

# 南海トラフ巨大地震の予測に向けた観測と研究

開催日 平成28年9月30日(金)

開催場所 東京大学武田先端知ビル内・武田ホール(東京都文京区弥生 2-11-16)

主催 東京大学地震研究所地震・火山噴火予知研究協議会

共催 日本地震学会

南海トラフでは将来巨大地震が発生することが予測されているが、その中短期予測が可能になれば、巨大地震による災害の軽減に有効と考えられる。現時点で、南海トラフ巨大地震の予測はどのくらい現実的であるのか、実現するためにはどのような観測や研究が必要か、また、予測を災害軽減に役立てるにはどうすればよいか、等について最新の研究成果に基づき議論する。

司会 谷岡 勇市郎(北海道大学)

- 10:20 10:30 平原 和朗(京都大学大学院理学研究科)  
開会の挨拶
- 10:30 10:45 山岡 耕春(名古屋大学大学院環境学研究科)  
南海トラフ地震予測可能性調査部会報告について
- 10:45 11:05 矢来 博司(国土地理院)  
GEONETによる南海トラフ沿いの断層滑りの把握能力
- 11:05 11:20 齊藤 竜彦・福山 英一・武村 俊介(防災科学技術研究所)  
動力学的断層破壊シナリオによる地震波・津波記録の理論合成
- 11:20 11:35 榎本 祐嗣(信大)・日置 幸介(北大)・杉浦 繁貴・奥村 暢朗(コンボン研究所)  
プレート境界地震準備過程のモデリングとリアルタイム先行現象観測のための設計科学
- 11:35 11:50 山中 佳子(名古屋大学大学院環境学研究科)  
昭和東南海地震のアスペリティが見えた?
- 11:50 12:05 趙 大鵬(東北大学)  
スラブ境界域の構造不均質と南海トラフの巨大地震
- 12:05 13:35 昼休み, ポスター発表
- 司会 澁谷 拓郎(京都大学防災研究所)
- 13:35 13:55 央倉 正展(産業技術総合研究所)  
古地震からみた南海トラフ巨大地震の多様性と規模
- 13:55 14:15 中谷 正生(東京大学地震研究所)  
巨大地震の前兆現象
- 14:15 14:35 小原 一成・加藤 愛太郎(東京大学地震研究所)  
スロー地震の巨大地震との関連性
- 14:35 14:55 石川直史(海上保安庁)  
GPS-A海底地殻変動観測から推定される南海トラフのすべり欠損分布
- 14:55 15:15 松本 則夫(産業技術総合研究所)  
南海トラフ地震予測のための地下水等総合観測施設
- 15:15 15:30 ロバート・ゲラー(東京大学大学院理学系研究科)  
「南海トラフ巨大地震」とは? 「予測」とは?
- 15:30 15:45 休憩

- 15:45 16:05 西村 卓也(京都大学防災研究所)  
測地観測による地震先行現象の検知について
- 16:05 16:20 加藤 愛太郎(東京大学地震研究所)  
チリ沖巨大地震発生前の固着の剥がれ方の多様性
- 16:20 16:40 前田 憲二・弘瀬 冬樹・小林 昭夫(気象研究所)  
東北沖地震(M9.0)前に観測された前兆的な地震活動・地殻変動  
—南海トラフ大地震前に期待される前兆的現象—
- 16:40 17:00 井出 哲(東京大学大学院理学系研究科)  
地震の階層的空間固有性と確率予測
- 17:00 17:20 堀 高峰(海洋研究開発機構)  
プレート境界での固着・すべり状態のモニタリングと推移予測にもとづく  
南海トラフ沿い巨大地震の発生予測の現状と課題
- 17:20 17:40 田中 淳(東京大学大学院情報学環)  
意思決定プロセスから見た災害情報の方向性
- 17:40 18:00 森本 輝(内閣府)  
南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキンググループについて
- 18:00 山岡 耕春(名古屋大学大学院環境学研究科)  
閉会の挨拶

**ポスター発表(ボードのサイズは縦180cm x 横90cmです)**

利根川 貴志・荒木 英一郎・木村 俊測(海洋研究開発機構)・中村 武史(防災科学技術研究所)・中野 優(海洋研究開発機構)

南海トラフ付加体先端部におけるS波速度構造の時間変化

山下 幹也・仲西 理子・三浦 誠一・小平 秀一(海洋研究開発機構)・金田 義行(香川大学)

高精度イメージングから得られた南海トラフ軸周辺の変形構造

楠城 一嘉(静岡県立大学)・吉田 明夫(静岡大学)

来るべく南海トラフ地震で期待される“前兆現象”

金 幸隆(大阪市立大学)

南海トラフ東部の海底変位地形:数値水深モデル(50 mメッシュ・150 mメッシュ)から推定された  
石廊崎断層と下田沖断層帯と精度の限界

金 幸隆(大阪市立大学)・萬年 一剛(温泉地学研究所)

堆積性海岸低地帯の微地形形成プロセス:三浦半島南部の上下地殻変動・残留隆起量の履歴解明

中川 要之助(応用自然史研究室「人と大地」)

豊中 — 柏原断層と南海地震

猿渡 隆夫

予知例としての2016.4.1三重県南東沖地震M6.5

末 芳樹

2011年東北地方太平洋沖地震で観測された本震に先行する陸側プレートの歪限界点の到達

# 南海トラフ地震予測可能性調査部会報告について

山岡耕春（名古屋大学）（11 ポイント）

(koshun.yamaoka@nagoya-u.jp)

本報告では、東日本大震災後に行われた、内閣府の「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」（以下調査部会と略す）の議論と結論について紹介する。この調査部会は、中央防災会議の「南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ（主査：河田恵昭関西大学教授）」（以下WGと略す）のもとに設置されたものである。そのため、調査部会では、南海トラフの大規模地震について、規模・時期や連動可能性に関する予測可能性について、その時点での地震学の知見を整理するという役割をもつこととなった。作業部会の委員は座長を含め6名であり、筆者が座長を務めた。

作業部会の役割は、南海トラフの大規模地震の規模および発生時期の数日以内の予測可能性に関する科学的知見を収集・整理する、というものであった。作業部会の会合は2012年7月から2013年1月にかけて、計8回の会合を開催した。最終的には、WGの報告とあわせて2013年5月に報告書を公表した。作業部会の議事録は報告書とともに内閣府防災情報のページに公開されており、議論は詳しくたどることが可能となっている。そこで、本講演では、座長を務めたものとして、作業部会での議論について紹介するとともに、着目点について述べたい。

報告書の結論は、次の通りである。「現在の科学的知見からは、確度の高い地震の予測は難しい。ただし、ゆっくりすべり等プレート間の固着の変化を示唆する現象が発生している場合、ある程度規模が大きければ検知する技術はある。検知された場合には、不確実ではあるものの地震発生の可能性が相対的に高まっていることは言えるであろう。」また、規模や連動性についても「南海トラフ沿いのいずれの領域で地震が発生するか、あるいは複数の領域で同時に発生するかなど、発生する地震の領域や規模の予測は困難である。」としている。これらの結論は地震学コミュニティにとっても、おおむね異論は無いと考えている。

作業部会では、予知と予測の言葉の定義をめぐる誤解や混乱を防ぎ、論理的な整合性を担保するため、限り「予測」に用語を統一し、修飾語により予測の確実性を表現することにした。例えば、「確度の高い予測」という表現は、多くの人たちのイメージする「予知」に近いものであろう。作業部会では、その上で、「東海地震対策と観測体制の現状」「地震予測に対する国際的な取り組みと認識」「地震の前駆すべりと考えられた事例等」「2011年東北地方太平洋沖地震から得られた科学的知見」「地震モデルとシミュレーションから得られた科学的知見」「南海トラフ沿いの大規模地震の規模と発生時期の予測可能性に関する科学的知見」について関係機関・研究者・各委員の報告を受け、議論を重ねた。報告書の主要部分の文案についても、かなり細かい表現まで議論がおこなわれ、委員の考えが反映されたものになっている。この作業部会において報告書本文の表現にかけた時間は、筆者の委員会等の経験の中でも異例に大きいという印象を持っている。

地震防災は、地震の正確な予測は難しいと認識することがスタートである。その上で、「確度の低い予測」情報の公表に関する考え方や、公表された場合に災害軽減のために社会がどのような行動を取るかについて社会的な共通認識を確立していくことが重要であろう。

# GEONETによる南海トラフ沿いの断層滑りの把握能力

矢来博司・水藤尚・川元智司・檜山洋平（国土地理院）

(e-mail: yarai-h96rq@mlit.go.jp)

国土地理院では、全国に GNSS 連続観測点網（GEONET）を整備し、地殻変動の観測を行っている。観測点は平均間隔約 20 km で設置され、現在、全国に 1300 点余り設置されている。観測点はほぼ全点リアルタイム化されており、1 Hz の観測データがリアルタイムで収集されている。この GEONET の観測データを用いた定常解析のうち最も精度の高い F3 解では、条件が良ければ mm オーダーの地殻変動の検出も可能となっている。GEONET で捉えられた微小な地殻変動の分析により、南海トラフでは、東海地域、紀伊水道や豊後水道などにおいて長期的・短期的スロースリップイベント（SSE）が検出されている。

南海トラフにおける巨大地震の発生予測には、固着域の変化や長期的・短期的 SSE の把握、前駆的な滑りの検知などが重要と考えられる。南海トラフにおける前駆的な滑りの検出可能性について検討する上で、プレート境界面上のどの場所でどの程度の滑りであれば検知が可能なのか、その検知能力の把握が重要である。

GEONET によるフィリピン海プレート境界面上での滑りの検知能力の検証として、フィリピン海プレート境界面上での断層滑りを想定し、様々な場所・規模の断層滑りに対応する地殻変動を計算し、GEONET で地殻変動として検知できる閾値を超えるかどうかを検討した。検知能力は、地殻変動検知の閾値や検知する観測点数の設定、プレート境界面のモデルの違い等により異なるが、例えば変動検知の閾値が水平 10 mm、上下 30 mm 以上で、3 点以上の観測点で検出されることを条件とした場合には、海岸線付近でプレート境界の深さが 20 km 前後の領域で  $M_w6.0$  程度、トラフ軸付近や内陸の深さ 50 km 以深では  $M_w7.0$  以上との結果が得られた。本講演では、検知能力の検証結果の概要について紹介する。

南海トラフでの巨大地震については、地震発生前の予測も重要であるが、発生後の被害軽減もまた重要である。南海トラフで巨大地震が発生する場合、津波が到達するまでの時間が最短で数分の地域もあり、日本海溝沿いでの発生の場合に比べると非常に短いことが予想されている。従って、より短時間で正確な津波予測が必要であり、そのためには震源断層の位置、地震規模の即時把握が重要となる。国土地理院は現在、東北大学と共同で、GEONET のデータをリアルタイムで解析を行い、地殻変動と地震規模の即時推定を行うリアルタイム GNSS 解析システム（REGARD）の開発を進めている。本講演では、このシステムでの現状の地震規模把握能力など、その取り組みについても紹介する。

# 動力的断層破壊シナリオによる地震波・津波記録の理論合成

齊藤竜彦・福山英一・武村俊介（防災科学技術研究所）

(saito-ta@bosai.go.jp)

断層パラメータの相似則によって、平均的な断層モデルを設定可能である。しかし、ひとつひとつの地震に注目すると、断層幾何形状のバラツキは大きく、また、同規模の地震であっても、津波地震のように、断層運動の時定数によって、地震波と津波の励起量は大きく異なる。経験的相似則のみではなく、地震学の知見なども活用することで、巨大地震の実態とその多様性を調べることは重要である。例えば、測地データからプレート間のすべり遅れ速度を推定し、地震再来間隔を用いて、応力の蓄積を評価する。プレート間の摩擦構成則を設定し、運動方程式を用いれば、巨大地震の破壊過程を再現できる。この考えに基づき、Hok et al. (2011, JGR) は、南海トラフで発生する可能性のある巨大地震に関していくつかの地震発生シナリオを提案した。この地震発生シナリオから、地震波・津波記録を理論合成する。津波記録には、海底の水圧変化を計測する海底水圧計、水面の変位を計測する GPS 波浪計がある。通常、津波のみを考慮し、これら記録は合成される。本研究では、地震波による影響を考慮するため、地震波・津波シミュレーションによって、海底圧力変化と海面変位を合成する手法を開発した。震源域近くの海面変動では、海水の圧縮性に起因する地震波が津波に重畳するため、津波のみを計算した場合に比べて、最大変位が大きくなる。一方、沿岸近くでは、地震波と津波の到達時刻に差が生まれ、また、津波成分のみが増幅するため、最大変位や浸水は、津波のみを仮定した場合と同じである。震源域の海底圧力変化には、津波だけでなく地震波が大きな圧力変化をもたらす。この圧力変動は数分程度続くため、この間は海底水圧記録から津波波高を正確に計測することが困難となる。

