

2（2）南海トラフの巨大地震総合研究

「南海トラフの巨大地震」総合研究グループリーダー 澁谷拓郎
(京都大学防災研究所)

本研究グループは、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」において、海溝型地震部会、データベース・データ流通部会、地震動・津波等の事前予測・即時予測部会、史料・考古部会、地震・火山災害部会、地震先行現象・地震活動評価部会等で行われている南海トラフの巨大地震に関する研究について部会を横断する形でまとめ、総合的に推進することを目的とする。さらに、東京大学地震研究所と京都大学防災研究所との拠点間連携共同研究における参加者募集型研究として実施される、「巨大地震のリスク評価の精度向上に関する新パラダイムの構築」による南海トラフ巨大地震のリスク評価についての研究とも連携を図って、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」による南海トラフ巨大地震の現象解明、発生予測、災害誘因予測を目指した研究と、拠点間連携共同研究のリスク評価の研究との橋渡しを模索することも、本研究グループの目的である。

本研究グループでは、南海トラフ巨大地震の災害軽減に資する研究のスキームとして、地震の発生、地震波の伝播という事象の時間経過およびそれらに伴う情報の伝達の方向性に従い、「震源・地震像」、「地殻構造・波動伝播」、「強震動・津波予測」、「地盤構造・地すべり」、「被害予測（建築物・構造物）」、「リスク評価」という研究項目が並び、これらを「基盤観測・データ流通・データベース・モニタリング」が支え、各研究項目から情報が社会に向かって発信されるという構図を考え、これをもとに南海トラフの巨大地震に関連する研究課題の成果をまとめた。

1. 平成 29 年度の研究成果の概要

平成 29 年度の「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」における研究課題のうち、南海トラフの巨大地震に関する研究であることが自己申告されたもの、および研究成果報告からそう判断されるものは、59 課題であった。部会別には、「海溝型地震」が 14 課題、「データベース・データ流通」が 19 課題、「地震動・津波等の事前予測・即時予測」が 7 課題、「史料・考古」が 5 課題、「地震・火山災害」が 3 課題、「地震先行現象・地震活動評価」が 2 課題、「拠点間連携」が 9 課題であった。さらに、主な成果について、上述のスキームにおける研究項目で整理すると、「震源・地震像」が 19 課題、「地殻構造・波動伝播」が 7 課題、「強震動予測・津波予測」が 4 課題、「地盤構造・地すべり」が 5 課題、「被害予測（建築物・構造物）」が 2 課題、「リスク評価」が 2 課題、「基盤観測・データ流通」が 25 課題、「情報発信」が 3 課題（複数の研究項目に該当する課題あり）であった。以下に、主な研究項目の成果を述べる。

（1）震源・地震像

ア. プレート境界面の固着状態

海上保安庁〔課題番号：8001〕や名古屋大学〔課題番号：1703〕の GPS－音響測距結合方式による海底地殻変動観測のデータと国土地理院〔課題番号：6005〕の GEONET による陸域の地殻変動データ等を用い、ブロック運動の効果も取り込んだすべり欠損速度の推定が、Nishimura et al. (2018) や名古屋大学〔課題番号：1703〕により行われた。南海トラフ巨大地震の想定震源

域は、全体的に正のすべり欠損速度をもっており固着しているが、日向灘、室戸岬沖、潮岬沖、熊野灘の一部に部分的に固着が弱い領域が存在し、プレート境界面の固着状態が不均質であることが確認された。

