

南海トラフ沿いの大規模地震の 予測可能性について

平成29年8月

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

目 次

1. はじめに	1
2. 東海地震対策と観測体制の現状等.....	2
3. 地震発生予測に対する国際的な認識と取り組み.....	4
4. 地震の前駆すべりと考えられた事例等.....	5
5. 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震から得られた科学的知見.....	6
6. 地震活動の統計データ等に基づく地震発生確率の予測から得られた科学的知見.....	7
7. 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.....	9
8. 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.....	10
9. 南海トラフの震源断層域で見られる可能性がある現象と防災への活用を視野に入れたその評価.....	13
10. 南海トラフの震源断層域で見られる可能性がある現象のモニタリングと調査研究の方向性.....	16
11. おわりに	20

1. はじめに

東南海・南海地震は今世紀前半にも発生するおそれがあり、想定東海地震が発生していない現状を考慮すると、東海地震と東南海・南海地震が連動して発生する可能性が生じてきており、「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）」において、地震・津波に対する具体的な防災対策を検討する上で、南海トラフで想定される巨大地震を含め、これら地震の発生時期や規模が予測できるか否かは重要な論点であった。

一方、想定東海地震については、監視体制が整備され、地震発生直前^{※1}の予知の可能性がある我が国で唯一の地震とされている。仮に、地震発生前の前兆現象として、現行の監視体制と知見に基づき、想定東海地震の発生前に震源断層域の一部で発生する少しずつすべり始める現象（「前兆すべり」、「プレスリップ」、「前駆すべり」等と呼ばれ、本報告では「前駆すべり」と言う。）が検知された場合に、地震は想定東海地震にとどまると考えるのか、南海トラフ巨大地震につながると考えるのかによって、直前予知がなされた際の地震防災応急対策をとるべき対象地域が変わることになる。そのため、想定東海地震の前駆すべりが検知された場合に想定東海地震と連動して地震が発生する範囲の考え方についても一定の結論を出す必要がある。

このようなことから、平成 24 年 7 月に南海トラフ巨大地震対策検討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（主査：山岡耕春 名古屋大学教授）」が設置され、平成 25 年 5 月に南海トラフの大規模地震の規模及び発生時期の予測可能性に関する科学的知見を収集・整理して、「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。」等の結論をとりまとめ、「南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性について」として公表した。

今般、平成 28 年 6 月に、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（主査：平田直 東京大学教授）」（以下、「ワーキンググループ」という。）が設置され、地震発生予測の現状も踏まえ、南海トラフ沿いの地震観測や観測結果の評価体制、観測・

評価に基づく地震防災対応のあり方について検討することとなった。

本調査部会の報告書の取りまとめから4年以上が経過し、この間に地震発生予測に関連する新たな研究成果が発表されてきていることを踏まえ、このワーキンググループの検討に資するため、改めてワーキンググループの下に本調査部会を設置して、地震発生予測に関する最新の科学的知見を収集・整理し、現時点における南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性を評価した。

さらに、地震発生予測に関する現状の科学的知見に基づき、南海トラフの震源断層域で見られる可能性がある現象を検知した場合に、防災への活用を視野に入れて、検知された現象についてどのような評価が可能かを整理した。

また、今後の地震発生予測に向けて、南海トラフで発生している現象を即時的に分析・評価し、どのような現象が起きているかを常に把握し、理解を深めるためのモニタリング及び調査研究のあり方についても整理した。

なお、本報告書1. から8. に関する最新の科学的知見の詳細等については別冊として整理した。また、9. における各検討ケースにおける評価手法と評価例の詳細については別添資料に整理した。

※1 ここでの直前とは2～3時間から2～3日より前のこと。

2. 東海地震対策と観測体制の現状等

大規模地震対策特別措置法（昭和53年法律第73号）制定の背景には、その当時、地震予知に関して科学的な検討を行うためのデータや地震発生に関する知見が十分ではなかったものの、過去の地震の発生履歴等から駿河湾周辺で大規模な地震の発生が切迫していると考えられていたことに加えて、観測体制の強化により何らかの前兆現象を捉えることが可能であると考えられるという意見が多かったことから、地震予知に対する大きな期待感があったと考えられる。

その後の理論的な研究の進展により、観測されうる前兆現象として、地震の前に想定される震源断層域内の一部で前駆すべりが発生し、加速して地震発生に至る可能性が示された。現在気象庁では、このようなすべりが検知できた場合にあらかじめ想定していた東海地震が発生するおそれがあることを地震予知情報として内閣総理大臣に報告することとしている。これを受け、内閣総理大臣は、閣議にかけて地震災害に関する警戒宣言を発することとなっている。