地震波の励起は断層運動の時定数に強く依存し、津波は断層面の幾何形状やモーメントに強く規定される。正確な浸水予測を実現するためには、励起のメカニズムが異なる地震波と津波を混同しないで解析することが重要となる。特に、DONET など波源域内の観測では地震波と津波が混在するため、両者の分離は困難となる。数分以内の即時予測には地震波解析を利用し、海底水圧計記録は予測の信頼性向上の目的で使用することが効果的であろう。

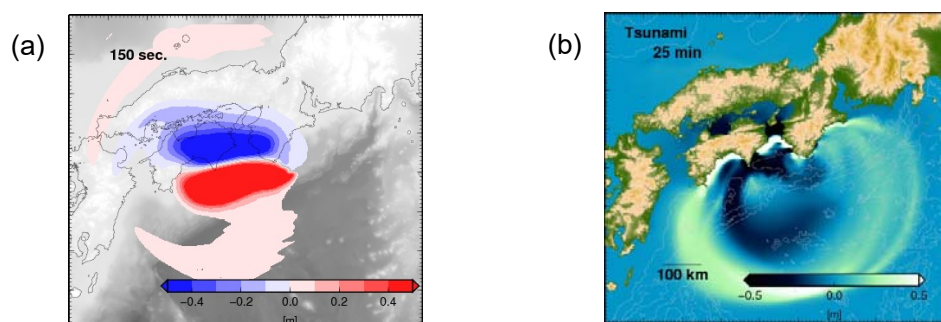


図1. 南海トラフで発生する可能性のある巨大地震による (a) 地震波と (b) 津波の伝播の様子。

## 参考文献

Hok, S., E. Fukuyama, and C. Hashimoto (2011), Dynamic rupture scenarios of anticipated Nankai-Tonankai earthquakes, southwest Japan, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 116(B12), doi:10.1029/2011JB008492.

# プレート境界地震準備過程のモデリングとリアルタイム先行現象観測のための設計科学

榎本祐嗣 (信州大)、日置幸介 (北大)、杉浦繁貴、奥村暢朗 (株)コンポン研

([enomoto@shinshu-u.ac.jp](mailto:enomoto@shinshu-u.ac.jp), [heki@mail.sci.hokudai.ac.jp](mailto:heki@mail.sci.hokudai.ac.jp), [s-sugiura@konpon.co.jp](mailto:s-sugiura@konpon.co.jp), [oku@konpon.co.jp](mailto:oku@konpon.co.jp))

## 1. はじめに

かつて日本学術会議で議論された“新しい学術の体系”<sup>1)</sup>は、現在社会が抱える”行き詰まり問題”“の解決のために、“知の営みとしての科学 (認識科学)”と“社会のための科学 (設計科学)”を認識評価するという学術研究者の意識改革の必要を指摘した。現代地震学が抱える課題に重なる。地震の本質を探る“認識科学”と地震予知を探る“設計科学”が両輪となる“新しい学術”が、課題の克服に求められている。

## 2. 巨大地震の準備過程のモデリング —2011 東北沖地震に学ぶ—

2011 東北沖地震から 5 年半が経った。その間、9 年前から始まった異常な震源西側の地殻変動<sup>2)</sup>、深部高压流体のプレート境界を通じた急な移動<sup>3)</sup>、海山が“留め金”の役割をした可能性<sup>4)</sup>、GPS-TEC とそれに同期した地磁気偏角の変動<sup>5,6)</sup>など地震準備過程での多様な現象が明らかになった。これら多様性を統一的に説明しうる震源準備過程のモデル (作業仮説) の構築が“新しい (地震) 学術”のなかでミッシング・リンクになっていないだろうか？

アスペリティは本来表面の粗さであり、海のプレートに載る海山がアスペリティとしてプレート境界のトライボロジー現象を支配する。図 1 は、陸のプレートの固結層に引っかかった海山の周辺に蓄積した弾性歪が限界を越え、せん断応力場や引張り応力場で脆性破壊が始まったところに、アスペリティがキャップとなって滞留していた深部高压流体が拡散浸入して脆弱化が進展、結果として震源核 (=アスペリティ) にテクトニックな応力と深部流体圧力が集中・臨界に達して、巨大地震をトリガしたというシナリオである。直前過程では、震源核の破壊に伴う深層ガスの帯電電流の発生・ダイポールの形成が GPS-TEC や地磁気変動を引き起こした、と考えている。

南海トラフにも類似のアスペリティ固着構造があると考えられる。2011 東北沖地震との決定的な違いは、南海トラフ震源下限域の温度場が、深層流体 (水) の超臨界点付近にあることである。超臨界状態から相変化・体積膨張が地震準備過程における物理化学現象に関与する。最近発見された熊野沖泥火山<sup>7)</sup>の成因にも関わっていると考えられる。

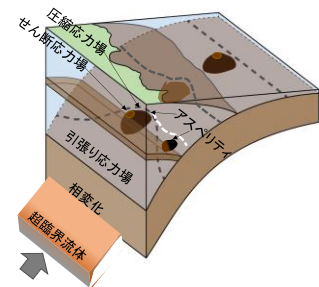


図1 巨大地震の準備過程を説明するモデル

## 3. 直前予知の設計科学を目指して

2011 東北沖地震発生前の GPS-TEC・地磁気の変動はリアルタイム観測による地震直前予知の可能性を示唆した<sup>5,6)</sup>。GNSS 地殻変動観測、地下水観測等による中・短期予測とともに、リアルタイム直前予知のための設計工学 (監視体制の一元化、観測点の充実・重点化、異常検知の迅速化、アクティブ防災・減災体制等) の構築も急務となる。また超臨界流体・相変化に伴う物理化学現象の解明などの“新しい学術”課題もある。

## 参考文献 (巻・頁略)

1. 日本学術会議報告書「新しい学術の体系」(2003) .
2. Yokota, Y. & Koketsu, K. A very long-term transient event preceding the 2011 Tohoku earth+quake. *Nature Comm.* (2015).
3. Sano, Y. *et al*, Helium anomalies suggest a fluid pathway from mantle to trench during the 2011 Tohoku-Oki Earthquake. *Nature Comm.* (2014).
4. Kumagai, H. *et al*. Strong localized asperity of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Japan. *EPS* (2011)
5. Heki, K. Ionospheric electron enhancement preceding the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *GRL* (2011).
6. Heki, K. & Enomoto, Y. Preseismic ionospheric electron enhancements revisited. *JGR* (2913)
7. Nishino, Y. *et al*. Origins of lithium in submarine mud volcano fluid in the Nankai accretionary wedge, *EPS* (2015)



# 昭和東南海地震のアスペリティが見えた？

山中佳子（名古屋大学大学院環境学研究科）

(sanchu@seis.nagoya-u.ac.jp)

Yokota et al.(2016)により海底地殻変動観測データから南海トラフのプレート境界上のすべり欠損レート分布が求められた。海溝近くにはほとんど観測点がないこと、陸に比べて観測点の間隔がまばらであることから細かい不均質は見ることができないと思うが、すべり欠損レートの高い領域が東海から南海にかけてパッチ状に存在することが明らかになった。

図1にYokota et al.の結果と想定東海領域を重ねて表示した。これをみると今回求められたパッチの北半分が想定東海の範囲と重なっており、求められた結果をどう考えるべきかが問題となる。この想定東海の南端はKikuchi et al. (2003)の結果を基に推定されたものである。しかしKikuchi et al.の解析では振幅が小さい高知の記録のみで破壊過程の後半を決めているなどいくつか致命的な問題があり、想定東海の南端については疑問が残る。図2は山中(2005)の結果をYokota et al.の結果に重ねたもので、解析方法はKikuchi et al.(2003)と同様であるが、全破壊過程を記録している観測点が増え信頼度は上がっている。特に大きなすべりの東西方向の位置はかなり押さえられている。海溝に直行方向については観測点が陸地のみなので精度は悪く、海溝側に広がって見えている可能性が高い。この解析では長方形の断層面を仮定しているため、Yokota et al.の結果と多少ずれているように見えるが、東南海地域に見られる2つの固着域と一致しているように見える。津波解析結果のすべり分布は山中の結果と異なるが、山中のモデルでも津波波形は説明可能であることが示されている。

東北地方太平洋沖地震以降アスペリティの階層構造などが指摘されているが、山中(2012)はシンプルなアスペリティモデルでも説明可能であることを指摘しているように、解析者によって様々なすべり分布が出され、どの解析結果を仮定してモデル化するかによって考え方は大きく異なってくる。過去の地震のすべり分布についてさらなる検討が必要である。また歴史地震史料から震源過程を推定することはかなり難しいが、安政地震や宝永地震がどのような地震であったかが南海トラフで見えてきたすべり欠損レートが高いパッチの働きを理解する上でかなり重要な鍵となるだろう。

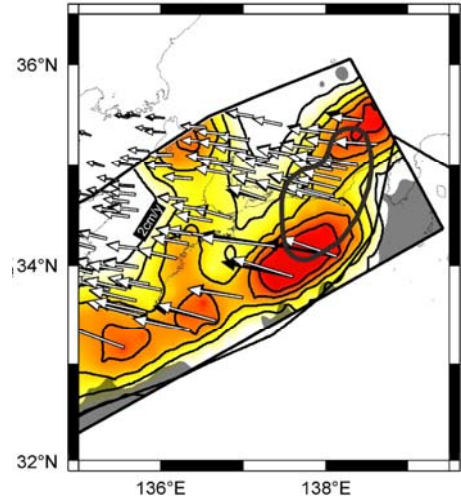


図1. 海上保安庁によるすべり欠損レート分布と想定東海の位置関係

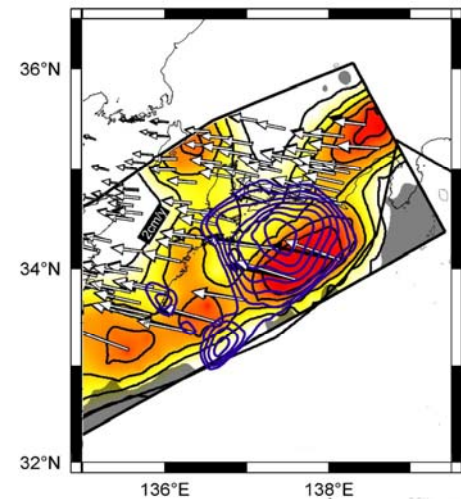


図2. 海上保安庁によるすべり欠損レート分布と山中(2005)による昭和東南海地震のすべり分布

# スラブ境界域の構造不均質と南海トラフの巨大地震

趙大鵬（東北大学）

(E-mail: zhao@tohoku.ac.jp)

Many large interplate earthquakes ( $M > 7$ ) occurred on the megathrust fault of the Nankai subduction zone, where the young Philippine Sea plate is subducting beneath the Eurasian plate along the Nankai Trough. The landward downdip limit of the Nankai megathrust seismogenic zone is located at a depth of ~30–40 km, marked by the occurrence of episodic tremors and slips. The seaward updip limit is not very distinct, being generally at a depth of ~10 km and correlated with a suite of diagenetic to low-grade metamorphic processes. To clarify the causal mechanisms of Nankai megathrust earthquakes, we studied the detailed three-dimensional P and S wave velocities ( $V_p$ ,  $V_s$ ), attenuation ( $Q_p$ ,  $Q_s$ ), and Poisson's ratio ( $\sigma$ ) structures of the Nankai subduction zone in Southwest Japan.

