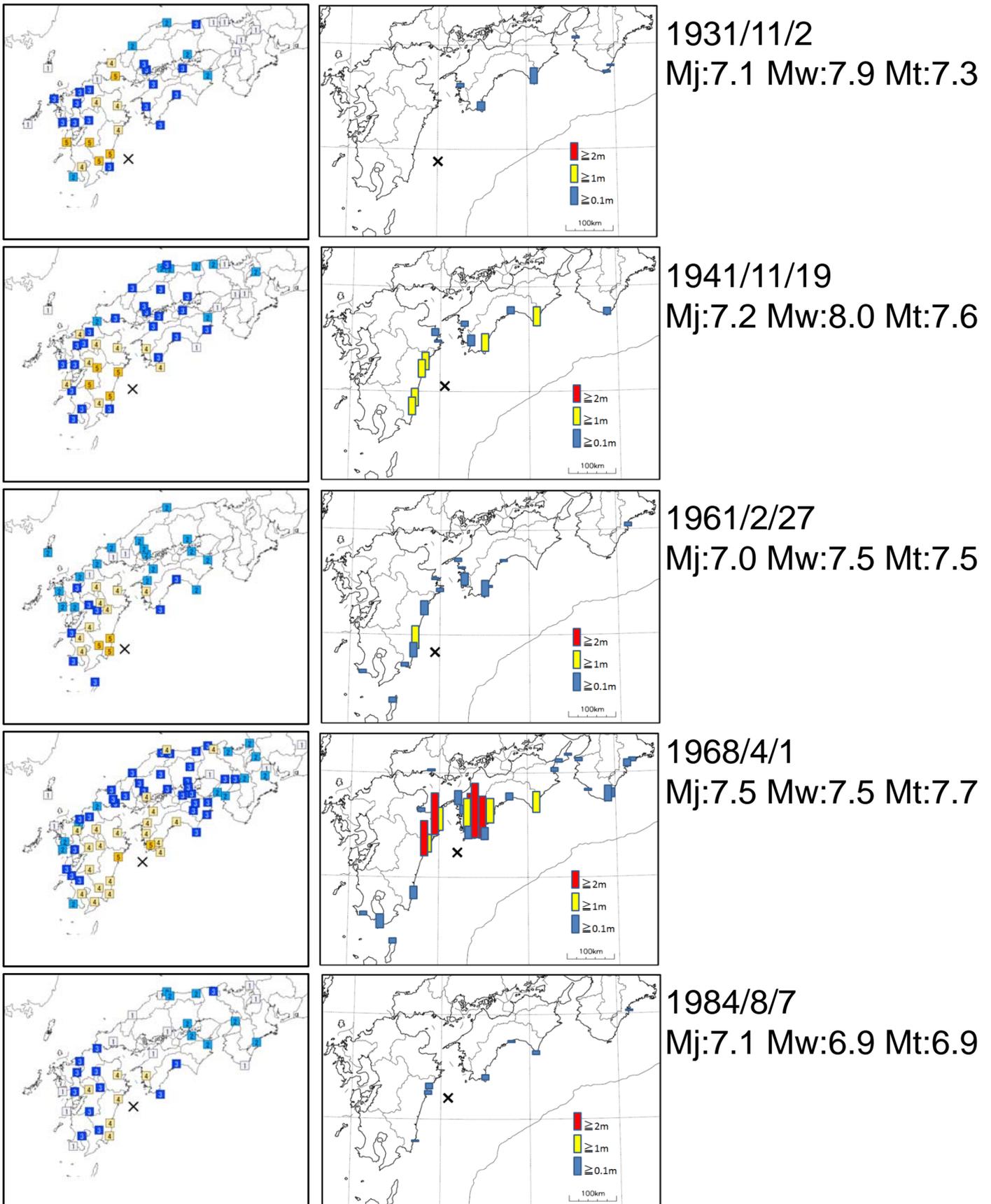


図2 日向灘における過去の地震



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。

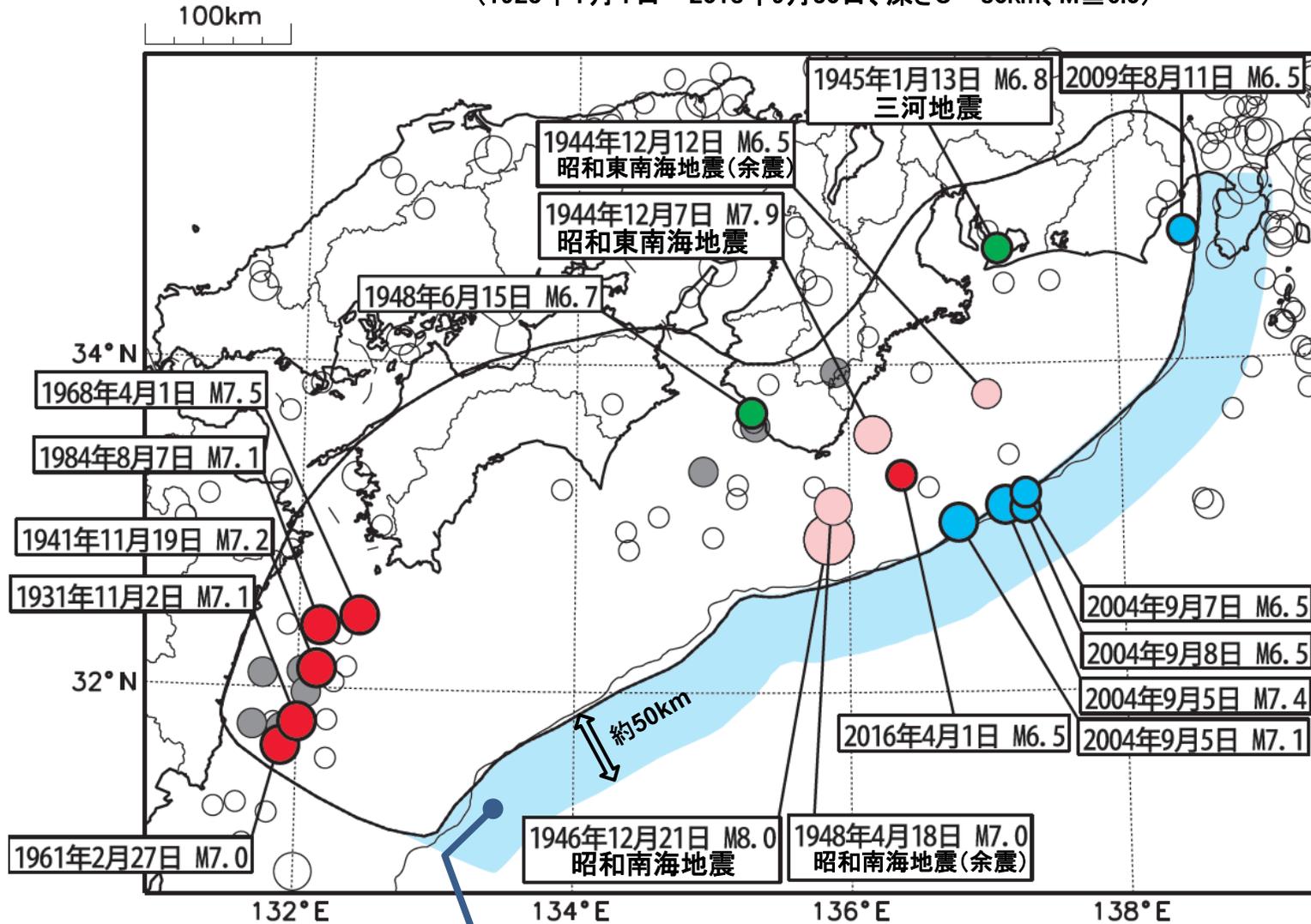
図3 日向灘で発生したM7以上の地震の震度分布・津波観測値

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 (M6.5以上)
 - フィリピン海プレート内部 (M6.5以上)
 - 地殻内 (M6.5以上)
 - 発生場所の詳細が評価されていない地震 (M6.5以上)
 - (M6.4以下の地震)
- M
- 8.0
 - 7.0
 - 6.5
 - 6.0

