

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 評価基準検討部会とりまとめ

平成 30 年 12 月 25 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（評価基準）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。

なお、南海トラフ WG において防災対応の検討を行っているのは、「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 28 年 9 月～平成 29 年 8 月）（以下、調査部会）がとりまとめた、以下の 3 つのケースである。

- ① 半割れケース：南海トラフの想定震源域内で大規模地震（M 8 クラス）が発生し、残りの領域で大規模地震の発生可能性が高まったと考えられる状況（調査部会ではケース 1 と呼称していたもの）
- ② 一部割れケース：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のような事例として、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（同ケース 2）
- ③ ゆっくりすべりケース：基準を超えたひずみ計の変化を捉えることでプレート境界面での大きなすべりが観測され、前例のない事例として学術的に注目され、社会的にも関心を集めている状況（同ケース 4）

1. 過去に発生した地震の特徴について

- ・ 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。

- ・この調査部会における調査は余震を一部含んだものであったことから、今回、最新の同データベース（ver. 5.1）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、結果は調査部会における調査結果と概ね同じ傾向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旨が指摘されている。
- ・南海トラフでの過去の地震事例を見ると、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（天武）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事例において、これら両領域の地震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（天武）、永長・康和¹、明応を除く少なくとも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2事例（安政、昭和）がある²（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モーメントマグニチュード（以下、Mw）8.0以上の地震103事例のうち、7日以内に周辺500km以内の領域でMw7.8以上の地震が続発したと考えられるものが10事例ある（50km以内を除くと7事例）。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）。
- ・これらの統計結果は、後述するETASを用いて推定した地震発生頻度とも整合的である（図1）。

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。

² 正平の地震は同日に発生したという説と2日差で発生したという説がある。

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 における防災対応の検討で定義したケース毎の防災対応の実施を判断するためには、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、評価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 において防災対応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、地震の規模（マグニチュード）と破壊域の面積や地震発生確率等との関係について検討し整理した。

① 過去の地震事例におけるマグニチュードと破壊域の面積

- ・過去に発生した宝永、安政、昭和の地震について、 M_w と破壊域の面積の関係を求めた。この中で M_w が最小の地震は昭和東南海地震の $M_w 8.2$ （表 1）であり、破壊域の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（表 2、表 3）。

② 最初に発生した地震のマグニチュードと地震発生確率の関係

- ・地震発生確率については、地震活動等の時間的、空間的な観測データから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。この代表的な統計モデルとして ETAS モデル（尾形（2015）等）（以下、ETAS）があり、今回、このモデルを用いて、先行地震の M_w を変えた場合に、周辺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。
- ・南海トラフの領域での地震発生確率を試算するにあたり、一定領域内の地震発生頻度の時間変化を表す ETAS を用いて、南海トラフ沿いの領域と日本全国とその周辺の領域とでのパラメータ等を比較した。南海トラフ沿いでは、普段の地震の発生頻度は低いものの、その他のパラメータについては概ね同程度の値を示し（図 3a）、

先行地震発生後の地震発生確率についても両地域のパラメータで大きく変わらないことを確認した（図 3c）。このことから、地震発生確率は、時間空間に依存する ETAS のパラメータとして、日本全国及びその周辺に対し求められているパラメータを用い試算した（図 3b）。また、パラメータの値による影響を少なくするため、ある Mw の地震発生確率との比をとり相対的な値の変化を確認できる方式で評価することとした（図 3(参考図)）。

- ・ 先行地震の Mw の変化に伴う確率の違いを、図 3c に示す。なおこの図は、「半割れケース」の地震の中で規模が最小である昭和東南海地震の規模 Mw8.2 が先行した場合の発生確率を基準としている。また、最初に発生した地震の Mw による違いが比較できるよう、Mw を変化させた際の破壊域の面積と地震モーメント、ETAS による後発地震の発生確率等の変化を、表 2 に示す。
- ・ Mw の推定誤差を見込んだ下限である Mw8.0 の場合、後発地震の発生確率は Mw8.2 の地震と比べ 4 分の 3 程度の値となっている。
- ・ 「一部割れケース」として想定した M7 クラスの地震による M8 クラスの後発地震の発生確率は、M8 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 M6 クラスにすると更に 10 分の 1 程度低くなり、M8 クラスの地震に比べ数十分の 1 程度となる。

③ 留意事項

- ・ 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 Mw 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る。実際に地震が発生した際は、破壊域の面積やすべり量の大きさ等を解析した上で Mw を精査し、さらに、プレート境界で発生した地震であるか否かも確認して、「半割れケース」、「一部割れケース」等を判断する必要がある。
- ・ 実際の地震の発生には多様性が考えられることから、「半割れケース」に相当する地震が発生した際に、その地震で破壊された領域

の片側だけではなく、東西の両側の領域に未破壊領域が残る場合も考えられる。最初に発生した地震に対する防災対応については、これらのことも考慮し、想定震源域全体に対して総合的に検討することが重要である。