We used high-quality three-component seismograms of local earthquakes recorded by 462 permanent seismic stations which belong to the Kiban seismic network. The suboceanic earthquakes used are relocated precisely using sP depth phase and ocean-bottom-seismometer data. The velocity tomography method of *Zhao et al.* (1992, 2007) is employed to determine 3-D  $V_p$  and  $V_s$  models beneath the study region using 78,592 P-wave and 48,427 S-wave arrival-time data from 1138 local shallow and intermediate depth earthquakes. Then, a Poisson's ratio ( $\sigma$ ) image is determined from the obtained 3-D  $V_p$  and  $V_s$  models. The 3-D  $Q_p$  and  $Q_s$  models of the study region are determined by applying the attenuation tomography method of *Liu and Zhao* (2014, 2015) to 49,956 P-wave  $t^*$  data and 43,326 S-wave  $t^*$  data from 1132 local shallow and intermediate-depth earthquakes. We measured these high-quality data very carefully from hundreds of thousands of observed seismograms recorded by the dense seismic network in the study region.

Our results reveal two prominent high- $V$ , high- $Q$  and low- $\sigma$  patches which are separated by low- $V$ , low- $Q$  and high- $\sigma$  anomalies in the Nankai megathrust zone. The Nankai megathrust earthquakes during 1900 to 2013 nucleated in or around the high- $V$ , high- $Q$  and low- $\sigma$  patches, which may represent strongly coupled areas (i.e., asperities) in the megathrust zone. Our results indicate that structural heterogeneities in the megathrust zone, such as the subducting seafloor topography and compositional variations, control the nucleation of the Nankai megathrust earthquakes, being similar to those in the Tohoku megathrust zone (e.g., *Zhao*, 2015).

## 参考文献

- Liu, X., D. Zhao (2014) Structural control on the nucleation of megathrust earthquakes in the Nankai subduction zone. *Geophys. Res. Lett.* **41**, 8288-8293.
- Liu, X., D. Zhao (2015) Seismic attenuation tomography of the Southwest Japan arc: New insight into subduction dynamics. *Geophys. J. Int.* **201**, 135-156.
- Zhao, D. (2015) The 2011 Tohoku earthquake ( $M_w$  9.0) sequence and subduction dynamics in Western Pacific and East Asia. *J. Asian Earth Sci.* **98**, 26-49.



# 古地震からみた南海トラフ巨大地震の多様性と規模

宍倉正展（産業技術総合研究所）

(m.shishikura@aist.go.jp)

2011年東北地方太平洋沖地震以降、史料や地形・地質に記録された過去の地震について解明する古地震の研究が注目されるようになった。この5年余りの間に日本列島各地で調査が進み、南海トラフ沿いにおいても新たなデータが数多く集積されている。そこで古地震研究の立場から南海トラフ巨大地震について、多様性と最大クラスの2つのキーワードで捉えてみたい。

まず多様性についてであるが、従来、南海トラフ沿いでは、東海、東南海、南海の3つの地震セグメントが単体または連動して破壊すると評価されてきた（地震調査研究推進本部，2001）。しかし震災後に公表された国の新たな長期評価は、セグメントごとの固有地震ではなく、評価対象領域を設定した上で、多様な地震が起こりうるとして評価している（地震調査研究推進本部，2013）。最近3回の地震（1707年宝永，1854年安政，1944/1946年昭和）についてもそれぞれ破壊領域が異なっており、それらが相補的という指摘もある（瀬野，2012）。従来の研究で明らかになっている津波堆積物などの地質記録の年代を南海トラフ沿いでまとめてみると、再来間隔は歴史記録から知られる100～200年よりも長い300～1000年であることが多い。しかも潮岬より西のいわゆる南海地域と東の東海・東南海地域との間で残された痕跡が示すイベントの時期が異なっている場合があり、それぞれの地域ごとにイベントごとに規模が異なっている事を示唆する（宍倉，2013）。これは瀬野（2012）の考え方を支持している可能性があり、興味深い。

最大クラスについては、震災後、内閣府（2012）などが科学的に考えうる最大規模の地震と津波を想定したことで話題になったが、実際に過去にそのような地震や津波が起こっていたかどうかは考慮されていない。そこで過去最大規模の現象の評価が古地震研究の重要なテーマの1つになっている（Shishikura, 2014）。たとえば高知県南国市十市地区において、ほぼ全域が浸水深2m以上で浸水すると想定されている低地で津波堆積物調査を行ったところ、津波痕跡と思われる砂層の分布は海岸に近い範囲に限られ、低地奥では確認されなかった（谷川ほか，2015）。年代分析の結果から、少なくとも過去5000年間において最大クラスを示す津波の証拠はうかがえない。もちろん痕跡がないことがすなわち浸水がなかったことを意味する訳ではないため、浸水規模と痕跡の残り方との関係から今後慎重に判断する必要がある。また1つのイベントに対する広域での対比により、破壊領域の拡がりを見ることで最大クラスの評価をすることも必要であるが、今のところ最大クラスの想定に否定的な結果が示されている（Kitamura, 2016 など）。

将来の南海トラフ巨大地震の長期的な発生予測と規模を評価するには、各地で古地震を調べ、地域ごとの履歴、規模に基づいて南海トラフ全体の評価につなげていくことが今後も重要である。

参考文献：地震調査研究推進本部（2001，2013）[http://www.jishin.go.jp/evaluation/long\\_term\\_evaluation/subduction\\_fault/](http://www.jishin.go.jp/evaluation/long_term_evaluation/subduction_fault/)；Kitamura（2016）PEPS, DOI: 10.1186/s40645-016-0092-7；内閣府（2012）[http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough\\_info.html](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html) 瀬野（2012）地震第二輯，64，97-116；宍倉（2013）GSJ地質ニュース，2，201-204；Shishikura（2014）Jour. Disaster Res.，谷川ほか（2015）JpGU2015要旨集，MIS25-P06

# 巨大地震の前兆現象

中谷 正生 (東京大学地震研究所)

(nakatani@eri.u-tokyo.ac.jp)

稀な事象(異常と呼ぶ)が観測され、その周辺(アラーム半径  $R$ )でその後しばらくの間(先行時間  $T$ )に大地震が起こると、前兆だったのではないかという思いが生じる。本講演では、本当に前兆だったと私が思っている事象をいくつか取り挙げ、信用の根拠と、その前兆に基く予測の確度(異常から  $RT$  内に対象  $M$  が発生する確率  $Q$ )を議論する。

信用の根拠には二種類ある。第一は、その種の異常があれば大地震の発生確率が上るという傾向(確率ゲイン  $G>1$ )の有意性が統計的に示されている場合である。大地震が対象でも例数が稼げる地震活動や電離層データでは、先行時間が 1 時間<sup>1</sup>( $M>8.2$ ,  $R\sim 200\text{km}$ , 予知率  $8/8$ ,  $G\gg 20$ ,  $Q\gg 1.4E-5$ )、1 日<sup>2</sup>( $M>7.0$ ,  $R\sim 200\text{km}$ , 予知率  $10/65$ ,  $G\sim 3.5$ ,  $Q\sim 7.1E-4$ )、5 年<sup>3</sup>( $M>8.0$ ,  $R\sim 500\text{km}$ , 予知率  $10/19$ ,  $G\sim 3$ ,  $Q\sim 0.45$ )の三種の異常が 99%有意を達成している。 $Q$  は、日本でのベースレートに  $RTG$  を乗じて求めた。三つ目は大きな  $Q$  で毒や薬になりそうだが、南海トラフのどこかで 30 年に 60-70%という長期評価に少しゲインが乗った程度ともいえる。

信用の根拠の第二のタイプは、例数がとれず成績を定量評価できていなくても、その物理的内容からして大地震との因果関係が容易に窺える場合で、断層深部延長での甚だしい( $\sim 2\text{m}$ )滑り<sup>4</sup>によると解釈される、大きくて急速な地殻変動が最たる例(1944 東南海, 1946 南海<sup>5</sup>, 1960 チリ, 1983 日本海中部<sup>6</sup>)である。10 年ほど前から始まり徐々に加速するが、直前には一日から数分で深部滑りにして 1m 以上という凄まじいものが推定されている。

そんなことになれば、即座に「逃げろっ」と叫ぶのが当然に思われるが、1m/日が起こってさえ、空振らないとは言い切れない。地震時滑りを 6m とすれば、深部延長の 2m 級の未遂スロースリップは、原理的には、サイクル中 2 回まで可能だからである。しかし、過去に同様の事象が未遂に終わった例が知られていないから、実際に地震になったら、叫ばなかったことの弁明は難しい。空振りの損害は甚大だが、申し開きの根拠はある。私は、アカウントビリティの観点から、空振り覚悟で「 $Q>33\%$ で  $M>8$  が 1 日以内」と叫ぶのが正解だと思う。

## 参考文献

1. He, L. and Heki, K. (2016), Three-dimensional distribution of ionospheric anomalies prior to three large earthquakes in Chile, *GRL*, 43, 7287–7293.
2. Le, H., Liu, J.Y., Liu, L. (2011), A statistical analysis of ionospheric anomalies before 736  $M6.0+$  earthquakes during 2002–2010, *JGR*, 116, A02302, doi:10.1029/2010JA015781.
3. Kossobokov, V., (2011), Are mega earthquakes predictable? *Izvestiya, Atmo. Ocean. Phys.*, 64, 951-961.
4. Roeloffs, E. (2006), Evidence for aseismic deformation rate changes prior to earthquakes, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 34, 591-627.
5. 梅田, 板場(2014), 1946 年南海地震前に四国太平洋沿岸部で目撃された井戸水及び海水位の変化, 地質調査研究報告, 65, 129-144.
6. Iio, Y., Kobayashi, Y., Tada, T. (2002), Large earthquakes initiate by the acceleration of slips on the downward extensions of seismogenic faults, *EPSL*, 202, 337-343.

# スロー地震の巨大地震との関連性

小原一成・加藤愛太郎（東京大学地震研究所）

(obara@eri.u-tokyo.ac.jp)

スロー地震は、断層破壊がゆっくりと進行する地震現象であり、強い揺れを伴わない。しかし、スロー地震の多くは沈み込むプレート境界面上で巨大地震発生域に隣接し、巨大地震と共通の低角逆断層型のメカニズムを有することから、巨大地震との関連性が示唆されてきた。スロー地震は、発見されてから 20 年に満たないが、巨大地震に対して次の 3 つの役割を担う可能性があることが、これまでの観測研究により明らかになってきた。

①Analog（類似現象）：スロー地震の活動様式が巨大地震と類似し、さらに高頻度で発生することから、巨大地震の発生様式を理解するためのヒントを与える可能性。

②Stress meter（応力状態を反映するインジケーター）：スロー地震は周囲の応力変化に敏感であるため、巨大地震震源域における応力蓄積の状況に応じて、スロー地震の活動様式が変化する可能性。

③Stress transfer（周囲への応力転荷）：スロー地震の発生によってその周囲に応力を転荷することがあるため、隣接した巨大地震震源域における断層破壊を促進する可能性。

今後もスロー地震の活動を継続的にモニタリングし、その活動様式や発生原因の解明を進めることにより、巨大地震の発生過程に関する理解の進展にも繋がることが期待される。

発表論文：

K. Obara and A. Kato, Connecting slow earthquakes to huge earthquakes, *Science* 353 (6296), 253-257, doi:10.1126/science.aaf1512, July 15, 2016.