東京大学地震研究所〔課題番号：1509〕は、豊後水道周辺における機動的GPS観測を強化・継続し、当該地域で繰り返し発生する長期的SSE (Slow Slip Event) の研究を行っている。2015年12月から開始した長期的SSEは、過去の履歴から予想されたMw (モーメントマグニチュード) の数分の1にしか達してないことが分かった。本格的な長期的SSEは今後発生すると予想している。東海地域においてもGNSS観測データを用いた長期的SSEの解析を行い、2013年から開始した長期的SSEは、2016年1月までに最大すべり量が7cmに達し、Mwも6.6になったという結果を得た (Kato et al., 2017; Sakaue et al., 2017)。産業技術総合研究所〔課題番号：5007〕は、防災科学技術研究所および気象庁との共同研究により、3機関のひずみ・地下水・傾斜データをリアルタイムで共有して南海トラフ周辺地域の短期的SSEを解析し、2016年11月～2017年10月の間に27の短期的SSEの断層モデルを決定した (Araki et al., 2017)。

イ. 歴史地震の地震像

史料・考古の研究では、名古屋大学〔課題番号：1701〕は、安政の東海・南海地震の被害、とくに尾張藩の被害について、古文書の翻刻・解読を行った (石川, 2018)。また、高知県神社明細帳にある安政、宝永、白鳳における南海トラフ地震の記載をまとめた。京都大学防災研究所〔課題番号：1901〕は、複数の写本を検討し、より原本に近い史料を特定して未読箇所を翻刻し、1707年宝永地震の本震と翌日発生した余震の震源域の推定に重要な情報を得た (服部・中西, 2017)。東京大学史料編纂所〔課題番号：2601〕は、東海地方にあつて長期間にわたる日記が現存する三河国田原藩 (愛知県田原市) の「田原藩日記」 (田原市博物館所蔵) の調査・撮影と、嘉永七年 (1854年) の南海地震関連の史料について、「今中文庫史料」 (広島大学中央図書館所蔵)、「津山藩勘定奉行日記」 (津山郷土博物館所蔵)、「売用日記」 (岡山県倉敷市竜王会館所蔵)、「矢吹家文書」 (岡山県立記録資料館所蔵) の調査を実施した。

産業技術総合研究所〔課題番号：5004〕は、駿河トラフの陸域延長部である富士川河口断層帯を挟んだ隆起側と沈降側でボーリングコア試料の解析を行い、富士川河口断層帯の一部である入山瀬断層の平均変位速度は従来の推定値 (7m/千年) よりもかなり小さい (1～2m/千年) という結果を得た。また、奄美群島喜界島ではサンゴマイクロアトール (小環礁) の調査から、過去150年以上に渡り地殻が安定していることや、16～17世紀に25cm程度の間欠的隆起があったことを発見した。

(2) 地殻構造・波動伝播

ア. プレート形状・構造

東京大学地震研究所〔課題番号：1509〕は、四国西部地域における比抵抗構造をネットワークMT応答関数のインバージョンにより求めた (Ueshima et al., 2017)。フィリピン海プレートの上盤側の中部地殻内、約20kmまでの深さに顕著な低比抵抗域が認められた。さらに、それより深部において、沈み込むスラブに沿って最大10km程度の厚さを持つ160 Ω m程度の (その直上の上盤比抵抗より約2.5倍小さい) 弱い低比抵抗帯が認められた。沈み込むスラブに沿う水の存在が示唆される。

名古屋大学〔課題番号：1703〕は、東海地域において ACROSS 震源を用いた地震波速度の時間変化の解析を行い、2004 年～2017 年において地震波速度が徐々に速まる傾向にあることと、2011 年東北地方太平洋沖地震の際には地震波速度が遅くなったことを見出した。

京都大学防災研究所〔課題番号：1904〕は、南九州地域に設置されている定常観測点と臨時観測点における 2011 年 2 月から 2016 年 3 月までの P 波走時の読み取りデータを用いて、トモグラフィ解析を行った（澁谷・他，2017）。その結果、深さ 10 km では新燃岳、桜島、開聞岳の近傍に低速度異常が見られること、深さ 20 km では上記の 3 火山の付近に強い低速度異常域が広範囲に広がっていること、日向灘の沿岸部付近にも強い低速度異常が見られること、海洋地殻は深さ 30 km と 40 km では低速度異常を示すが、深さ 50 km と 60 km では高速度異常を示し、それ以上深ではまた低速度異常を示すこと、などの特徴を見出した。

