

南海トラフに発生する地震の予測可能性について

松澤暢（理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター）

1. はじめに

南海トラフ沿いでは、過去に M8 級の巨大地震が繰り返し発生してきており、また、その再来間隔が 100-200 年程度と準周期的であることが知られていた（図 1）。しかし、最後に発生した 1944 年昭和東南海地震（M7.9）と 1946 年昭和南海地震（M8.0）は、その前の 1854 年の安政東海地震（M8.4）と安政南海地震（M8.4）から僅か 90 年と 92 年後に発生し、規模もこれまでの南海トラフ沿いの地震に比べて一回り小さかった（表 1）。

1976 年に石橋克彦氏は、駿河湾付近の領域のプレート境界断層は、安政東海地震では滑ったが昭和東南海地震では滑らなかったため、近い将来にここで大地震が起こる可能性があるとする「駿河湾地震説」を発表した（石橋，1977）。以後、この「駿河湾地震」は「想定東海地震」という名前のもと、大規模地震対策特別措置法（以下、「大震法」と呼ぶ）の枠組みが適用され、その地震災害軽減のために、様々な整備が行われてきた。1995 年兵庫県南部地震による阪神淡路大震災により、地震の短期予知については当面は困難であるとの前提で、地震予知研究は再スタートしたが、「東海地震」だけはその規模の大きさと観測網密度等を考慮し、ある条件のもとには予知できる可能性があるとしてきた。

しかしながら、2011 年東北地方太平洋沖地震という M9.0 の地震すら予知できなかったことから、様々な議論がまきおこり、内閣府のワーキンググループは、2017 年に、「東海地震も含めて地震予知は困難」という報告書をまとめ、地震予知研究は大きな節目を迎えることになった。本稿では、

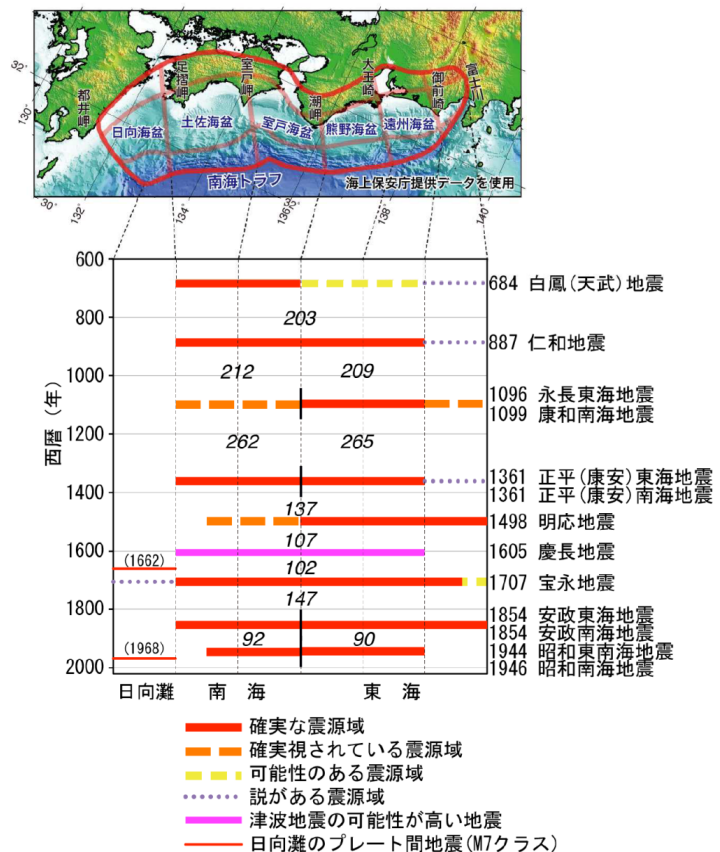


図 1. 南海トラフ沿いで発生した巨大地震の時空間分布（地震調査委員会，2013）

その科学的背景について紹介する。

2. 南海トラフ沿いの地震に関する東北地方太平洋沖地震後の検討

内閣府や中央防災会議では、南海トラフ沿いの地震の対策について長年検討を進めてきた（内閣府，2018）。また、地震調査研究推進本部の地震調査委員会でも2回に渡って、南海トラフ沿いの評価を行っている（地震調査研究推進本部，2018）。以下では2011年東北地方太平洋沖地震（以下、「東北沖地震」と呼ぶ）以後の動きについて整理する。