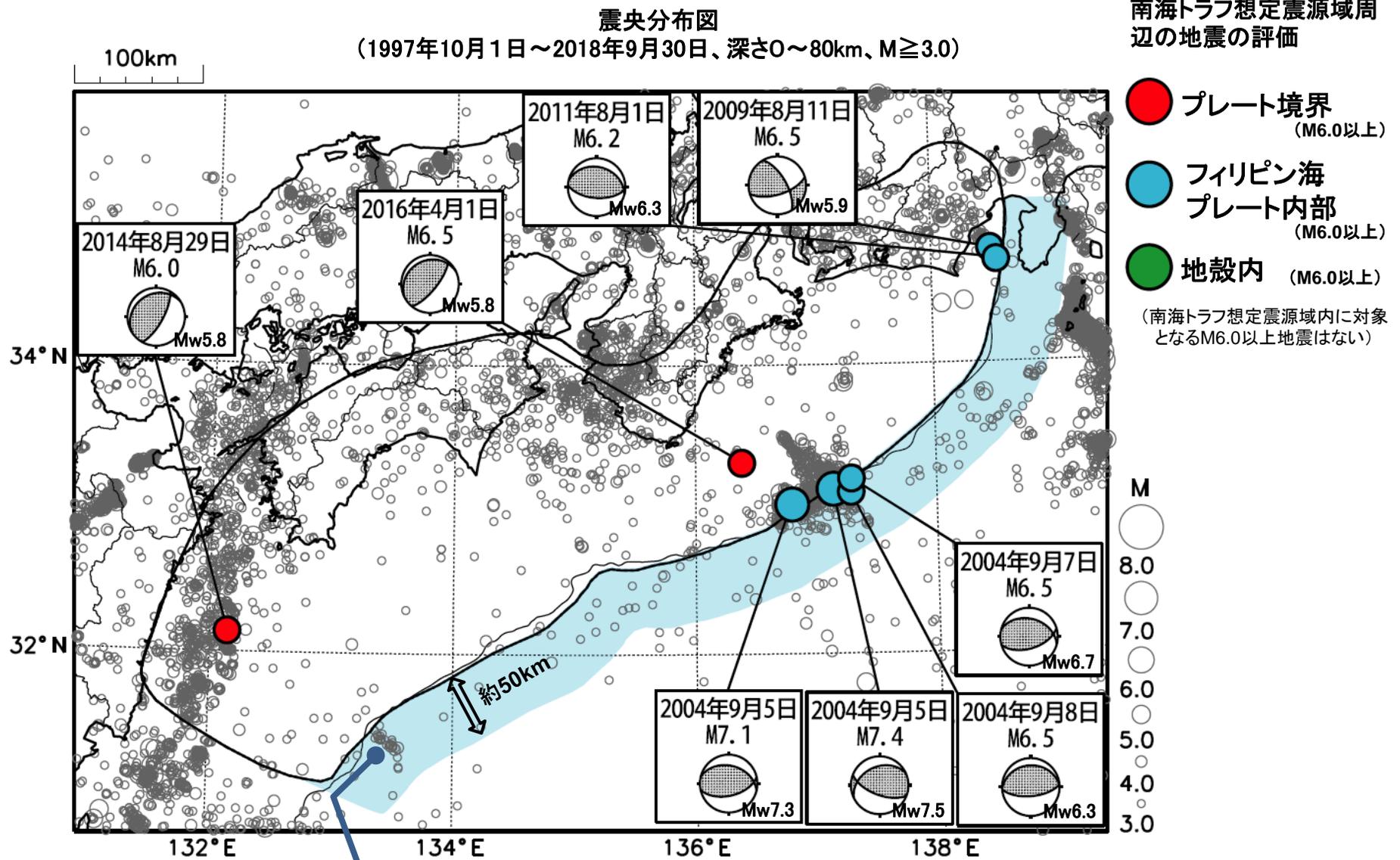


海溝軸外側で発生した地震のうち、一部割れケースの地震と同様に取り扱う領域。

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4 南海トラフにおける過去の地震発生



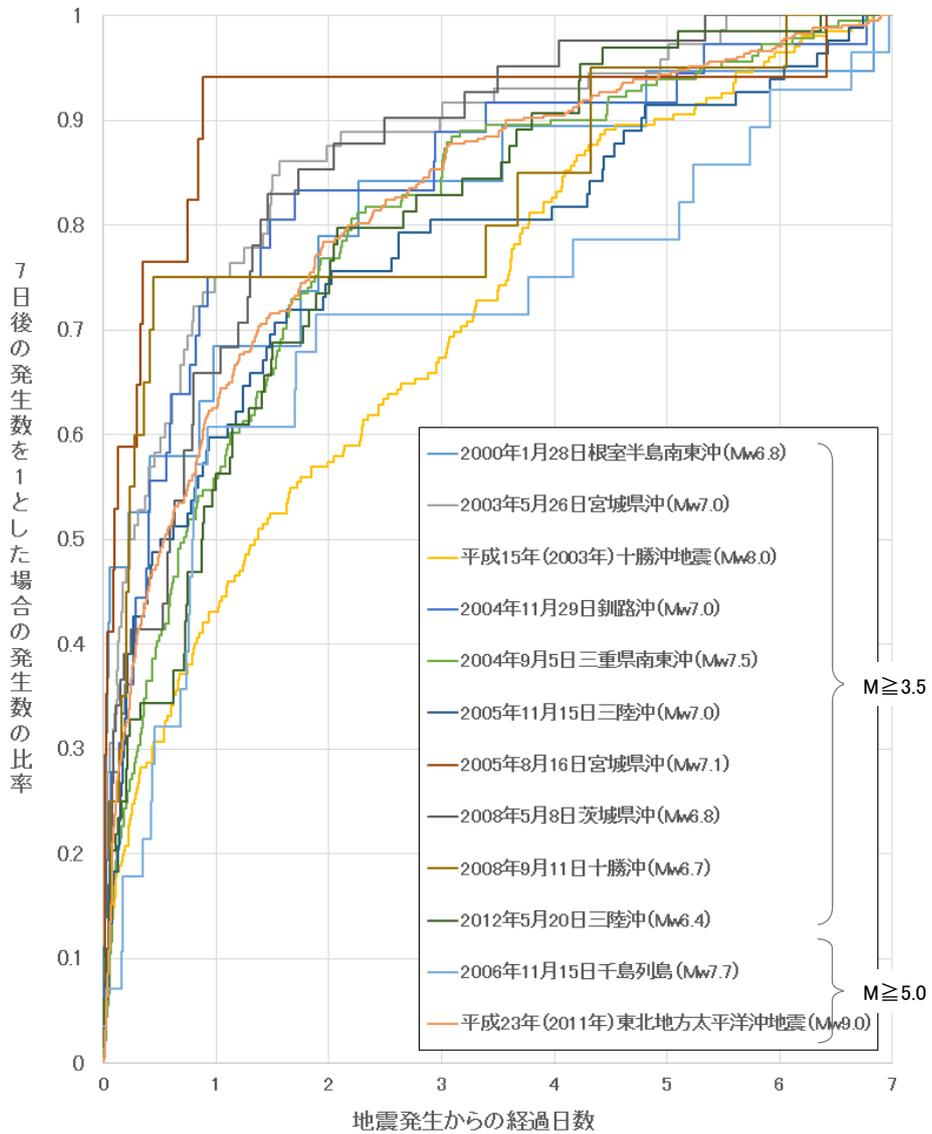