鹿児島大学〔課題番号：2301〕は、南西諸島北部域において、長期収録型海底地震計のデータも使用したトモグラフィ解析を行い、当該地域の 3 次元速度構造を推定した（八木原，2017）。さらに、この構造を用いて再決定した震源分布と、40km 以浅の地震で節面の走向が海溝軸とほぼ平行な低角逆断層型の地震の分布を用いて地震面の等深線を求め、プレート境界面の形状を推定した（図 1）。図 1 の右側に示すように、再決定された震源分布は、60～80km 以深においてグローバルなプレート形状モデル Slab1.0（Hayes et al., 2012）より深い方向にずれる。

（３）強震動予測・津波予測

ア．震源メカニズムの即時推定

国土地理院〔課題番号：6004〕は、大地震の際に GNSS 解析から得られるリアルタイム地殻変動データを用いて、地殻変動の原因である断層の震源メカニズムを即時推定する技術の開発を行った（Kawamoto et al., 2017）。

イ．津波予測

防災科学技術研究所〔課題番号：3001〕は、海域観測記録を適切に利用した巨大地震による津波発生・伝播シナリオを構築するため、独自の固液複合波動場計算と高解像度浸水計算とを組み合わせる技術開発を行った。

（４）地盤構造・地すべり

ア．奈良盆地モデルの構築

奈良盆地は堆積層厚最大約 600m と推定される堆積盆地で、奈良盆地東縁断層帯、生駒断層帯、中央構造線断層帯の金剛山地東縁セグメントなどの活断層に囲まれ、南海トラフ地震の想定断層面からも 50～60km と比較的近い距離にあるなど地震ハザードの高い地域である。奈良盆地の堆積層の 3 次元速度構造モデルは、平成 25～27 年度文部科学省委託研究「中央構造線断層帯（金剛山地東縁－和泉山地南縁）における重点的な調査観測」のもとで構築された。京都大学防災研究所〔課題番号：1911〕は、このモデルをもとに、データの追加、モデル作成方法の改良、モデル検証の追加を行い、奈良盆地堆積層速度構造モデルの改良を行った（関口・他，2018）。

イ．地すべり発生ポテンシャル評価

京都大学防災研究所〔課題番号：1912〕は、南海トラフおよび相模トラフの海溝型地震によって発生した大規模崩壊について、航空レーザー計測による地形解析、現地調査、および室内分

析によってそれらの特徴を明らかにし、共通する地質・地形的特徴を抽出した。既往の南海トラフおよび相模トラフの海溝型地震による大規模な崩壊は、特に外帯の付加体に発生しており、地質構造的には流れ盤斜面（地層の傾斜方向と斜面の傾斜方向が一致する斜面）の座屈した地層と曲げトップリング（地層が斜面前方に倒れ込む現象）を起こした地層に発生していることが多いこと、さらに、これらは地形的特徴と概略地質構造によって抽出可能であることを明らかにした（千木良，2017）。

（５）リスク評価

ア．地域社会の脆弱性測定

名古屋大学〔課題番号：1704〕は、(1)土地利用変化と空間に現れる脆弱性、(2)リスク認知と防災意識および備え、(3)自主防災活動に見られる社会的凝集性と地域防災力という観点から、地域社会の脆弱性に関する研究を行った。

（６）情報発信

ア．防災情報の発信と防災知識の普及啓発

気象庁〔課題番号：7012〕は、気象庁から発表する地震・津波に関する防災情報の高度化を図るため、緊急地震速報評価・改善検討会などの検討会等を開催し、報道発表等により広く情報共有を行った。また、気象庁は「南海トラフ地震に関連する情報」を発表することとし、平成29年11月1日からその情報の運用を開始した。この他、気象庁〔課題番号：7020〕は関係機関と連携し、地域の状況にあった様々な手段を用いて、地震・津波及び火山に関する知識や防災行動についての普及啓発に継続的に取り組んだ。