④ 想定震源域全体が破壊された際の評価

- ・ 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7割程度以上（日向灘を除くと8割程度以上）が同時または、時間差をもって破壊され、残り2～3割が未破壊領域となった（表3）。これらの地震の後、更に未破壊領域を破壊するような大規模地震は過去事例としては知られていないことから、7割程度以上が破壊された段階で、おおむね想定震源域全体が破壊されたとみなすことができる（以下、全割れという）。しかし、このような未破壊領域も、破壊領域に近接しており、引き続き大規模な地震が発生する可能性は否定できない。
- ・ このため、全割れに相当する地震が発生した場合も含め大規模地震の発生後については、引き続き発生する地震活動の規模も大きくなるため、未破壊領域を含めて「半割れケース」の地震が発生した場合と同様の防災対応を検討する必要があると考えられる。
- ・ これらいずれの場合においても、想定震源域のうち、破壊領域と未破壊領域のそれぞれの範囲を公表することが重要である。また、未破壊領域に対する地震発生の可能性については、別途詳細に調査・検討する必要がある。
- ・ なお、昭和東南海地震が発生した翌月に愛知県で三河地震が発生した事例もあることから、大規模な海溝型地震が発生した後は、プレート境界の地震のみでなく、内陸での直下地震、海溝軸の外側で発生するアウターライズ地震等にも注意が必要である。

（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4、図5）。

しかし、こ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。

- ・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。
- ・そのため、日向灘の地震についても、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クラスやM7クラスの地震、海溝軸外側などの周辺領域で発生したM8クラスやM7クラスの地震などのプレート境界型以外の地震の取り扱いについては、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、プレート境界で発生する地震に比べ直接的な影響は少ないと考えられるものの、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。このような地震が発生した場合には、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6、図7）。
- ・なお、上記の領域（想定震源域及び周辺領域）内で発生した地震

であっても、太平洋プレートの沈み込みに伴う深い地震は本ケースでの評価対象としない。

(4) 同規模の地震が連発した場合の取り扱い

- ・ 防災対応の基準を下回る地震であっても、これが連発した場合は注意が必要である。この際、ETAS 等の統計モデルによる後発地震の発生確率について、基準となる地震と同等以上の発生確率となるかどうか等を計算することはできるものの、地震の連発には様々なケースがあることや、それら実際に発生した地震活動の状況を適切に表現するパラメータをリアルタイム的に推定することは現時点においては難しく、実際の防災対応に活用するにあたっては、今後引き続き評価手法等を検討することが適切である。(表 4、図 8)

(5) 防災対応実施期間の終了について

- ・ 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 9)。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。

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間の固着状態が明らかに変化しているようなプレート境界での通常と異なるゆっくりすべりを評価の対象とする(図 10)。
- ・ 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。
- ・この際、地殻変動のほか、深部低周波地震や浅部低周波地震の他、群発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。
- ・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できるが、現時点において定量的に評価することはできないことに留意することが重要である。
- ・変化が収まったか否かの評価は、変化していた期間と概ね同程度の期間の様子を見て、新たな変化が見られなかった場合には、その変化は概ね収束したと評価することができる。
- ・この評価を踏まえて地震発生の可能性は事象発生中と比べ相対的には低減したとみなすことができるが、この場合においても南海トラフでは地震発生に向けての準備が進んでいることには変わりはなく、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。また、新たな変化が直ぐさま観測される可能性があり、引き続きの監視が不可欠である。
- ・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、短期間にプレート間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。仮に有意な変化を示すゆっくりすべりが検出できた場合でも、現在の学問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 11、図 12）。

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（表 5）。
- ・ 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、このことを周知広報するとともに、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、様々な手段で、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。例えば、既存の地震活動モデルに基づかない地震活動（時間経過により減衰しない）が見られる等、これまでに経験のない異常な現象が起きた場合においても、様々な観測データを迅速に解析し、本報告の考え方に準じて総合的に評価する体制を構築することが重要である。
- ・ この評価を行うためには、リアルタイム的に地震・地殻変動等を解析できるようにすることが重要であり、特に、確率的評価を行う ETAS 等の統計モデルについて、リアルタイムでの処理の実現が不可欠である。
- ・ また、この評価において、これまで知られていない特異な現象が発生した際には、その旨を含めて情報提供することが重要である。
- ・ 本報告では、防災対応をとるべきであると判断するための基準等について取りまとめたものであるが、そのことを評価するには、それよりも小さな基準で評価体制を立ち上げる必要がある。Mw を基本とした場合の基準については、その推定誤差を見込み、少なくとも 0.2 程度小さな値を目安として検討を開始するのが適切と考える。その他、具体的な検討開始の基準の設定に当たっては、地震活動の状況、地殻変動の状況を勘案し、総合的に検討することが重要である。
- ・ 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いることから、これらを強化していくことが重要である。また、地殻変動の定量評価や観測データを取り込んだ地震発生シミュレーションの研究など、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。