# GPS-A 海底地殻変動観測から推定される南海トラフのすべり

## 欠損分布

石川直史 (海上保安庁海洋情報部)

南海トラフ巨大地震の震源域の大部分は海底にあるため、陸域の観測データのみでは固着の状態を十分に把握することは困難である。海上保安庁海洋情報部では、海域での地殻変動データを取得するために、GPS-音響測距結合方式(GPS-A)による海底地殻変動観測の技術開発及び観測点の展開を行っている。

南海トラフでは、想定震源域をカバーするように 15 点の観測点を設置し、定期的に観測を実施している。これまでの観測結果から、概ね西北西方向に 2.0~5.5 cm/year の移動速度が得られている。

これらの海底の地殻変動速度と GEONET で得られた陸上の地殻変動速度を用いて、矢吹・松浦の手法によるインバージョン解析を行い、プレート境界におけるすべり欠損の推定を行った(Yokota et al. 2016)。推定結果を図に示す。陸上データのみでの推定では捉えることの出来なかった、すべり欠損分布の不均質性を示唆する結果が得られた。特に、想定される固着の弱い領域は、周辺で発生している浅部超低周波地震の分布域と相関があることが示唆された。

今回の結果は、過去 4~9 年間の観測結果であるため、長期的な地殻変動の変化を考察するにはデータが不足しており、今後も観測を継続する計画である。

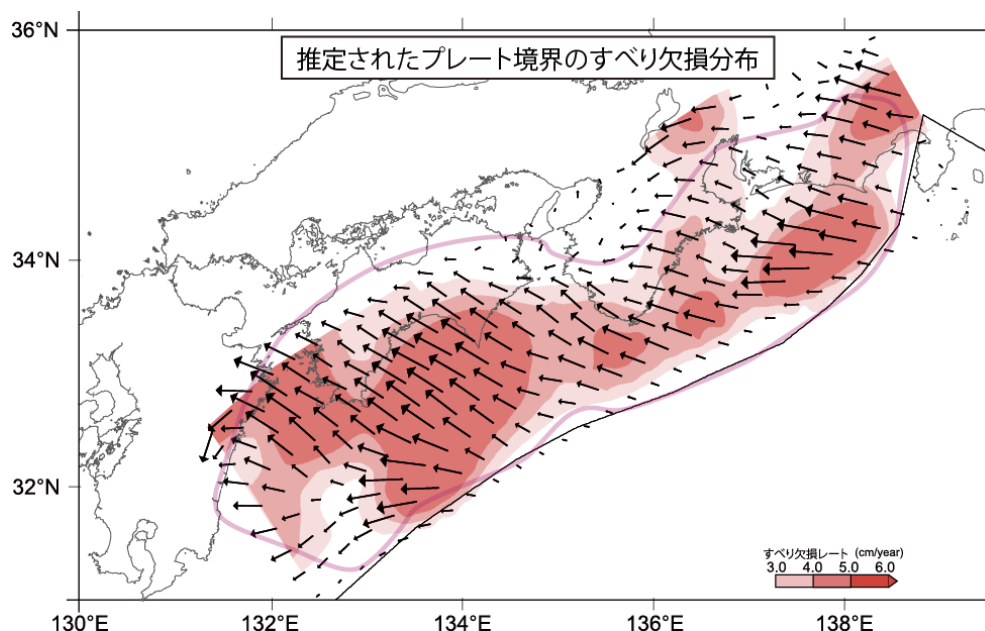


図 GPS-A 海底地殻変動観測点で得られた海底の地殻変動速度及び GEONET で得られた陸上の地殻変動速度から推定されるプレート境界のすべり欠損分布

参考文献: Yokota et al.: Seafloor geodetic constraints on interplate coupling of the Nankai Trough megathrust zone, Nature, 534, 374-377, doi:10.1038/nature17632, (2016).

# 南海トラフ地震予測のための地下水等総合観測施設

松本 則夫 (産業技術総合研究所)

[n.matsumoto@aist.go.jp](mailto:n.matsumoto@aist.go.jp)

## 南海トラフの地震前の地下水変化・地殻変動

1946年南海地震の前に計12ヶ所の井戸で地下水位の低下・温泉湯量の減少があった(水路局, 1948)。重富・他(2005)は1854年安政南海地震前に土佐清水と和歌山県広川で井戸水が涸れたことを確認した。一方、同地震前の潮位変化は土佐清水(Sato, 1977)と和歌山県浦神(小林・他, 2002)で報告されている。Linde and Sacks(2002)は上述の南海地震前の土佐清水の潮位変化と地下水位の低下を南海地震の震源断層の深部延長部での前兆すべりで説明したが、定量的に説明できるかどうかについては議論がある(小泉, 2013)。

## 深部低周波微動・深部ゆっくりすべりと南海トラフ地震

南海トラフ地震の想定震源域の深部延長部で発生する深部低周波微動(微動; Obara, 2002)と深部ゆっくりすべり(深部すべり; Obara et al., 2004)について、Obara and Kato(2016)ではスロー地震と総称し、巨大地震との関連性を次のようにまとめている; ①スロー地震は巨大地震のAnalogである; ②スロー地震の活動パターンの変化によって巨大地震震源域の応力蓄積を検知できる可能性がある; ③スロー地震が隣接した巨大地震の発生を促進する可能性がある。以上より、深部すべり・微動を詳細に把握することが巨大地震予測に資すると考えられている。

## 南海トラフ地震予測のための地下水・地殻歪観測

産業技術総合研究所では、2006年～2013年に紀伊半島から四国周辺で16カ所の新たな観測点を整備した(小泉, 2013)。1観測点で深さの異なる3本の井戸を掘削し、地下水位観測のほか、多成分ボアホール型歪計・傾斜計を用いた地殻変動の観測や、高感度地震計による地震の観測など多項目の観測を行っている。この観測網の目的は、①南海トラフ地震の想定震源域の地下水位変化や地殻変動をモニタリングすること; ②東海・紀伊半島・四国地域の深部すべり・微動を詳細に明らかにすることであり、これにより南海トラフ地震の予測に繋げることを目指している。

2011年から防災科学技術研究所(防災科研)との共同研究に基づき産総研の地下水・歪等の観測データと防災科研 Hi-net 高感度加速度計(傾斜計)との相互データ交換を開始した。また気象庁とも共同研究に基づいて観測データをリアルタイムで相互に交換し、東海から四国における深部すべりの検知能力が大幅に向上した(Itaba and Kimura, 2013)。2012年から産総研・防災科研・気象庁データに基づく深部すべりの統合解析を開始し、地震調査委員会・地震防災強化地域判定会・地震予知連絡会に微動・深部すべり解析結果を報告している(たとえば板場・他, 2013)。

参考文献 板場智史・他(2013)予知連会報, 89, 226-238.

Itaba S, Kimura T, (2013) AGU Fall Meeting 2013, S41B-2422.

小林昭夫・他(2002)測地学会誌, 48, 1-12.

小泉尚嗣・他(2013)Synthesiology, Vol.6, No.1 24-33.

Linde A T, Sacks I S (2002) Earth Planet. Sci. Lett., 203, 265-275.

Obara K (2002) Science, 296, 1679-1681.

Obara K, Hirose H, Yamamizu F, Kasahara K (2004) Geophys. Res. Lett. 31, 10.1029/2004GL020848.

Obara K, Kato A (2016) Science, 353, 253-257.

Sato H (1977) J. Phys. Earth, 25, 115-121.

重富國宏・他(2005)京都大学防災研究所年報, 48-B, 191-195.

水路局(1948)水路要報 201号, 1-117.

# 「南海トラフ巨大地震」とは？「予測」とは？

ロバート・ゲラー（東大理）

(bob@eps.s.u-tokyo.ac.jp)

本シンポジウムの題名は「南海トラフ巨大地震の予測に向けた観測と研究」である。しかし、以下に述べるように、題名ですら大きな問題であると思わざるを得ない。

まず、まだ起きてもない、単なるシナリオに過ぎない「南海トラフ巨大地震」を、既に起きた地震と同様に、固有名詞のように扱うこと自体、不適切である。むしろ、南海トラフ近辺にも地震が発生し得るが、日本中どこでもいつでも大きな地震が発生し得る。南海トラフ近辺が特段に危険であることを裏付ける科学的な根拠は皆無である。

周期説に基づくいくつかのモデルが提唱されているが、これらのモデルはいまだに検証されたものではない。しかも、モデルが根拠とする周期説・固有地震説は、統計学的に有意ではないと示されている(Kagan et al., 2012)。1970年代から一部の研究者は「東海地震」の危険性を煽ってきたが、未だに東海には何も起きていない。一方で2011年には東北地方太平洋沖地震が発生した。このことから、40年前に“東海が危ない”とされた根拠（現在の“南海トラフ巨大地震”とされた根拠とほぼ同じ）は間違っているのではないかと誰でも分かるはずである。

次に、「予測」という表現をいい加減に使用することも大きな問題である。「予知」とのはっきりした区別が必要不可欠である。誰でも地震発生を予言できるが、検証可能な定量的学説に基づいていないものでない限り、「予測」というべきではない。現時点で多くのシミュレーションがあるが、どれも検証可能なものではなく、「予測」と呼ぶべきものではない。これまで政府の地震調査推進本部が、毎年、確率的地震動予測地図を発表しているが、この予測モデルが統計上有意なものであると、客観的な検証により証明されるまで、この予測地図の発表を休止すべきである。

さらに、国民は、現時点で、「予測」と大震法が定める直前予知（警戒宣言発令の前提として、3日以内に巨大地震が発生するという、時間・場所・大きさを特定する予知）との違いを認識していない。「予知」は「予測」の短期的極限(short time limit)である。そして、現在、正確な予知ができないことは、国内外のほとんどの研究者の共通認識である。したがって、まずは、上述したような予知（すなわち、短期的予測）ができないことを、国民に知らせるべきである。その第1歩として、本シンポジウムで、大震法廃止を支持する動議を、全会一致で採択すべきであると考える。

## Reference

Kagan, Y.Y., Jackson, D.D., Geller, R.J., 2012. Characteristic earthquake model, 1884-2011, RIP. *Seismological Research Letters* 83, 951-953.



# 測地観測による地震先行現象の検知について

西村卓也 (京都大学防災研究所)

(nishimura.takuya.4s@kyoto-u.ac.jp)

1944年東南海地震 ( $M_{\text{JMA}}7.9$ ) では、静岡県掛川市付近で行われていた水準測量によって地震発生 の 2~3 日前から加速する地殻変動が観測され (例えば、茂木, 1982)、地震の震源域のプレート境界面深部延長でプレスリップが発生していたと解釈されている (Linde and Sacks, 2002)。体積ひずみ計などによって、プレスリップに伴う大地震に先行して加速する地殻変動を検出することは、現在の東海地震の予知体制の中心となっている。GPS(GNSS)の登場により、比較的 low コストで精度及び時間分解能の高い地殻変動観測が行われるようになったが、日本国内で GNSS 観測網が整備された 1994 年以降に明瞭なプレスリップが観測された例は報告されていない。2011 年東北地方太平洋沖地震 ( $M_w9.0$ ) においては、陸域 GNSS のみならず震源域直上において海底水圧計による上下変動観測が行われていたが、本震直前に加速するような変化は観測されず、 $M_w6.2$  を上回るような規模のプレスリップはなかったことが示されている (Hino et al, 2014)。世界的にも多くの沈み込み帯に GNSS 観測網が整備され、2010 年 Maule 地震( $M_w8.8$ )や 2015 年 Illapel 地震( $M_w8.3$ )など地震時及び地震後の地殻変動は数多くの観測例があるが、地震前の加速する変化は報告されていない。断層摩擦構成則を用いた数値シミュレーションによると、プレスリップの大きさは摩擦パラメータによって大きく異なるとはいえ、東南海地震の先行現象にも疑念が呈されており (鷲谷, 2004)、過去の観測事例からは先行地殻変動の検出は難しいと言わざるを得ない。

一方、南海トラフ沿いでは継続期間や規模の異なるスロースリップが多数発生していることが知られており (例えば、Obara, 2011)、歪や傾斜の地殻変動連続観測や GNSS 観測により、ほぼリアルタイムにイベントの検出が可能となっている。スロースリップのすべり域周辺では、断層面での剪断応力が増加して地震が発生しやすくなると考えられるが、近年、スロースリップが近接領域の大地震を誘発したと考えられる事例が中南米で数多く見つかっている。もちろん、SSE が発生したから必ず地震が発生するわけではなく、どのくらいの地震がスロースリップによって誘発されているのかも不明であるため、両者の定量的関係は明らかではない。例えば、メキシコでは、GNSS 観測網が整備された 2000 年以降に発生した  $M_w7$  以上の地震は、2012 年 Ometepec 地震( $M_w7.4$ , Graham et al., 2014)と 2014 年 Papanoa 地震( $M_w7.3$ , UNAM Seismology Group, 2015)であるが、その両方がスロースリップによって誘発された可能性が指摘されており、スロースリップが大地震発生への最後の一押しになる割合が高い場所であると考えられる。近年の地震予知ビジネスに対する社会の反応を見ても、地震発生予測に対する社会的関心は高く、不確実な情報ではあるが、スロースリップをリアルタイムに検知し、地震発生の確率利得をできる限り定量化して、社会に伝える体制が構築されることが望ましい。

参考文献: 茂木清夫 (1982), 地震 2, 35 145-148; Graham, S. et al. (2014). *Geophys. J. Int.*, doi: 10.1093/gji/ggu019. Hino, R., et al. (2014). *Marine Geophys. Res.*, 37(3), 181-190; Linde, A. T., & Sacks, I. S. (2002) *Earth Planet. Sci. Lett.*, 203(1), 265-275; Obara, K. (2011). *J. Geodynamics*, 52(3), 229-248; 鷲谷威 (2004), 月刊地球, 26, 11, 746-753; UNAM Seismology Group (2015), *Geofísica Internacional*, 54-4, 363-386.