２．研究集会

本研究グループの3回目の研究集会を平成29年10月10日に京都大学宇治キャンパスにおいて開催した。テーマは2回目と同じで、南海トラフ巨大地震のもっともらしい地震像と発生予測とし、以下に示す6件の話題提供を受けた。

発表タイトル	発表者	備考
史料地震学でみた南海トラフ巨大地震の発生履歴の問題点	石橋克彦 (元神戸大)	歴史地震
南海トラフ地震の規則性・不規則性とその課題	古村孝志 (東大地震研)	南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト
巨大地震による強震動予測のための強震動生成領域に対する距離減衰式の適用	宮澤理稔 (京大防災研)	拠点間連携共同研究
固着の剥がれ方の多様性と大地震の発生	加藤愛太郎 (東大地震研)	スロー地震

南海トラフ域でのモニタリングと推移予測のための不均質構造モデル構築と解析手法の高度化	堀 高峰 (海洋研究開発機構)	南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト
次の南海トラフ巨大地震発生前・時・後に何が起きるのかをモニタリングする調査観測	平原和朗 (京大理)	モニタリング

南海トラフ巨大地震のもっともらしい地震像については、これまでの発生履歴に学ぶことが必要と考え、歴史地震から1話題、そして、南海トラフ巨大地震の発生予測の観点から、本研究グループと同じ南海トラフ巨大地震をテーマとしている地震調査研究推進本部の委託研究「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」から2話題と地震・火山噴火予知研究協議会の「拠点間連携共同研究」から1話題、スロー地震とモニタリングの話題を取り上げた。

ここでは、堀氏の話題について少し詳しく紹介する。南海トラフ巨大地震の震源域の一部で地震が起きたらその後どうなるか、という問題提起があった。図2に示すように、(1)東海地震(M〜8)が起きたら、(2)南海地震(M〜8)が起きたら、(3)2011年東北地方太平洋沖地震の前震のようなM〜7の地震が起きたら、(4)2016年4月1日三重県南東沖の地震(Mj6.5)のように、M〜6の地震が起きたら、その後どうなるかということである。この問いに答えるには、起きた地震の震源域の広がり地震後に起きている変動を把握し、残りの震源域での地震にどう進展するかを推定する必要がある。図3は、(4)の場合のM〜6の地震発生後に起こり得る異なるシナリオの例である。左側に示すシナリオでは、2016年4月1日三重県南東沖の地震のように、余効すべりはしばらくすると治まるが、右側のシナリオでは、余効すべりが深い側にも継続し、数年後にM8クラスの地震に発展する。2016年4月1日三重県南東沖の地震の場合は、たまたま震源域の真上に海底水圧計があり、その水圧変化のモニタリング結果から地殻変動が比較的短い時間で収まったことがわかった。起きた地震の震源域の広がり地震後に起きている変動をより正確に把握するためには、面的な広がり密度をもった海底観測の強化が必要である。さらに、3次元不均質構造を考慮した解析が必要であるが、このためには、不均質構造モデルと計算ツールの高度化が必要である。

研究集会の総合討論では、「もっともらしい」地震像に対して、以下のような意見が提起された。

- ・「もっともらしい」には、次にくる地震としてもっともらしいという意味のほかに、防災対応を考える上でターゲットとすべきという意味も考えられる。
- ・防災対応を考える上で「もっともらしい地震」としては、過去の地震規模に対応するM8前半、M8後半、およびM9の3パターンくらいを提示するのが妥当ではないか。南海トラフ地震としてはいろいろの規模があること、また次にくるものが確定できないことを認識してもらうためにも、妥当な範囲で複数挙げるのがよいと思う。