(参考)用語集

※平成 24 年 7 月～平成 25 年 5 月及び平成 28 年 9 月～平成 29 年 7 月に開催していた「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」の報告書で作成した用語集から関連する部分を抜粋した。用語集全文及び引用論文の詳細は、元の報告書を参考願いたい。

南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する報告は、国や地方公共団体の防災担当者に加えて、地震防災に関係する様々な分野の専門家等にも活用されることが想定される。一方、本報告書（注：前述のとおり 2 回の期間に渡り開催されていた「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」の報告書のこと、以下同様）では、本調査部会で収集・整理した科学的知見を記述する上で必要な地震に関するやや専門的な用語が用いられている。このため、本報告書の内容を一般の方々に分かり易いものとする 것과併せて、様々な分野の専門家にも誤解なく理解されるものとするため、用語の説明とともに、本調査部会における定義及び取扱についてここに示す。

予知と予測

本報告書では、法律で定められた東海地震に係る地震予知情報に関する記述や過去固有名詞として用いた場合を除き、現状における研究の実態を適切に表すため、地震の「予測」という言葉を用いている。

なお、日本地震学会理事会〔2012〕は、2009 年イタリア・ラクイラの地震後に組織された市民保護のための国際地震予測委員会の報告書において地震の予測について(1)警報につながる確度の高いもの（**deterministic prediction**）と(2)確率で表現され日常的に公表可能なもの（**probabilistic forecast**）を明確に区別していることを踏まえ、「地震予知」という言葉については(2)の意味で用いないよう努めるべきであるとの見解を示している。

南海トラフ

南海トラフ地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法（平成 14 年法律第 92 号）では、「南海トラフ」を「駿河湾から遠州灘、熊野灘、紀伊半島の南側の海域及び土佐湾を経て日向灘沖までのフィリピン海プレート及びユーラシアプレートが接する海底の溝状の地形を形成する区域」と定義しており、本報告書においても同様の定義で用いている。

ひずみ

物体に力を加えたときに生じる形状変化（変形）のこと。地殻のひずみは、

大きさを表す量（長さ又は面積、体積）について、単位量当たりの変化量の単位量に対する割合として測定される。例えば、体積ひずみ計は単位体積当たりの体積変化を、単位体積に対する割合として測定するものである。

プレート間の固着

陸のプレートの下に海洋プレートが沈み込んでいるプレート境界面を例とすると、プレート間が完全に固着している場合は、両プレートの相対的な位置関係が変わらず、海洋プレートの沈み込みに伴って陸のプレートも深部へと引きずられ、弾性エネルギーが蓄えられる。逆にプレート間が全く固着していない場合は、陸のプレートは動かない（プレートを境に両者が相対的にずれていく）。実際のプレート境界面では、地震やゆっくりすべり等のすべり現象によりプレート間の相対的なずれが生じており、これらの現象よりも長い期間で見れば、プレート間の相対的なずれの大きさによって固着の程度を特徴づけることができる。本報告書では、ある時間範囲で見たときにプレート間の相対的なずれが少ないほど、プレート間の固着が強いと表現する。

ゆっくりすべり

プレート境界面等の断層面で発生するすべり現象を、ガタガタという地面の揺れをもたらすような短周期の地震波を発生させる地震性すべりと、短周期の地震波をあまり発生させないゆっくりとした非地震性すべりに分けて考える場合がある。本報告書では、後者のことをゆっくりすべりと表記する。

モーメントマグニチュード（ M_w ）

断層のずれの規模を表す指標で、ずれ動いた部分の面積とずれの量の平均、剛性率（弾性の程度を表す指標の一つで、ずれによって周囲の岩盤に生じるひずみに対する応力変化の割合を表す係数）の積で表される地震モーメントをもとに計算される。モーメントマグニチュードを用いることで、地震の規模だけでなく、ゆっくりすべり等による断層のずれの規模も同じ指標で表すことができる。

前震・本震・余震

ある時空間範囲内の一群の地震のうち、一つだけ特に大きいものがあれば、それを本震と呼び、本震の前に起こったものを前震、後に起こったものを余震と呼ぶ。ただし、厳密でかつ一般性のある定義を示すことは難しいとされている〔宇津, 2001〕。

応力

物体の内部に生じる力の大きさや作用方向を表現するために用いられる物理量。断層面等の岩盤中の面を考えた時、その面に働く単位面積当たりの力を指す。

余効変動

地震の後に観測される地殻変動。主に発生した地震の震源断層域やその周囲のゆっくりとしたすべり（余効すべり）に起因すると考えられる。

海溝軸

海溝は、大陸縁や島弧に沿った、比較的急な斜面に囲まれる細長い深海底の凹地であり、海洋プレートの沈み込み口である。海溝のいちばん深いところを海溝軸と呼ぶ〔瀬野, 1995〕。

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
- 第 4 回 平成 30 年 11 月 22 日