# チリ沖巨大地震発生前の固着の剥がれ方の多様性

加藤愛太郎（東京大学地震研究所）

(akato@eri.u-tokyo.ac.jp)

過去に起きた沈み込み帯プレート境界で発生した大地震の中には、本震に先立ち前震活動が発生する事例がいくつか報告されている。しかし、前震活動の規模や継続時間も様々であり、それらと本震のマグニチュードの大きさとの間には明瞭な相関は見られない。また、大地震の発生前に前震が起きない場合もあり、大地震の発生過程は多岐にわたることが明瞭である（図1）。

2014年4月1日にチリ北部沖のプレート境界でM8.2の地震が発生した（図1）。本震発生の約2週間前から震源域では4個のM6クラスの地震を含む活発な前震活動が観測され、本震の破壊開始点へ向かう震源移動も見られた（e.g., Kato et al., 2016）。同期間には、海岸線に設置されていたGNSS観測点でもプレート境界の固着の剥がれを示す地殻変動が捉えられた（Ruiz et al., 2014）。また、小繰り返し地震も検出されており、通常地震活動による速い滑りに加えてゆっくり滑りの伝播という2つの現象が同時に進行し、プレート境界の固着域の一部が本震発生前に剥がれたと考えられる。固着が事前に剥がれた領域は固着率の高い領域の端に対応する。長期的な地震活動によると、本震発生の約270日前から固着の剥がれが間欠的に進んでいたことも明らかとなった。但し、固着の剥がれが間欠的に生じるため、大地震発生の切迫度を現在進行形で把握することは極めて難しく短期的発生予測の精度は低い。

2015年9月16日にチリ中部沖のプレート境界でM8.3の地震が発生した。2014年地震とは対照的に、この地震の発生前には前震活動や地殻変動の変化が本震発生の直前には見られなかった（図1）（Ruiz et al., 2016）。本震の大滑り域は固着率が高い場所に一致しており、長期的な地震活動を見てみると、固着率の高い領域を縁取るように地震活動が事前に起きていたことがわかる。しかしながら、これらの地震活動は本震発生直前には活発化を示しておらず、GNSSデータからも発生直前の固着の剥がれは捉えられていない。

上記2つの地震の大滑り域は、事前に推定されていた固着率の高い領域に一致するという共通点は確認できるものの、本震発生直前の固着の剥がれ方には大きな差異が見られ、短期的発生予測は現時点の知見ではほぼ不可能である。このような固着の剥がれ方の差異が生じるメカニズムも含めて、今後も大地震発生の直前過程の観測事例を増やすとともに、大地震の発生に至る過程の多様性・複雑性に関する学術的理解を深めることが極めて重要である。

参考論文：

Kato, A., J. Fukuda, T. Kumazawa and S. Nakagawa (2016), Scientific Reports, 6, 24792, doi: 10.1038/srep24792.

Ruiz, S., et al. (2014), Science, 345, 1165–1169, doi:10.1126/science.1256074.

Ruiz, S., et al. (2016), Seismological Research Letters, doi 10.1785/0220150281

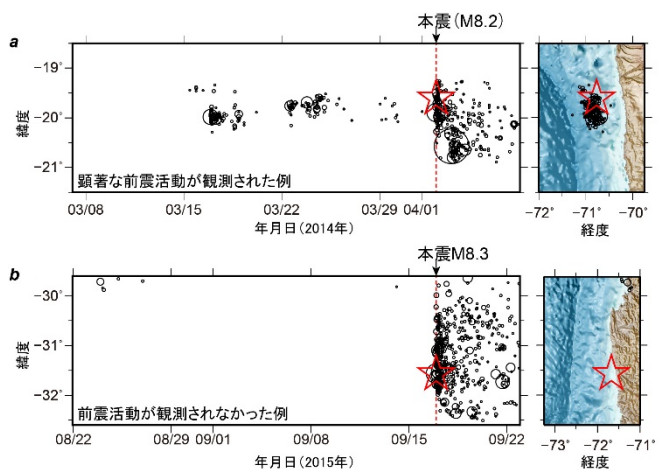


図1. コスプレートが南米大陸下に沈み込むチリ沖で発生したM8級のプレート境界地震の発生前後における地震活動(USGS)。右図は本震発生前(26日間)の震央分布図。2014年M8.2の地震では震央付近で活発な前震活動が約2週間前から起きたが、2015年M8.3の地震では見られなかった。

# 東北沖地震(M9.0)前に観測された前兆的な地震活動・地殻変動 —南海トラフ大地震前に期待される前兆的現象—

前田憲二・弘瀬冬樹・小林昭夫（気象研究所）

(kmaeda@mri-jma.go.jp)

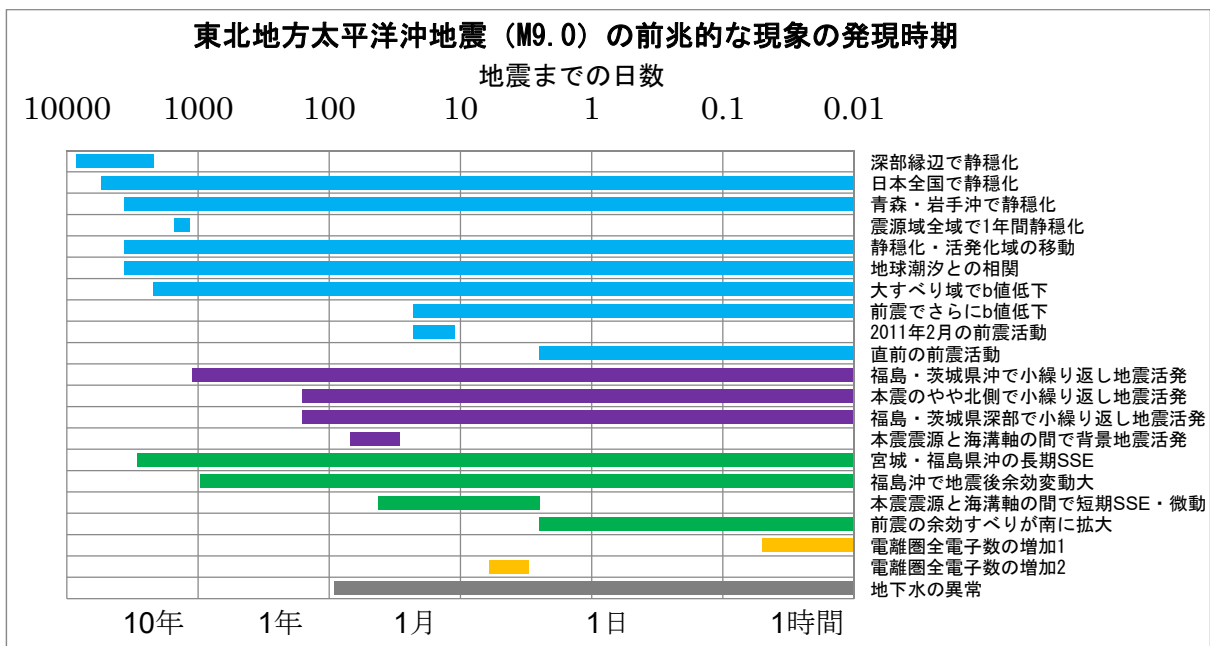
東北沖地震〔平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震(M9.0)〕に関連し、その発生前に様々な前兆的現象が現れていたことが報告されている。それらの現象は必ずしも地震発生予測に有効なものばかりではないが、それらの報告を整理することにより地震発生の可能性が高まっていたことを示す可能性のある現象についての知見を得るため、レビューを行った。

収集した前兆的現象報告は以前収集した報告<sup>1)</sup>に加え新たに発表された報告で、主に以下の現象に関するものである。【地震活動】：静穏化または活発化、地球潮汐と地震活動の相関、b 値、前震、小繰り返し地震、背景地震、低周波微動。【地殻変動】：プレート間の固着に関連した長期的または短期的ゆっくりすべりに関する現象。

これらの現象の発現時間を取りまとめたものを以下の図に示す。地震活動関連、小繰り返し地震または背景地震関連、地殻変動関連、電磁気関連、地下水関連の事象を水色、紫、緑、橙、灰の色でそれぞれ示す。これらの現象のうち、福島・茨城沖での小繰り返し地震の活発化の事象と GNSS により 2008 年の福島沖の地震後に大きな余効変動が観測された事象や、本震震源と海溝軸の間で背景地震が活発化した事象と同領域で短期的ゆっくりすべりや微動が観測された事象がそれぞれ同時期であるなど、プレート境界のすべりに起因すると考えられる異なる現象を異なる観測手法で同時にとらえていることは、前兆的現象の把握の精度を高めるうえで重要である。

講演では、これらの報告の概要を紹介するとともに、予測手法としての課題や問題点についても指摘したい。また、南海トラフは東北沖とは地震の発生様式が異なることから、東北沖地震の前兆的現象が将来の南海トラフ地震でも現れるとは限らないが、その可能性についても考察する。

参考文献 1) 気象研, 2013, 2011 年東北地方太平洋沖地震前に見られた前兆的現象, 予知連会報, 90, 503-508.



# 地震の階層的空間固有性と確率予測

井出哲（東京大学大学院理学系研究科）

(ide@eps.s.u-tokyo.ac.jp)

1970年代から知られていたように、地震の震源には幾何学的相似性がほぼ成り立ち、小さい地震も大きい地震も応力降下量はほぼ一定である。さらに詳細な分析によれば、震源における破壊すべりは、その始まりからほぼ自己相似的に成長し、その始まりを見ただけでは最終的な大きさはほとんどわからない。一方で地震の発生は時空間的に完全にランダムである、という仮説もほぼ確実に間違っており、繰り返し地震に代表される空間的固有性は地震現象の本質と認めるべきである。空間的固有性を支配する主な要因は地震発生地域における断層の幾何学的形状だろう。幾何学的形状には幅広いスケール範囲で、べき法則が成り立つことが知られており、地震発生場の空間的固有性もまた幅広いスケール範囲で階層的に存在すると考えられる。その場合、地域ごとの階層的な空間的固有性の違いが確率予測の有効性を制限することになる。

確率的地震予測モデルとしては、すでに ETAS モデルなど定量的予測に役立つモデルがある。さらに今後も震源物理の理解の進展とともに、確率的地震予測の精度を上げることは可能だろう。上記の空間固有性や様々な低速変形の性質を予測の中に取り入れることも重要だし、地震発生場の応力と相関する  $b$  値の時空間分布も、より詳細に検討する価値がある。地震現象への理解が深まれば、その予測精度が向上するのは自然である。このような予測は政策立案者が知るべき情報として、精度向上を目指す価値があるが、一般社会的にどのように役立たせるかは自明ではない。少なくとも、警報に結び付くレベルの予測（地震予知）を科学的根拠に基づいて実現することは、今後 10 年程度ではほぼ不可能ということは明らかにすべきであろう。

参考文献(9 ポイント)

# プレート境界での固着・すべり状態のモニタリングと推移予測

## にもとづく南海トラフ沿い巨大地震の発生予測の現状と課題

堀 高峰（国立研究開発法人海洋研究開発機構）

(horit@jamstec.go.jp)