しかし、前駆すべりが観測可能な規模で発生するかどうかは分からず、大規模な地震の発生前に観測された確実な例はない。また、理論的な研究においても、地震発生前に現れる現象は、使用するモデルやパラメータ等の仮定に大きく依存することが示されている。さらに、3. に後述するように国際的には前兆現象に基づく確実性の高い地震発生予測は困難との認識がある。

このような状況の中、東海地震に関連する情報の発表の根拠や内容及び大規模地震対策特別措置法で定められる警戒宣言が発表された際の地震防災応急対策の内容が、現在の科学の実力に見合っていないという認識が強まっている。一方で、南海トラフにおける大規模地震の発生間隔がおおむね 100～150 年であることから考えると、南海トラフ全域での地震発生の可能性も生じていると考えられる。

南海トラフにおける観測体制の現状としては、地震計、ひずみ計、GNSS 等の観測網が陸域に展開されているとともに、海域においては海底地震計や水圧計による観測などが行われている。これらの観測により、南海トラフ沿いでは、短期的ゆっくりすべりや長期的ゆっくりすべり、浅部低周波地震、深部低周波地震（微動）などの現象が観測されている。なお、最大で1～2か月に1回の観測頻度ではあるが、GNSS/音響測距結合方式による海底地殻変動観測も実施されている。

例えば、浜名湖周辺では数年程度かけて進行する長期的ゆっくりすべりが十年程度の間隔で繰り返し発生している。2000年から2005年にかけて発生した事例では、すべりの規模は Mw7.0～7.1程度であった。また、2013年から2017年にかけて観測された事例は、すべりの規模が Mw6.8程度であった。この長期的ゆっくり

すべりが発生している領域の北側や西側では、2～10 日程度かけて進行する短期的ゆっくりすべりが、数か月から 1 年程度の間隔で繰り返し発生しており、そのすべりの規模は Mw5～6 程度である。

なお、現状の観測網により検知できるプレート境界面におけるすべりの規模の下限は、南海トラフ沿いでは陸域で Mw5～6 程度、沖合では Mw6～7 程度であり、南海トラフの西側では、ひずみ計が密に展開されている東海地域に比べて検知力が低い。

3. 地震発生予測に対する国際的な認識と取り組み

2009 年にイタリアのラクイラで発生した地震 (Mw6.3) では、死者 300 名以上、全半壊約 20,000 棟などの被害が生じた。この地震発生前には、地元の研究者がラドン観測に基づいて発表した「地震予知」による混乱が起き、これに対しイタリア政府市民安全局 (DPC) が「大地震発生の可能性は低い」との情報を出し、その 6 日後に地震及びそれに伴う大災害が発生した。

このことから、イタリア政府が「市民保護のための国際地震予測委員会」を組織し、地震の短期予測^{*2}に関する知見を整理するとともに、確率を用いた地震動の予測や大地震の有力な前兆現象を活用するためのガイドラインについて検討した。また国際地震学及び地球内部物理学協会 (IASPEI) の総会は、同委員会の報告概要を承認しており、現在の地震学界における国際的な共通認識となっている。上記委員会の報告では、確実性の高い地震発生予測に用いることができる前兆現象は見つかっていないため、前駆すべりに基づき地震の発生時期や場所・規模を狭く特定する決定論的な地震発生予測は一般的には困難であるとし、予測には確率が用いられるべきであるという見解が表明されている。

なお、上記委員会の報告では、現在、多くの国で短期予測の方法は開発中であるとしている。アメリカ西海岸やトルコの一部地域では、これまでに短期予測を目指した集中的な観測が行われた例があるが、まだ確実な予測の成功事例はない。この報告では、日本の東海地域も短期予測を検証する場所と見なされている。

一方、電磁気学的な予測研究については、国際測地学・地球物理学連合 (IUGG) のワーキンググループを中心に国際的な研究が進められており、統計的に有意な結果が得られているものの、発生場所及び規模の予測に不確実性がある。

情報面では、近年、地震発生予測に不確実性があることを踏まえ、その後の地震発生の可能性について現在の地震学の共通認識の範囲で発表されている。例えば、イタリアでは 2016 年 8 月にイタリア中部の地震 (Mw6.2) が発生し、同年 10 月に再び地震活動が活発化した際に大規模災害対策委員会 (CGR) は、今後引き続き地震が発生する可能性がある旨の情報を発表し、その 2 日後に Mw6.6 の地震が発生した。

ニュージーランドでは、地質・核科学研究所 (GNS Science) が、M6 程度以上の地震が発生した際に、今後の地震への注意を呼びかけるため、引き続いて発生する可能性がある地震の規模を 3 つのシナリオ (①規模の小さな余震が起きる、②同規模の地震が起きる、③更に規模の大きな地震が起きる) に分けて、各シナリオの発生確率とともに「Likely」、「Unlikely」、「Very Unlikely」などの定性的な表現を併記して地震活動の見通しに関する情報を発表している。