東北沖地震直後の2011年4月に、中央防災会議に「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」が設置され、同年6月に、この専門調査会による中間とりまとめが公表された。その中で「あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波を検討していくべき」との指摘がなされたことにより、同年8月に、内閣府に「南海トラフの巨大地震モデル検討会」が設置され、2012年3月に「南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について（第一次報告）」が公表された。この報告における南海トラフ沿いの巨大地震の最大規模は、これまでの想定より一回り大きなMw9.0とされ、また、津波断層モデルも含めるとMw9.1にもなり得ることが示された。このモデルでは震度7以上となる地域が6県以上にまたがり、20m以上の津波が押し寄せる可能性が指摘された。

このような広域巨大災害に対する対策を検討するために、2012年4月に中央防災会議「防災対策推進検討会議」の下に「南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ」が設置され、このワーキンググループの要請により、地震の予測可能性について専門家の立場から検討を行うために同年7月に「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」が設置された。この調査部会は結論として「直前の前駆すべりを捉え地震の発生を予測するという手法により、地震の発生時期等を確度高く予測することは、一般的に困難である」とし、また「発生する地震の領域や規模の予測は困難である」という報告を取りまとめ、これを受けて地震の予測よりも「事前防災」に重きを置いた提言が盛り込まれた最終報告が、上記ワーキンググループより2013年5月に公表された。

また、地震調査研究推進本部地震調査委員会でも、南海トラフ沿いの地震の検討を進め、南海トラフ沿いでは、これまでのような東南海地震と南海地震という単純な区分けでなく、多様なパターンの地震が発生しうるとした「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」を2013年5月に公表した。

これらの報告や評価結果を踏まえて、中央防災会議では防災対策の検討を進め、2014年6月に「南海トラフ地震防災対策推進基本計画」を公表し、さらに、2015年3月に中央防災会議幹事会が「南海トラフ地震における具体的な応急対策活動に関する計画」を公表した。

東北沖地震の発生前の時点においても、地震の発生予測は一般的に困難とされながらも、「想定東海地震」のみは予知できる可能性があるとして、大震法の枠組みで防災対策が構築されていた。しかし、上述の検討結果は、南海トラフで次に起こる巨大地震が「想定東

海地震」とは限らず、規模もさらに大きなものになる可能性を示していた。このように「想定東海地震」だけが特別であるのかも含めて、地震観測・評価の現状を整理して防災対策を検討するために、中央防災会議「防災対策実行会議」により「南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対策検討ワーキンググループ」が2016年9月に設置され、さらに同月に同ワーキンググループの下に「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」が再設置されて、2012年に設置された調査部会と同じメンバーが招集された。この調査部会は2017年8月に「大規模地震対策特別措置法に基づく警戒宣言後に実施される現行の地震防災応急対策が前提としている確度の高い地震の予測はできない」と明言した報告書を公表し、これを受けて上記ワーキンググループも「大震法に基づく現行の地震防災応急対策は改める必要がある」と明記した報告書を同年9月に公表した。

気象庁はこの報告を踏まえて、新たな防災対応が定められるまでの当面の間「南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会」を開催して「南海トラフ地震に関連する情報」発表することとした。この「評価検討会」は従来の東海地域を対象とした「地震防災対策強化地域判定会」と一体になって検討を行うとされているが、これまでのような東海地震のみに注目した情報（東海地震に関連する情報）の発表は行わないことになった。このような新たなシステムが2017年11月から動き出したことにより、1978年から約40年に渡って続けられてきた大震法に基づく東海地震対策は大きく転換することとなった。