これまで我々は、東海・東南海・南海地震連動性評価プロジェクトや南海広域地震・津波防災プロジェクト等を通して、沈み込みプレート境界である南海トラフ沿いで繰り返し発生してきた巨大地震の発生を、プレート境界での固着・すべりの時空間変化としてモデル化し、過去の発生間隔や規模の変化を半定量的に再現するとともに、事前に行う多数のシミュレーションと地殻変動観測データと組み合わせることで推移予測を行う手法を提案した<sup>1)</sup>。この手法を使うことで、例えば、仮に紀伊半島の東側で M8 クラスの地震がまず起きた後、西側でいつ頃 M8 クラス地震が続発するかについて、先に起きた地震による余効変動を示す海底地殻変動のリアルタイム連続観測データとの整合性に応じて各シミュレーションの重み付け（尤度評価）を行い、期待される発生タイミングをシミュレーション結果の重み付き平均で推定できる<sup>2)</sup>。しかし、南海トラフ沿いでどの部分が M8 クラスの震源域になるかを事前に正確に知ることはまず不可能であり、実際に地震が起きた直後に、そのすべり分布を即時解析し、その結果を多数のパラメタ組み合わせのシミュレーションに取り込んだ上で、その後の余効変動のデータとの整合性を評価する、さらには、データとのずれを減らすように初期値やパラメタを調整する手法を取り入れる必要があり、そのような手法の開発を進めている。一方、最初の巨大地震の発生予測については、巨大地震の発生準備を示す現象：例えば、ゆっくり地震の起こり方の変化<sup>3)</sup>を捉えるとともに、準備が整った状況で巨大地震をトリガーする現象（核形成過程を含む）：震源域内でのゆっくりすべりの加速、震源域や近傍のプレート境界での M6~7 クラス地震の発生やその余効すべりの推移<sup>4)</sup>を捉える必要がある。

これらを実効性のある予測にしていくには、（1）海底地殻変動のリアルタイム連続観測での、水圧変動にもとづく上下変動の高精度推定技術の開発、多数の掘削孔内でのより精度の高い歪や傾斜変化の測定、（2）過去のすべりの履歴解明（明治以降の測量データにもとづく固着・すべりの履歴や歴史資料にもとづく江戸時代以前の地震のすべりの広がり等）、（3）地形や3次元粘弾性不均質構造を考慮した共通モデルでの、地殻変動データ解析および地震発生の繰り返しシミュレーションが必要であり、その上で、（4）プレート境界での固着・すべりだけでなく、地震活動度の変化や局所的なプレート内の地殻変動も、準備過程を示す現象ならびにトリガー現象としてモニタするとともに、これらの現象を扱える力学モデルに拡張していく必要がある。

### 参考文献

- 1) Hori, T., et al., 2014. *Oceanography* 27(2):94–102, <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2014.44>.
- 2) Hori, T., et al., 2014. *Marine Geophys. Res.*, DOI 10.1007/s11001-014-9226-8.
- 3) Matsuzawa, T., et al., 2010. *J. Geophys. Res.*, 115, B12301, doi:10.1029/2010JB007566.
- 4) Kato, A. et al., *Science* 335 (6069), 705-708, doi: 10.1126/science.1215141.

# 意思決定プロセスから見た災害情報の方向性

田中 淳（東京大学大学院情報学環総合防災情報研究センター）

(attanaka@iii.u-tokyo.ac.jp)

総合防災情報研究センター（CIDIR）が実施している定期調査をみると、地震への国民の不安は一貫して高い（田中、2015）。その不安を背景に、地震予知への国民の期待は大きい。2016年1月時点での定期調査結果によると、「緊急時の警報や避難勧告の迅速かつ的確な発表・発令」（54.2%）について、「地震予知や火山噴火予知研究」を50.2%があげ、「被災後の住宅や生活再建の支援」（47.4%）や「避難施設の充実」（45.4%）を上回っている。しかも、東日本大震災発生直後の2012年1月の結果では53.0%と前年の46.9%よりも高い比率であり、短期予知への期待は低減していない。長期確率評価についても、松本市民を対象とした2006年調査（廣井脩ほか、2007）をみると、確率表現に適切な解説の付加を求める声は強いものの、評価としては「30年以内の発生確率が14%であれば、地域社会がこの地震の対策に本気で取り組む必要はない」と受け止めた人は13.3%と低く、自宅の防災対策を進めるべき76.4%が回答している。しかし、この情報を聞いて、家具の固定をした人は9.9%に留まった。

これらの災害情報の認知と対応行動の実施とから論点を明示するために、以下、筆者が監修した熊本地震時の益城町民を対象とした住民調査を例に取り上げていきたい。熊本地震時の益城町民の行動を見ると、i) 14日の地震発生時に自宅居た人は87.2%であったのに対して、16日の地震発生時に自宅に居た人は22.0%と大きく減少していた、ii) 旧耐震の方が避難している比率が高い、iii) 旧耐震居住者では、避難の理由として自宅の被害と周囲の呼びかけをあげた比率が高い、iv) 布田川・日奈久断層の評価結果を知っていた人と知らなかった人で家具の固定率に明確な差は認められなかった、という特徴が見られる。

上記のi)とii)からみると、益城町民は余震の揺れに起因する恐れから避難をしていたが、iii)からみると旧耐震では周囲の規範が避難の規定因のひとつであったという、避難意図の一般的傾向と整合的な結果となっている（田中、2014）。さらに、iv)からみると情報だけでは不安を高めることはできても、実際の事前行動に結びつかないという一般的傾向はここでも観察できる。

災害情報論の知見に基づけば、ハザード情報は不安を高めるが、対応行動はハザード情報に加えて耐震評価や地域規範など他の要因群も含めて複合的に規定される。一般市民は予想以上に個別的な知識は持っていることを考え合わせると、自らの被害に結びつくプロセスを丁寧に描く包括的な情報提供の視座から科学知を再構成する必要がある。

## 参考文献

- ・田中淳、2014、「日本海沿岸住民意識調査にみる地震津波態度構造」、東京大学大学院情報学環紀要情報学研究・調査研究編、Vol. 30-1, pp.1-51
- ・田中淳、2015、「社会調査にみる東日本大震災が与えた災害関心の影響」、東京大学大学院情報学環紀要情報学研究・調査研究編、Vol. 32, pp.251-275
- ・廣井脩・田中淳・中村功・廣井悠、2007、「地震の長期評価と住民の反応」、『災害情報調査研究レポート⑨』、東京大学・東洋大学 『災害情報研究会』



# 南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく 防災対応検討ワーキンググループについて

森本 輝（内閣府）  
(akira.morimoto2@cao.go.jp)

昭和 53 年に成立・施行された大規模地震対策特別措置法では、現在は想定東海地震（以下「東海地震」という。）のみが対象とされており、東海地震によって著しい地震災害が生じるおそれがある地域として、静岡県在全市町など 157 市町村が地震防災対策強化地域として指定されている。東海地震の想定震源域周辺にはひずみ計などの観測機器が高密度で展開されており、気象庁が 24 時間体制で監視している。観測機器が東海地震の前駆すべりを捉え、東海地震が発生するおそれがあると認めるときは、気象庁長官は内閣総理大臣に地震予知情報の報告を行い、内閣総理大臣は、地震防災応急対策を実施する緊急の必要があると認めるときは、閣議にかけて警戒宣言を発することとしている。警戒宣言が発せられた場合は、国・地方公共団体は地震災害警戒本部を設置するとともに、国・地方公共団体・指定公共機関等は予め定めておく計画に基づいて、津波危険予測地域の住民の避難、鉄道の運行停止等の地震防災応急対策を実施することとしている。

このように、警戒宣言やそれに続く地震防災応急対策の実施は、東海地震の直前予知を前提にしている。しかしながら、現状、科学的に以下の 2 点の課題がある。

- ① 南海トラフ沿いの地震の発生には多様性があり、東海地震だけでなく、南海トラフ沿いの広い範囲での大規模地震の発生が懸念されていること
- ② 平成 25 年の「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」で、以下のように報告されていること。

「現在の科学的知見からは、確度の高い地震の予測は難しい。ただし、ゆっくりすべり等プレート間の固着の変化を示唆する現象が発生している場合、ある程度規模が大きければ検知する技術はある。検知された場合には、不確実ではあるものの地震発生の可能性が相対的に高まっていることは言えるであろう。」

以上を受けて、内閣府では、中央防災会議防災対策実行会議の下に「南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキンググループ」を設置し、以下の点等について、検討を開始したところである。

- ① 南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性
- ② 南海トラフ沿いの地震・地殻変動等の観測体制・評価体制のあり方
- ③ 観測・評価に基づく地震防災対応のあり方

# 南海トラフ付加体先端部における S 波速度構造の時間変化

#利根川貴志<sup>1</sup>・荒木英一郎<sup>1</sup>・木村俊則<sup>1</sup>・中村武史<sup>2</sup>・中野優<sup>1</sup>

(1: 海洋研究開発機構, 2: 防災科学技術研究所)

(tonegawa@jamstec.go.jp)

## 1. はじめに

熊野灘において、2010年末から地震・津波観測監視システム (DONET) が展開されており、すでに5年以上の観測記録が取得されている。本研究では、DONETで観測されるRayleigh admittanceから海底下のS波速度構造の時間変化を調べる。ここで、Rayleigh admittanceとは海底で観測されるレーリー波の水圧に対する変位の (振幅の) 伝達関数のことで、海底下のS波速度構造を反映している。この伝達関数がある期間ごとに推定してインバージョンを行い、1次元S波速度構造の時間変化を調べる。

## 2. 解析手法

広帯域地震計記録は、速度波形から観測機器のレスポンスを除去して変位波形にした。変位記録と水圧記録は、周波数領域で0.01 Hz幅のParzen窓を用いて平滑化を行い、伝達関数を推定した。これを90日分の平均をとり時系列プロットをすることで、時間変化の有無を調査する。有意な変化があった場合は、利根川・他(日本地球惑星科学連合2016年大会)のインバージョン手法を用いてS波速度構造を求める。インバージョンの際には、伝達関数の長周期側を地震によって励起されたレーリー波、短周期側は脈動によるレーリー波を用いた。

## 3. 結果

付加体先端部に設置されたKMB, KMDの一部で伝達関数の時間変化が見られた。図1(a)はKMB06下のS波速度構造を、図1(b)はその速度ゆらぎの時間変化を表示している。イベント(1)後に深さ3~5 kmで3%ほど遅くなり、イベント(2)の後には深さ6 km以浅で速度が速くなっている。発表では、他の観測点での変化やイベントとの位置関係についても紹介する。

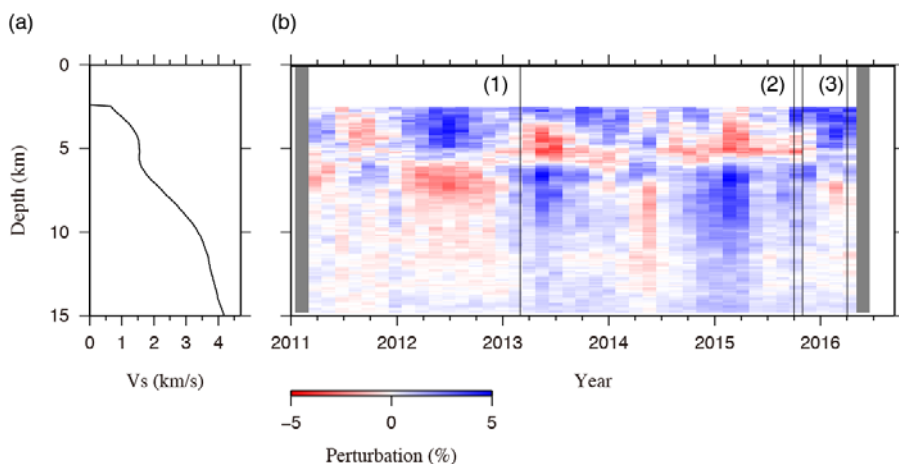


図1 (a) KMB06 下の S 波速度構造 (観測期間の最初の 275 日を平均). (b) (a)からの速度ゆらぎの時系列プロット. イベント(1) 付加体内で生じたスローイベント(Suzuki et al. 2016)、(2) 浅部超低周波地震の活動、(3) 2016年4月1日に起きたM6.5地震.