これまでの課題と今後の展望

冒頭で述べたように、本研究グループの目的は、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」において、部会ごとに推進されている研究成果を、部会を横断する形でまとめ、南海トラフ巨大地震の災害軽減に資する研究を総合的に推進することである。このためには、地震の発生、地震波の伝播という事象の時間経過およびそれらに伴う情報の伝達の方法性に従い設定した「震源・地震

像」，「地殻構造・波動伝播」，「強震動・津波予測」，「地盤構造・地すべり」，「被害予測（建築物・構造物）」，「リスク評価」という研究項目において，それぞれの上流と下流でなされている研究や必要とされるアウトプットを認識し，研究を行うことが必要と考えられる。このため，研究項目間のコミュニケーションを図ることが重要であり，現行計画では，研究集会を通して研究項目間のコミュニケーションの活性化を実施してきた。しかしながら，年1回開催する研究集会のみでは十分なコミュニケーションを実現することには限界があると思われる。次期計画においては，関連する研究項目を代表する研究者が本研究グループを構成する体制とするなど，部会を横断する研究の推進に関する組織面でのサポートが必要であると考ええる。

成果リスト

- Araki., T., Ochi, T., Matsumoto, N., and Akaho, S., 2017, Simultaneous estimation of spatio-temporal distribution and duration of slow slip event by switching model, *Journal of Signal Processing*, 21, 297-308.
- 千木良雅弘, 2017. 南海トラフおよび相模トラフの大地震による深層崩壊 JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張, HDS17-05.
- 服部健太郎・中西一郎, 2017, 1707 年宝永地震と富士山宝永噴火に関する一史料～駿河湾北岸域における宝永地震翌朝に感じた大きな余震及び白鳥山の崩壊を記した行方不明史料の発見と既刊史料集に掲載された翻刻文の検討～, *地震* 2, 70, 41-55.
- 石川寛, 2018, 安政東海・南海地震の被害と尾張藩の救済―史料学的検討を踏まえて, *愛知県史研究*, 22, 1-16
- Kato, T., H. Sakaue, T. Nishimura, R. Ikuta, and Y. Harada, 2017, Analysis of detailed crustal strains due to the dense GNSS array in the Tokai region, central Japan, J03-P-02, IAG-IASPEI 2017, Kobe, July 30 - August 4.
- Kawamoto, S., Y. Ohta, Y. Hiyama, M. Todoriki, T. Nishimura, T. Furuya, Y. Sato, T. Yahagi, and K. Miya-gawa, 2017, REGARD: A new GNSS-based real-time finite fault modeling system for GEONET, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, 1324-1349, doi:10.1002/2016JB013485.
- Nishimura, T., Y. Yokota, K. Tadokoro & T. Ochi, 2018, Strain partitioning and interplate coupling along the northern margin of the Philippine Sea plate, estimated from Global Navigation Satellite System and Global Positioning System-Acoustic data, *Geosphere*, 14 (2), 535-551, doi: 10.1130/GES01529.1.
- Sakaue, H., T. Nishimura, J. Fukuda and T. Kato, 2017, Estimation of the spatiotemporal evolution of slow slip events in the Tokai region, central Japan, during 1994 - 2016 using GNSS data, S41C-0795, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, 11-15 Dec.
- 関口春子・浅野公之・岩田知孝, 2018, 奈良盆地の堆積層構造のモデル化, 平成 29 年度 京都大学防災研究所研究発表講演会, P19.
- 澁谷拓郎・寺石眞弘・小松信太郎・山崎健一・山下裕亮・大倉敬宏・吉川慎・井口正人・為栗健・園田忠臣, 2017, 地震学的手法による南九州下のフィリピン海スラブの構造の推定, 日本地震学会 2017 年秋季大会 (かごしま県民交流センター, 鹿児島市), S06-P15, 2017 年 10 月 27 日

Uyeshima, M., M. Hata, H. Ichihara, R. Yoshimura and K. Aizawa, 2017, Network-MT survey in the vicinity of area with a forthcoming slow slip event in the SW part of Shikoku Island, SW Japan, J06-P-14, IAG-IASPEI 2017, Kobe, July 30- August 4.