3. 地震の予測可能性について

一般の方からすれば、「東海地震だけは予知できるかもしれない、とされてきた根拠は何か?」、「これまで東海地震、東南海地震、南海地震の3兄弟とか言われ、それらが連動したら宝永の地震と考えられていたのに、何故方針が変わったのか?」というような疑問を持たれると思う。筆者は地震調査委員会長期評価部会や前述の内閣府の調査部会の委員として、これらの検討に加わってきたので、その経験を踏まえて、これらのことについて、簡単に説明をしておきたい。ただし、この問題については学界や各委員会内部でも様々な意見があり、以下は筆者の主観がかなり入っていることに注意してほしい。

3-1. 短期的予測可能性について

地震の断層を模した岩石実験を行うと、地震の発生前には「プレスリップ」と呼ばれるゆっくりとした滑りが生じることが明らかになっている。この現象が実際の地下でも起きているのならば、このプレスリップさえ捉えられれば、地震の直前予知は可能ということになる。

しかしながら、このプレスリップの大きさは極めて小さく、大き目に見積もっても、最終的な地震の規模より、マグニチュードにして2小さいと考えられている。現在の地殻変動観測網で確実に断層運動が検知できるのは、内陸ではM6程度以上、海域でM7程度以上と考えられる。海域でM8の地震が生じたとしても、最大でM6のプレスリップということ

になり、本震発生前にそれがプレスリップであると認定できる可能性は極めて低い。また、内陸で確実に被害地震となる M7 クラスの地震にプレスリップが生じたとしても、最大で M5 クラスであり、この検知も容易ではない。

一方、「想定東海地震」の「想定震源域」は陸の下にかかっており、規模も M8 が予想されていたのでプレスリップは最大で M6 クラスとなる可能性がある。したがって、もし、そのプレスリップが地殻変動観測点が多数展開されている東海地域の陸の下で発生すれば、地震の直前予知が可能と考えられる。しかし、その「想定震源域」は海域にも及んでおり、もし海の下でプレスリップが生じれば、直前予知はできないことになる。また、プレスリップの M6 という規模は、考えうる最大値であり、それより小さい可能性は否定できない。もし、M5 以下のプレスリップであれば、陸の下で発生したとしても、それをプレスリップと認定することは極めて難しいと考えられる。

以上から、確実に被害地震となる、陸域で M7、海域で M8 の地震すらプレスリップで予知することは困難であり、唯一、「想定東海地震」だけは予知できる「可能性がある」とされたが、それについても、予知できない可能性が十分にあることは気象庁等からもずっと説明がなされていた。たとえ予知できる可能性が低くても、もし予知に成功した場合には、被害軽減に大きく役立つと考えられるため、大震法の枠組みでの「想定東海地震」の対応は継続してきた。

しかしながら、「ゆっくり地震」とか「スロースリップ」とか呼ばれる、プレスリップによく似たゆっくりとした滑りが各地で見つかり、また計算機によるシミュレーションでも、このようなゆっくりとした滑りが単独で起こる場合や、その後大きな地震を引き起こす場合、大きなプレスリップ無しに小さな地震から大きな地震に成長していく場合といった様々な断層滑り現象が生じることが、次第に明らかになってきた。しかも、東北沖地震は M9.0 の規模であり、M7.0 のプレスリップが生じていれば現状の観測網でも十分検知できたはずであったが、実際にはそのようなプレスリップは見つけられなかった。

厳密には、東北沖地震の2日前に発生した M7.3 の前震のあと、「余効滑り」と呼ばれる、ゆっくりとした滑りが生じており、これが本震の発生のトリガとなったと考えられるので、これを「プレスリップ」の一種であると考えられる研究者も居る。実際、隣接した地震の余効滑りが本震の発生をトリガする現象は計算機上でのシミュレーションでも再現できている (Kato, 2004)。しかしながら、3月9日の地震の余効滑りを見ても、本震の前の加速が見当たらないため、このあとに、大きな地震をトリガするのか、それとも通常の余効滑りとして終息するのかを、現在の科学の実力では区別できない以上、少なくとも決定論的な地震予知はできないことになる。

日本海溝沿いのプレート境界は南海トラフ沿いのプレート境界よりも不均質性が高いと考えられており、岩石実験で見られているような単純なプレスリップが生じる前に、一回り小さな地震が発生してしまっていて、大規模なプレスリップが生じにくいと考えられる。したがって、岩石実験で得られているように単純なプレスリップから本震に至る可能性は、