参考文献 Suzuki et al. (2016). *Tectonophysics*, 680, 90–98.

# 高精度イメージングから得られた南海トラフ軸周辺の変形構造

山下幹也・仲西理子・三浦誠一・小平秀一（海洋研究開発機構）・金田義行（香川大学）

(e-mail address mikiya@jamstec.go.jp)

2011年東北地方太平洋沖地震では、プレート間の固着がないと考えられてきた海溝軸付近まで深部での破壊が伝播したことが明らかになり、巨大津波発生の要因である可能性が指摘された (Kodaira et al., 2012). また紀伊半島沖の掘削研究の成果としてトラフ軸周辺にも大きなすべりが起きる可能性が示唆されており (Sakaguchi et al., 2011), 南海トラフにおいても巨大地震・津波に伴うタービダイトの採取に関連してその分布状況の把握が求められている. 海洋研究開発機構ではこれまで数多くの反射法地震探査を南海トラフ周辺で実施してきた (例えば Park et al., 2002) が、測線の間隔が粗く分解能が低いシステムのため、上記の目的を解明するには不十分であった. 2013年度より実施している文部科学省の受託研究「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」では可搬式システム (380cu.in.エアガン, 192ch ストリーマー) を用いて南海トラフ全域にわたってトラフ軸を横断する測線を 10~20 km 間隔に設定し、2013年~2014年が高知沖~紀伊半島沖にかけての 23 測線、総延長約 1500 km のデータ取得を行った.

得られた断面からは付加体の変形、トラフ軸の堆積物、沈み込む四国海盆の堆積層が明瞭に得られた. 特に沈み込む四国海盆堆積層の変形構造が測線によって大きく異なる様子が見られ、東西方向の不均質性が明らかになった. 各測線では前縁断層が明瞭にイメージングされ、その海側には将来的に前縁断層に発達すると考えられるプロトスラスト帯が分布することが明らかになった. また陸側付加体の変形は海域西側の測線では小さいが、東側では深部まで大きな変位を伴う断層が海底面にまで達している様子が得られた. 深度断面を用いて得られた反射面の特徴から前縁断層に沿った累積変位量を算出した. その結果、測線の多くで 100m 以上の累積変位量を持つことが明らかになった. 300m を超える累積変位量が観測された測線と Baba and Cummins(2005)による 1946年南海地震の津波波形から計算された滑り量分布の大きい場所が整合しており、前縁断層の位相反転した反射面が確認されていることから繰り返し滑ることが想定される. また Hirono et al. (2016) によるトラフ軸付近における滑り量のモデル計算結果よりもすべての測線において累積変位量が大きいことが明らかになった.

一方、海底直下における前縁断層先端部の傾斜角は平均 20° であるが、一部の測線で 10° 以下や 40° を超えるものが見られた. これらは沈み込む四国海盆形成年代と比較することによって基盤形状に関連していると思われる.

## 参考文献

Baba and Cummins (2005) *Geophys Res Lett* 32: L08305. doi:10.1029/2004GL022320.

Hirono et al. (2016) *Scientific reports* 6:28184. Doi:10.1038/srep28184.

Kodaira et al. (2012) *Nature Geoscience* 5:646-650. doi:10.1038/NGEO1547.

Sakaguchi et al. (2011) *Geology* 39:395-398. doi:10.1130/G31642.1.

# 来るべく南海トラフ地震で期待される“前兆現象”

## Precursory phenomena expected to be observed before a coming

### Nankai Trough earthquake

楠城一嘉（静岡県立大学），吉田明夫（静岡大学）

K. Z. Nanjo (University of Shizuoka), A. Yoshida (Shizuoka University)

(e-mail address: nanjo@u-shizuoka-ken.ac.jp, akio.yoshi@nifty.com)

稠密な地殻変動観測網及び地震観測網が展開されている中で、南海トラフ巨大地震の発生を迎えるのは、初めてである。大地震が発生する前にプレート間カップリングのステージの変化を示す様々な現象が捉えられる可能性は高いと考えられる。例えば、御前崎沖から四国沖の広い海域におけるバック・スリップ蓄積レートの減少、浜名湖下や豊後水道下、紀伊水道下での長期的スロースリップの間隔の短縮、短期的スロースリップの頻発と低周波地震活動の活発化等である。こうした現象は、即、2~3日以内の地震発生を予測させるものではないとしても、プレート間地震の準備過程が一段と進んだことを示すと考えて良いだろう。

東北地方太平洋沖地震の発生前にも、地震活動の静穏化や $b$ 値の低下、東北日本の地殻短縮レートの減少、地震発生時の潮汐応答の敏感化等、震源域におけるプレート間カップリングの変化を示唆する現象が見られたことが報告されている。

フィリピン海プレートが沈み込む南海トラフ沿いでは、太平洋プレートが沈み込む日本海溝沿いに比べて、カップリング域における定常的な地震活動度が低い。また、西南日本で観測されている低周波地震活動が東北日本では観測されない一方、日本海溝沿いのカップリング域内ではほぼ周期的に発生する多くの相似地震が観測されるなど、地震活動から見た両地域におけるプレート間カップリングの様相には明瞭な違いがみられるので、東北地方太平洋沖地震の際に観測された“前兆”が、南海トラフ巨大地震の前にもそのまま同じように観測されるとは限らないだろう。

1946年南海地震の前には、広域で地震活動の静穏化が観測された。次の南海トラフ地震の前にも静穏化が観測される可能性が高いと考えられる。 $b$ 値の変化はどうだろうか。一般に前震活動の $b$ 値は小さいと言われているが、2016年熊本地震（ $M7.3$ ）の際には、震源周辺の地震活動の直前の $b$ 値は大きかった。それには震源域での応力の減少が関係していたと推定される（Nanjo and Yoshida, 2016）。南海トラフ沿いでは地震活動度が低いので、海域での $b$ 値の変化を、三陸沖のように詳細に追跡できるかどうかかわからない。むしろ、西南日本では地殻内地震活動が比較的活発なので、内陸の各地域における活動の $b$ 値の変化を調べるのが意味を持つかもしれない。カップリングの弱化に伴う地殻内応力の減少を示す $b$ 値の増大が観測される可能性も考えられる。

Nanjo KZ, Yoshida A (2016) Seismic quiescence and increase of the  $b$  value preceding the April 16, 2016  $M7.3$  earthquake in Kumamoto, Japan. *Earth Planets and Space* (submitted).

## 南海トラフ東部の海底変位地形：

### 数値水深モデル（50 m メッシュ・150 m メッシュ）から

### 推定された石廊崎断層と下田沖断層帯と精度の限界

金 幸隆（大阪市立大学）

(kimu@sci.osaka-cu.ac.jp)

南海トラフ東部は、伊豆弧と本州弧の衝突境界であり、紀伊半島・四国沖のプレート沈み込み帯と比べてM8クラスの地震の間隔が歴史的に長く、M7クラスの地殻内地震の発生頻度が高い。したがって海底活断層は、この地域のプレート収束帯の構成要素となる。

伊豆半島とその南に続く伊豆海台の東縁には、落差約 200 m~2000 m の東落ちの海底崖が約 120 km 分布する。この海底崖に沿って、伊豆東方線 (ITTL) が推定されるが、詳しい調査はなされていない。本研究は、海上保安庁海洋情報部 (2012) の 150 m メッシュと 50 m メッシュの海底地形データからアナグリフ画像と等深線図を作成し、断層の痕跡を調査した。

石廊崎断層：1974 年伊豆半島沖地震 (Mw6.9) では、半島南端の石廊崎断層に地震断層が出現した。しかしながら海底部の断層についての調査報告はない。150 m メッシュから作成した等深線図について目を凝らしてみると、大陸棚に分布する岩礁、海底の尾根および谷が、石廊崎沖で横ずれしている可能性がある。尾根と谷の屈曲点を線で結ぶと、断層線は、西北西—東南東に走り、陸上の石廊崎断層に繋がる。石廊崎断層は海域に約 7~8 km 延びていると推定するが、地形精度が悪いため、認定の確実度は低い。また断層位置をピンポイントで示すことはできない。

下田沖断層帯 (F2)：下田沖の海底を切る西側隆起の活断層が、海岸線にほぼ平行に 3 条認められ、西から東の順に断層 a, b, c とした。下田港周辺では 50 m メッシュがあり、2 m 間隔の等深線図を作成できた。海底には港のある入江から海底谷が形成されている。谷の北側では、須崎半島があり、水深が半島の突端から急激に深く、海岸線付近から陸棚斜面が形成されている。谷の南側では、海底半島があり、尾根状に岩礁が海底に伸びている。50mメッシュから作成した海底地形図を判読すると、小規模な海底扇状地が 1 か所で認められ、落差 2 m 程度の低崖に切られている。データの精度が悪いため、変位・変形の痕跡は判断できないが、断層の可能性はある。下田沖の大陸棚の縁辺部では、150m メッシュに基づき 10 m 間隔の等深線図を作成した。陸棚斜面の脚部には、扇状地状の海底台地が形成されている。この台地は、西側隆起の撓曲変形を受けている。撓曲崖は西側と東側の 2 条あり、北北東—南南西に延びる。長さはそれぞれ約 26 km である。なお下田沖断層帯 (北北東—南南西、西傾斜逆断層) の南端に伸びる石廊崎断層 (西北西—東南東、高角右横ずれ) は、下田沖断層の運動に関連して形成された Tear Fault と解釈する。

海底地形図は、メッシュ範囲に標高データが無い場合、周辺のデータを補間して地形モデルが作成されている。したがって地形図は実際的水深と異なる場合がある。海底地形の精度の向上が今後の課題の 1 つである。謝辞：本研究では、海上保安庁海洋情報部の津波メッシュデータを利用して頂きました。

## 堆積性海岸低地帯の微地形形成プロセス：

### 三浦半島南部の上下地殻変動・残留隆起量の履歴説明

金 幸隆（大阪市立大学）・萬年一剛（温泉地学研究所）

([kimu@sci.osaka-cu.ac.jp](mailto:kimu@sci.osaka-cu.ac.jp))

南海トラフに面した海岸線には、エピソード的な地震隆起に伴って形成される海成段丘が分布しており、地殻変動様式および地震発生期の証拠として調べられている。

南関東の海岸線付近では、高さ1~4mの低崖に画された複数段の完新世海成段丘が認められ、それら1段1段の段丘がそれぞれ1回1回の地震隆起の痕跡であると考えられて、房総半島における地形・地質研究では、段丘の段数と形成年代から地震の発生間隔が見積もられているケースがある。後述の通り、段丘の段数は地震の数を示すものではないため、地震の発生間隔の見積りについては疑問が残る。

四国の室戸岬では、前空(2001)によってヤッコカンザシ棲管および隆起波食地形の分布高度から、最近数千年間の地殻変動様式が示されている。海岸線に分布する海成段丘面は、プレート境界付近で発生する地震と、プレート境界から枝分かれした、より陸地に近い活断層で発生する地震があり、陸に近い活断層の地震が数百年~千数百年の間隔で発生することが海成段丘を形成した主たる要因としている。プレート境界の地震は100年から200年の短い間隔で発生するが、1回の地震に伴う隆起量が比較的小さいため、地震後数年間の急速な逆戻りや地震間の定常的な傾動運動・沈降変動によって、地形学的証拠は残りにくいと考えられた。

三浦半島南部の毘沙門湾では、この溺れ谷の湾奥に発達する堆積海岸低地の形成過程を微地形学的な段丘判読と年代・層序学的な段丘構成層の分析を実施した結果、たった標高2m未満に5段の海岸段丘を認め、その内4つの段丘に関して、新しく、海岸に近い方から1923年、1703年、1293年および1000年前後に急激な離水が起こっていると推定された。1段1段の段丘は、それぞれ1回1回の地震性隆起によるものではなく、複数回の地震サイクル（地震時・地震間の地殻変動）の累積によって形成されていることが明らかにされた[金・他、2015]。