海溝軸外側で発生した地震のうち、一部割れケースの地震と同様に取り扱う領域。

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。

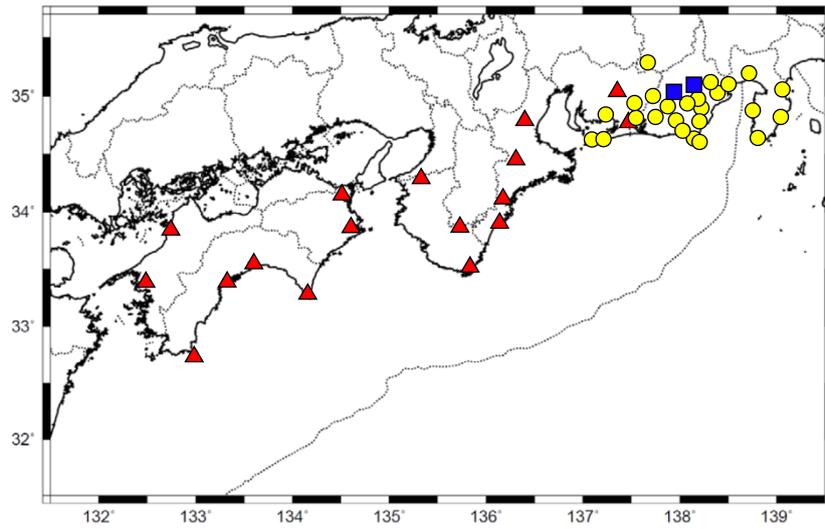
主な地震の回数比較グラフ(海域で発生した地震)