八木原寛・平野舟一郎・小林励司・宮町宏樹・中尾茂・後藤和彦・馬越孝道・内田和也・松島健・清水洋・中東和夫・山下裕亮・阿部英二・池澤賢志・諏訪祥士・山田知朗・篠原雅尚, 2017, 南西諸島北部の海域及び島嶼域における地震観測によるプレート境界面形状の推定 (4), 2017 年日本地震学会秋季大会.

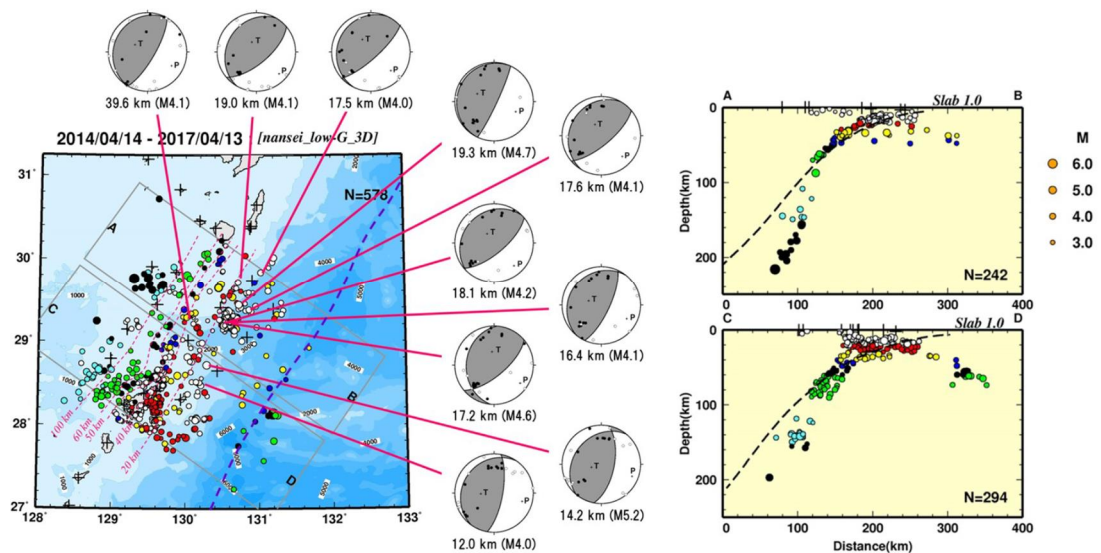


図1. 南西諸島北部域における震源分布、及び低角逆断層型のメカニズム解

震源決定において、収束解が得られた地震のみをプロットした。シンボルの色は震源の深さに対応する。+は地震観測点を示す。矩形領域A-BとC-Dに挟まれた領域が概ねトカラ海峡と一致する。断面図上の点線は、グローバルなプレート形状モデル：Slab 1.0 (Hayes et al., 2012) を示す。震央分布図には、震源分布から推測される地震面の等深度線（マゼンタの点線）を示した。海域及び島嶼域観測網のデータから得られた低角逆断層型の震源メカニズム解（1枚のnodal planeの走向が海溝軸とほぼ平行で傾斜角が低角である地震のみ）を下半球投影で示した。深さ20 kmの等深線は、低角逆断層型の解をもつ地震の震央と深さ、および40 km の等深線とを内挿することで推定した。青点線は海底地形から推定した海溝軸を示す。（鹿児島大学〔課題番号：2301〕）