日本海溝沿いよりも南海トラフ沿いのほうが高いと思われるが、それでも明瞭なプレスリップが見られないまま本震に至る可能性のほうが高いと考えられる。

「想定東海地震だけは直前予知の可能性はある」というのは、現時点でも間違っていないと思われるが、東北沖地震の経験とこれまでの研究の進展を考えれば、「想定東海地震」といっても、直前予知の可能性は極めて低いと考えられる。それを正直に社会に伝えなければ、地震予知に対する誤った期待を生じさせてしまう弊害のほうが大きいと、多くの関係者が判断したことが、今回の大きな変更につながったと思われる。

3-2. 連動性の評価について

南海トラフ沿いの地震と同様に、過去に規則正しく地震が発生していたと考えられていた地震に、宮城県沖地震がある。1978年の宮城県沖地震の震源域ではM7.4程度の地震が約40年の再来間隔で繰り返していたことが知られている。そのすぐ沖合では1897年のM7.7の地震が発生しており、さらに1793年に発生したM8.2の地震は、この二つの震源域が連

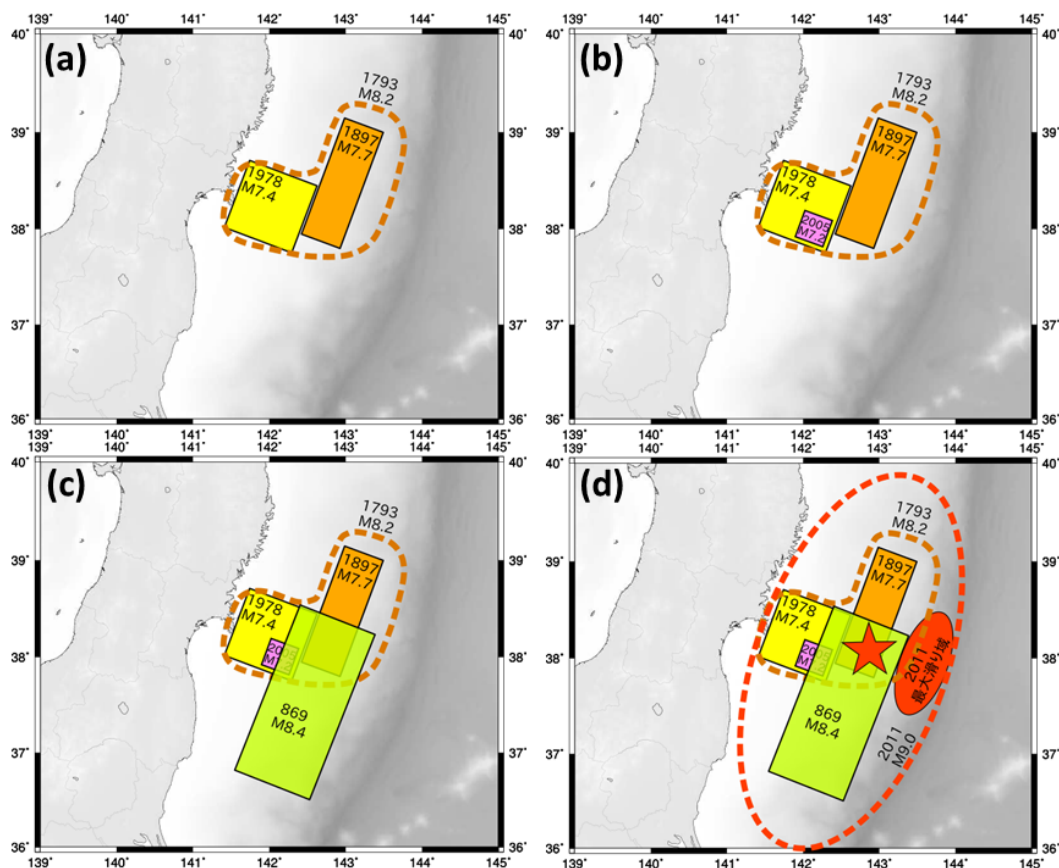


図2. 宮城県沖の大地震の震源域の分布. (a) 2000年頃の解釈. (b) 2005年頃の解釈. (c) 2011年4月に長期評価として公表されるはずであった解釈. (d) 2011年東北地方太平洋沖地震の震源域（点線楕円）と震央（赤星）および最大滑り域（赤楕円）の概略.