- ・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6 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

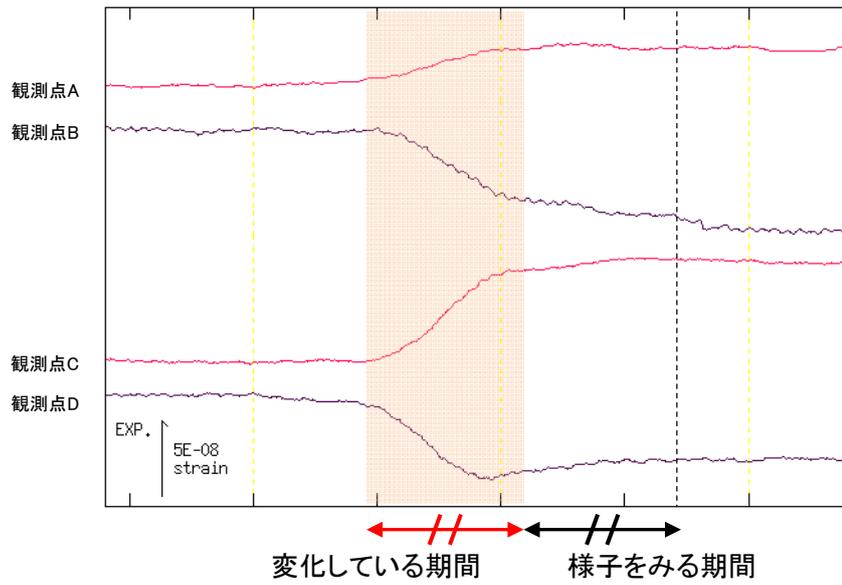


図7 ゆっくりすべり現象の始まりと終わりの判断

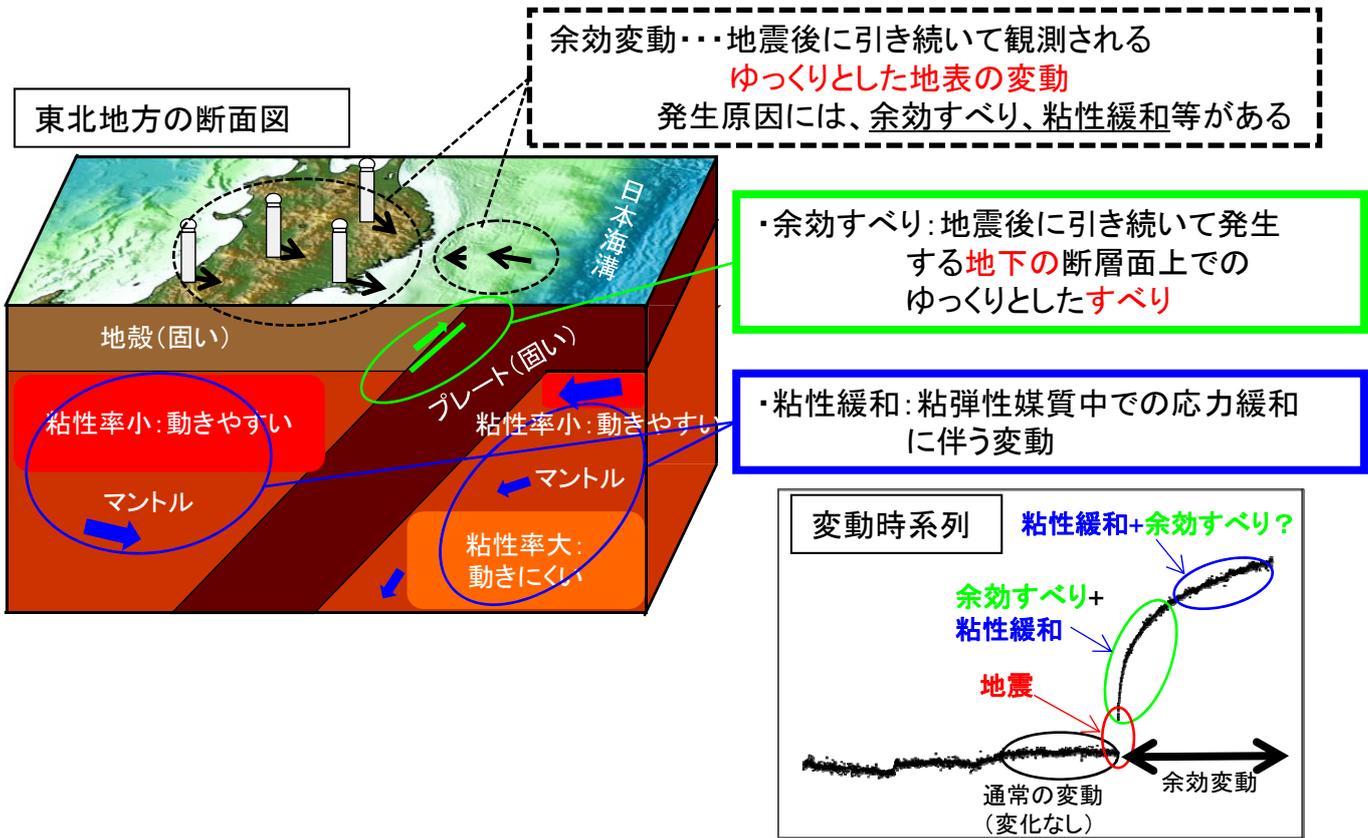


図8 余効変動と発生原因

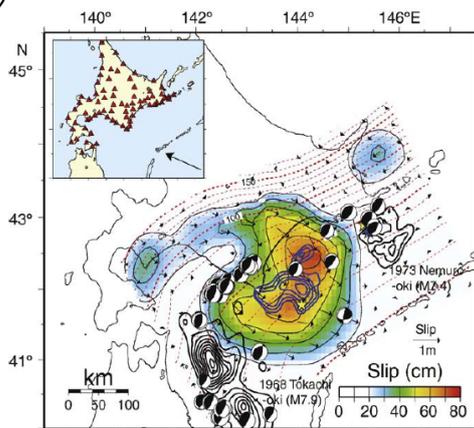
余効すべりの把握がなぜ必要か？

【2003年十勝沖地震】

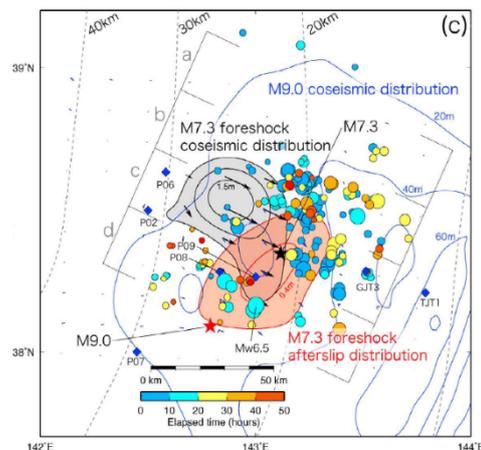
2003年十勝沖地震の余効すべり域が東深部に拡大し、2004年11月の釧路沖の地震(M7.1)の発生を促進した。(Murakami et al., 2006, Uchida et al., 2009等)

【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)



Uchida et al. (2009)



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9 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) 	<div style="border: 1px solid gray; border-radius: 15px; padding: 10px;"> 暫定的な防災対応が必要か。情報発表の仕方[P] </div>
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)※ ○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"> ○南海トラフ地震に関する情報(臨時:第1報) ○地震情報(震源・震度に関する情報等) ○津波情報 ○津波警報等 		
(随時)					
～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) 		
		半割れケースが発生した旨の評価結果公表			
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する情報(続報) ○随時報道発表(必要に応じて記者会見) 		

図10 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