次の地震に備える上で知りたいことの1つ

震源域の一部で地震が起きたらその後どうなるか？



- ・ 起きた地震の震源域の広がりを正確に把握
- ・ 地震後どのような変動が起きているか？
- ・ 残りの震源域での地震にどう進展するか？

図2. 南海トラフ巨大地震の震源域のセグメントとM8クラス、M7クラス、M6クラスの地震の震源域の模式図

黄色は地震性すべり域（強震動発生域）を、緑色は低速すべり域（津波発生域）を、それぞれ示す。南海トラフ巨大地震の震源域の一部で地震が起きたらその後どうなるか、ということは、次の地震に備えるうえで知りたいことのひとつである。上から、（1）M~8の東海地震が起きた場合、（2）M~8の南海地震が起きた場合、（3）M~7の地震が起きた場合、（4）M~6の地震が起きた場合、を示す。（3）の例としては、南海トラフ域ではないが、2011年東北地方太平洋沖地震の2日前に近傍で $M_w=7.3$ の地震が発生したケースがある。（4）の例としては、2016年4月1日に東南海震源域内で発生した $M_j=6.5$ （ $M_w=5.8$ ）の地震のケースがある。（堀高峰，研究集会での発表PPT）

起こり得るシナリオの例（2つの比較）

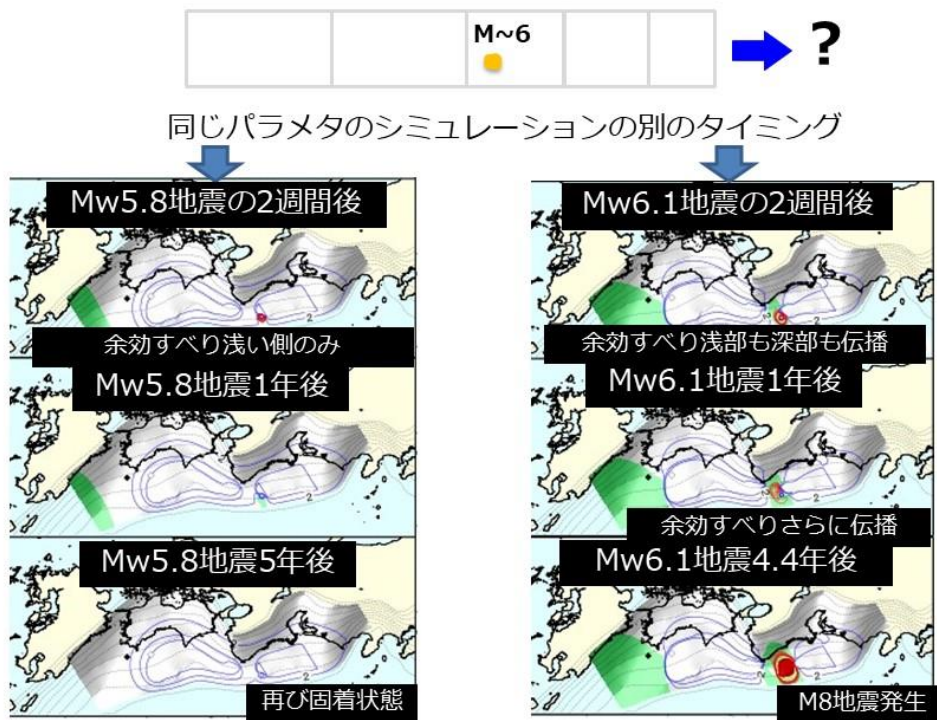


図 3. 南海トラフ域での地震発生シミュレーションにおける $M \sim 6$ の地震発生後に起こり得るシナリオの例

2016 年 4 月 1 日の三重県南東沖の地震 ($M_w=5.8$) と同程度の地震が起こるように、小規模な摩擦の不均質を与え、同じ摩擦パラメータで繰り返し $M \sim 6$ の地震と $M \sim 8$ の地震が起こる状況での 2 つの異なる結果を示す。左は実際の場合と類似しており、余効すべりは浅い側だけに伝播して、しばらくすると収まる。右は余効すべりが深い側にも広がり、数年後に M8 クラスの地震に発展する。

色の着いているところがプレート収束速度よりも速いすべりが生じているところ。

（堀高峰，研究集会での発表 PPT）