動して破壊した地震と解釈されていた（地震調査委員会，2000；図 2a）。

1978年の地震から27年後の2005年に、M7.2の地震が想定宮城県沖地震の震源域の中で発生したことにより、過去の地震についての様々な検討が行われた。その結果、1978年の地震は主破壊域が3つに分かれていて、2005年の地震はそのうちの1つを壊しただけであること（柳沼・他，2007；Wu et al.，2008；図 2b），1936年の地震はM7.4となっていたが実は2005年とほぼ同じ場所で発生した同程度の地震の可能性が高いこと（海野・他，2007），等がわかってきた。さらに869年の貞観地震の推定規模はM8.4で、これは宮城県沖から福島県沖にかけての広い範囲を破壊した地震であり、平均再来間隔は450-800年程度であることが2010年までに明らかになった（文部科学省研究開発局・他，2010）。

地震調査委員会では、これらの結果を取りまとめて、2002年に公表された「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価」の改訂を検討し、2011年の2月には改訂案がほぼ確定して、4月の公表を目指していた（図 2c）。しかし、公表の前に3月に宮城県と福島県に事前説明しようとしていた矢先に東北沖地震が起こってしまった。この東北沖地震は、上記の1978年の地震（M7.4）とその沖合の1897年の地震（M7.7）および869年の貞観地震（M8.4）の震源域すべてを破壊する地震となった（図 2d）。

つまり、2000年に宮城県沖地震の長期評価が出された時点では、1978年型の地震（M7.4）と1897年型の地震（M7.7）がときに連動して1793年型の地震（M8.2）が生じると解釈されていた（図 2a）のだが、2005年の地震（M7.2）を契機に、1978年型よりも下の階層の存在（図 2b）が明らかになり、2011年の地震（M9.0）によって上の階層の存在も明らかになったのである（図 2d）。

南海トラフ沿いの地震についても、これまでは安政東海地震（M8.4）や安政南海地震（M8.4）のような地震が基本的に繰り返して発生しきて、時に連動して宝永地震（M8.6）のような巨大な地震が生じると考えられてきた。しかし、東北沖地震の教訓から、宝永地震よりも上の階層の地震が生じる可能性の検討も必要になり、また宮城県沖地震の教訓から、逆に安政の東海地震や南海地震よりも下の階層の地震が発生する可能性を検討する必要も生じたのである。

表 1. 南海トラフ沿いの大地震の規模（地震調査委員会，2013）。

	発生年月日	規模		
		M	Mt	Mw
正平(康安)東海地震	1361/08/0?			
正平(康安)南海地震	1361/08/03	8¼~8.5		
めいおう 明応地震	1498/09/20	8.2~8.4	8.5	
慶長地震	1605/02/03	7.9	8.2	
宝永地震	1707/10/28	8.6	8.4	
安政東海地震	1854/12/23	8.4	8.3	
安政南海地震	1854/12/24	8.4	8.3	
昭和東南海地震	1944/12/07	7.9	8.1	8.1~8.2
昭和南海地震	1946/12/21	8.0	8.1	8.2~8.5

※マグニチュードとして、宇津（1999）の表に記載されたマグニチュード（M），津波マグニチュード（Mt），モーメントマグニチュード（Mw）を示す。

特に、昭和の東南海地震の規模は M7.9、南海地震は M8.0 とされ、安政の東海地震や南海地震の M8.4 よりも一回り小さい。2005 年の宮城県沖地震の規模は M7.2 で、「想定宮城県沖地震」の予想規模の M7.4-7.5 より一回り小さかったことから、2005 年の地震は心配されていた「宮城県沖地震」の再来ではないと判断された。同じ判断を南海トラフ沿いで行うのであれば、昭和の地震は安政の地震の再来ではなく、その震源域の一部を壊しただけということになる。そう考えれば、1946 年の昭和南海地震からはまだ 72 年しか経過していなくても、1854 年の安政の地震から今年で 164 年が経過したことになり、1707 年の宝永地震から安政地震まで 147 年しかなかったことを考えれば、大地震発生の切迫性が低いとは言えないことになる。