堆積海岸低地では、地盤の隆起が起こると、干潟は離水し、新期に干潟が海側に形成される。その後、地殻の逆戻りによって標高が元に戻されても、一旦離水された干潟層は場所的に残存できる環境がある。岩礁地帯では、波で削られるため、時間がたつと地震の隆起痕跡はなくなる。元禄と大正の波蝕段丘が、関東の海岸線に分布するのは、立て続けに地震が起きたためと推定する。1703年とその1つ前の1293年の地震の発生間隔は410年と長いため、前の1293年に形成された海成段丘は1703年の地震が起こる前に元の高さに戻っている(Fig. 1)。

段丘の高さの差から、前の地震からの地殻変動の回復の程度が明らかにできる。地震の隆起が完全に戻されていけば、残留隆起量はない。元禄地震の隆起は大正地震が起こるまでに戻らなかったため、残留隆起量は+で海成段丘が形成された。

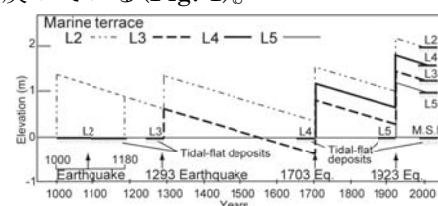


Figure1 Estimation of the Accumulation Process of Vertical Displacement associated with Recently Four times of Kanto Earthquake



# 豊中－柏原断層と南海地震

中川要之助 (応用自然史研究室「人と大地」)

Younosuke.Nakagawa

[Younosuke.Nakagawa@me3.seikyuu.ne.jp](mailto:Younosuke.Nakagawa@me3.seikyuu.ne.jp)

**はじめに：**大地震の前後で温泉の湧出や成分の変化が知られ。しかし温泉の湧出機構は複雑である。本研究は山型に二枚重ねた八つ橋を押さえると上が割れるのをヒントに、断層と海洋プレートの関係をモデル化して、温泉の変化から大地震予知の可能性を提言する。

**豊中－柏原断層の概要：**鉄道や道路建設の地質断面図に記される断層箇所を結んで大阪平野を北西－南東方向に横切る豊中－柏原断層が推定された<sup>1)</sup>。川西市のビル建設の工事で北西走向、東傾斜の断層が現れた<sup>2)</sup>。柏原市玉手山に南北方向の断層を切る北西－南東方向の断層がある。この他、山陰海岸から紀伊半島まで断層とその延長上に低比抵抗帯、反射法弾性波探査による推定断層、第四紀火山岩、負ブーゲー異常、炭酸温泉などが存在する<sup>3)</sup>。

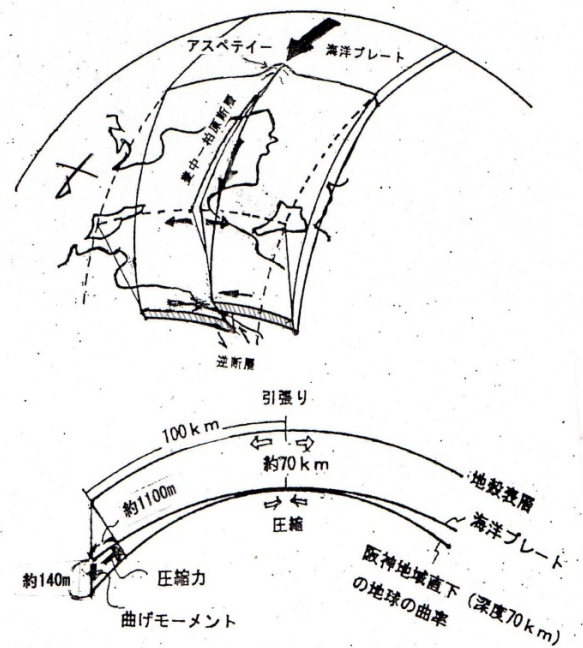
**豊中－柏原断層の地震活動：**近畿に震度5以上の被害を生じた地震の震源が断層付近に存在する。1596年 M7.5 伏見地震<sup>4)</sup>、1899年 M7.0 尾鷲地震、1927年 M7.3 北丹後地震、1936年 M6.4 河内大和地震、1952年 M6.8 吉野地震などである。また M8.0 南海地震の震源域も断層の延長上にある。

## 豊中－柏原断層と南海地震の構造モデル

南海トラフでフィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に北西方向に潜り込む。潜る方向に直交方向のプレートの当初の断面は地球の表面の円弧の一部である。潜るに従い円弧の曲率半径は縮小し、側方から押されてプレートに北西走向の断裂や襲が生じる。

この断裂が紀伊半島深部のフィリピン海プレート構造の歪みと考えられる。またその反力で八つ橋を二枚重ねたように、陸のプレートに北東－南西方向に張力が働き、豊中－柏原断層が生じると考えられる。

**温泉と南海地震：**含水したフィリピン海プレートが潜り込むと脱水する。その水は豊中－柏原断層を通じて温泉を生じる。南海地震が近づくとプレート境界面の力の関係が変化して温泉に変化が現れると期待される。



## 参考文献

- 1) 柴山元彦, 中川要之助: 大阪平野地下地盤構造研究(その5) 大阪平野を横断する豊中－柏原断層(新称)について.大阪教育大学紀要 v.31,no.1,1982.
- 2) 中川要之助, 篠田公平: 活断層と土地開発, 豊中－柏原断層について. 第32回同志社大学理工学研究所研究発表会予稿集. 同志社大学 1994.
- 3) 中川要之助 他: 第44回同志社大学理工学研究所研究発表会講演予稿集. 同志社大学 2007.
- 4) 宇佐美龍夫: 最新版日本被害地震総覧[416]-2001. 東京大学出版会, 2003.
- 5) 大沢信二, 西村進 編: 温泉と地球科学 p. 166, 図1. ナカニシヤ出版 2016.

# 予知例としての 2016.4.1 三重県南東沖地震M6.5

猿渡隆夫 (なし)

(saruwatari\_takao@yahoo.co.jp)

## 1. はじめに

地震学はプレートテクトニクスによって画期的な発展をしたと言われている。しかし、地震には季節性や地域性がある。これらの観測事実と矛盾するプレートテクトニクスは、間違っている。

地震を起す力は他にある。台風通過後、地震が発生していることが多く、震央近傍の台風通過時の最大瞬間風速の風向がメカニズム解の力の方向と一致する。その確率は 1/8 である。そして、それが何例も一致することから偶然ではあり得ない。さらに地震のエネルギーより風力のエネルギーの方が大きいと推定されることから、風力が地震の原動力であると推測された。風力が作用してから、平均 3 か月後、地震が発生していることから、季節性・地域性が説明でき、観測事実と矛盾しない。もちろん、このタイムラグを利用して地震予知が可能である。

## 2 予知方法

多くの地震を解析した結果、台風が温帯低気圧になる時や低気圧が発達する時、下降気流の強風が発生し、地面・水面に当たった地点で、数か月後、地震が発生していることが分かった。下降気流の強風が当たった地点では、最大瞬間風速の増加が認められた。また衛星画像では、雲の無い領域として写っていることが多いことが分かった。

- 1) 地震の大きさは、強風域の幅または雲の無い領域の幅が震源域の幅と一致することから推測。
- 2) 強風日から 1 週間から 7 ヶ月後位に地震が発生する。
- 3) 震央近傍の風向が、メカニズム解の軸と一致する。

## 3. 2015 年 7 月 19 日にブログにて三重県南東沖地震の予知公開

2015 年 7 月 16 日の台風 11 号による大地震の可能性

<http://blogs.yahoo.co.jp/saruwatari314/13276010.html>

発生場所 (矢印の先端) はぴったり一致。地震の大きさは予想 M7 クラスに対し M6.5 と少し小さかったがほぼ一致。発生時期は 1 週間後から 7 か月後が 8.5 ヶ月後と少し遅れた。風向 (矢印の先端付近の風向は南東) がメカニズム解の圧力軸の方向 (南東—北西) と一致した (一致する確率 1/8)。以上から 4 月 1 日の三重県南東沖の地震はほぼ予想通りであった。

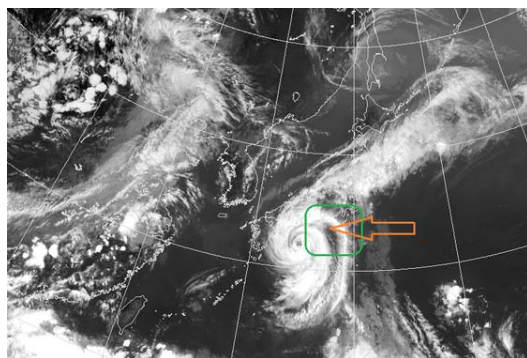


図 1. 2015 年 7 月 16 日 15 時の衛星画像

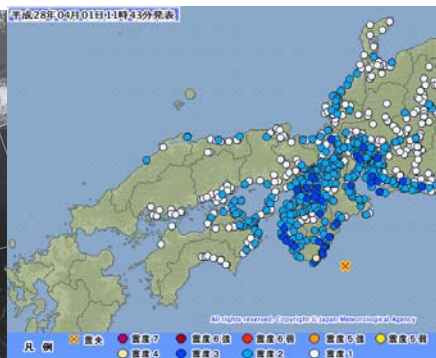


図 2. 2016. 4. 1 三重県南東沖地震M6.5

# 2011年東北地方太平洋沖地震で観測された本震に先行する陸側 プレートの歪限界点の到達

末 芳樹 (-)

(yos-sue@mbf.ocn.ne.jp)

近年、日本では GEONET や F-net など日本全域をカバーする観測網の整備がなされている。この状況で発生した巨大地震が 2011 年東北地方太平洋沖地震である。そこで、この地震の発生までの凡そ 3 カ月間に中部地方から小笠原諸島までと北海道中央部で挟まれる領域で観測された事象を集めた。

集めた事象を解析したところ、発生は 3 つの段階から成っていた (末, 2016)。

第一段階； 2010 年 12 月中旬～2011 年 1 月 28 日頃。岩手県沿岸部の地下水の変化、父島近海地震 (M7.4)、GEONET や F-net の平常時と異なる状態等が広い領域で観測された。特に GEONET による観測で海側プレート上にある父島基準点が 1 月 27 日頃に最も西に到達した後西進を止めたこと (武田, 2013)、同じ時期に陸側プレート上にある宮城県・志津川基準点も同様の動きを示しているように見えること (神山, 2012) が挙げられる。これらの動きは、陸側プレートでの歪の蓄積が限界点に達したことを示していると推測する。

第二段階； 1 月 29 日頃～3 月 2 日頃。第一段階の結果、それまで海側プレートの動きに柔軟に対応していた陸側プレートの反発力が増大してプレート境界での応力を増加させた為、三陸沖でスロースリップ及び M5 級の地震が複数発生した。

第三段階； 3 月 8 日頃～3 月 11 日 (本震)。第二段階で活動のあった三陸沖で地震活動が再開し、継続して本震に至った。同時期に三陸沿岸部でも GEONET に動きが見られた。

海溝型地震では、陸側プレートの圧縮歪が限界点に到達することが地震発生条件になっていると思われる。これは、GEONET による観測で陸側プレートの運動ベクトルが 0 になり、次に進行方向の反転として認識される。2011 年の巨大地震では、2011 年 1 月 28 日頃 (本震の凡そ 1.5 カ月前) に起きたと考えられる。

## 参考文献

神山真, 2012, 3.11 巨大地震が投げかけたもの—工学と地震学の狭間から—, 平成 24 年度地盤工学会東北支部総会講演会, [http://www.jgs-tohoku.org/event/20120425\\_H24soukai\\_lecture-kamiyama.pdf](http://www.jgs-tohoku.org/event/20120425_H24soukai_lecture-kamiyama.pdf).

武田文秀, 2013, 東北地方太平洋沖地震 (東北巨大地震), [http://www.tec21.jp/g\\_eq\\_tohoku\\_crust\\_m.htm](http://www.tec21.jp/g_eq_tohoku_crust_m.htm).

末芳樹, 2016, 2011 年東北地方太平洋沖地震前の 3 ヶ月間に観測された発生までの 3 段階の過程, JpGU2016, S-SS30-P14.