4. おわりに

「駿河湾地震説」は、昭和の東南海地震に割れ残りがあったという判断に基づく学説であった。しかし、昭和の東南海地震や南海地震が 2005 年の宮城県沖地震と同様の現象であれば、むしろ「ほとんどが割れ残っている」と考えるべきであり、「想定東海地震」のみを心配しているべき状況ではないということになる。一方、下の階層の存在も認めてしまった以上、分割して、少しずつ壊れる可能性も否定できない。そして、このような階層性が生じるということは、南海トラフ沿いの地震は、それほど単純ではないということの意味しており、検知できるほどのプレスリップを生じずに大地震に至る可能性も低くはないということになる。

以上を考えれば、「想定東海地震」の対策のみに過度の重みを置いたり、直前予知ができるという前提で対策を考えたりすることは適切ではないということがわかる。また大地震が切迫している可能性を否定できないものの、次の地震が、普段より高い階層の M9 程度の地震となるのか、それとも普段よりも低い階層の M8 未満の地震となるのか、それすらも残念ながら我々にはわからない。

ベイズ的に考えれば、南海トラフ沿いの次の巨大地震が安政または宝永タイプになるという事前確率は相対的には大きいと考えるべきだろう。しかし、それより規模が小さくなる可能性も大きくなる可能性も残されているということを決して忘れずに減災対策を検討していく必要がある。それこそが、東北沖地震で我々が得た最大の教訓であったはずである。

文献

石橋克彦, 1977, 東海地方に予想される大地震の再検討 —駿河湾地震の可能性—, 地震予知連絡会会報, 17, 126-132.

Kato, N., 2004, Interaction of slip on asperities: Numerical simulation of seismic cycles on a two-dimensional planar fault with nonuniform frictional property, J. Geophys. Res., 109, B12306, doi:10.1029/2004JB003001.

気象庁, 2017, 「南海トラフ地震に関連する情報」の発表について,

<http://www.jma.go.jp/jma/press/1709/26a/nankaijoho.html>

内閣府, 2018, 南海トラフ地震対策, <http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/>

宇津徳治, 1999, 地震活動総説, 東京大学出版会, 876pp.

海野徳仁・河野俊夫・岡田知己・中島淳一・松澤暢・内田直希・長谷川昭・田村良明・青木元, 2007, 1930年代に発生したM7クラスの宮城県沖地震の震源再決定 —1978年宮城県沖地震のアスペリティでのすべりだったのか?—, 地震2, 59, 325-337.

文部科学省研究開発局・国立大学法人東北大学大学院理学研究科・国立大学法人東京大学地震研究所・独立行政法人産業技術総合研究所, 2010, 宮城県沖地震における重点的調査観測平成17-21年度統括成果報告書, 390pp,

https://www.jishin.go.jp/database/project_report/miyagi_juten-h17_21/

柳沼直・岡田知己・長谷川昭・加藤研一・武村雅之・八木勇治, 2007, 近地・遠地地震波形インバージョンによる2005年宮城県沖の地震(M7.2)の地震時すべり量分布 —1978年宮城県沖地震(M7.4)との関係—, 地震2, 60, 43-53.

Wu, C., K. Koketsu, and H. Miyake, 2008, Source processes of the 1978 and 2005 Miyagi-oki, Japan, earthquakes: Repeated rupture of asperities over successive large earthquakes, J. Geophys. Res., 113, B08316, doi:10.1029/2007JB005189.

地震調査委員会, 2013, 南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)について,

https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/nankai_2.pdf

地震調査委員会, 2000, 宮城県沖地震の長期評価,

https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/miyagi.pdf

地震調査委研究推進本部, 2018, 海溝型地震の長期評価,

https://www.jishin.go.jp/evaluation/long_term_evaluation/subduction_fault/