また、米国カリフォルニア州では、地震学者によって構成されるカリフォルニア地震予知評価評議会 (CEPEC) が、M5 クラスの地震が発生した際に、数日以内に同程度以上の地震が発生する可能性を推定し、州当局の防災機関に報告している。

※ 2 ここでの地震の短期予測とは、2 ～3 か月以内に発生する地震について予測すること。

4. 地震の前駆すべりと考えられた事例等

地震の短期予測の可能性に関する知見として、地震発生直前の前駆すべりと考えられた事例を中心に関連する観測事例を収集・整理した。

前駆すべりと推測される観測事例はあるものの、前駆すべりを

捉えるための十分な観測網がある地域は限られており、確実な観測事例はない。

1944年東南海地震直前に前兆的な地殻変動が観測されていたという考え方もあったが、その後のデータ解析や現在の震源物理の知見からは、この変化を前駆すべりによるものとするには疑わしい点があると指摘されている。

一方、これまでに想定される直前の前駆すべりとは異なり、プレート境界面のゆっくりすべりや周辺で発生した地震の余効すべりに伴って発生する地震があることが知られている。

例えば、2014年4月にチリ北部沿岸で発生した Mw8.2 の地震（イキケ地震）は、2013年7月頃から陸域の GPS 観測で長期的なゆっくりとした変位が観測されていた。なお、この観測から推定される非地震性すべりは本震の震源断層域を囲むように発生した。このすべりが発生した領域はプレート間の固着が弱い領域に対応しているとの指摘がある。さらに、本震の2週間前に最大前震（Mw6.7）が発生し、その余震の活動域が本震の破壊開始位置に向かって移動していった。また、本震前の地震活動度は余震による増加分を差し引いても、増加の傾向が見られたが、本震前数日の加速は見られなかったとの指摘がある。

2014年4月にメキシコ南部沿岸で発生した Mw7.3 の地震（パノア地震）では、約2ヶ月前からゆっくりすべりが観測され、本震の震源付近にすべりが拡大していく中で地震が発生した。この期間に観測されたすべりの規模は Mw7.1 に相当する。この地震は、ゆっくりすべりが進行することでトリガーされたとの指摘がある。

これらに対し、2010年2月にチリ中部沿岸で発生した Mw8.8 の地震（マウレ地震）では、地震発生前にプレート間の固着状態の変化を示唆する現象は観測されていない。この領域では、少なくとも10年前からプレート間が完全に固着していたとの指摘がある。

5. 平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震から得られた科学

的知見

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（以下、「東北地方太平洋沖地震」という）で見られたとされる前兆的な異常に関する知見を収集・整理した。

東北地方太平洋沖地震の発生前にはこの地域において Mw9.0 の地震が発生するとは考えられていなかった。また、東北地方太平洋沖地震発生直前には、加速するような明瞭な前駆すべりは観測されなかった。

しかし、数十年間の観測データを整理すると、これまでの他の地震の発生前に見られた現象と共通する現象が観察されていたことを示す複数の解析結果が得られている。ただし、いずれの結果も地震の規模や発生時期との定量的な関係は見いだせていない。

6. 地震活動の統計データ等に基づく地震発生確率の予測から得られた科学的知見

短期的な地震発生を予測する手法として、地震活動の推移に関する統計的な経験式（余震に関する大森・宇津公式や地震の規模別頻度分布に関するグーテンベルク・リヒターの式など）に基づき、最新の地震活動の規模別の頻度と地震発生数の時間減衰などのパラメータを推定し、今後の活動を確率的に推計する手法があり、既に気象庁による地震発生後の地震活動の見通しに関する情報に用いられている^{※4}。

この手法は、ある規模以上の地震活動の推移を予測するには適しているが、この手法を用いて大規模地震の発生確率を計算した場合、現状において、例えば、100km 程度のスケールの領域内で地震活動がどんなに活発な場合でも、マグニチュード 8 クラスの地震が 1 日以内に発生する確率が 1 % を上回ることは極めてまれである。

最近では、大森・宇津公式を発展させ、余震も含めた全ての地震を本震と見なし、全ての地震はそのマグニチュードに見合った

数の余震を励起すると考えるモデル（ETAS）が提案され、地震活動の統計的性質をより一般的に扱うことができるようになってきた。この統計モデルを基に、地震活動の静穏化や前震活動の解析が行われている。

短期的な地震発生確率の予測手法については、前述の経験式を用いた予測を含めて、世界の多くの研究者により様々な手法が提案されてきた。2006年には、地震活動の標準モデルの開発を促し、確率予測の観点から性能を評価することを目標として、国際共同プロジェクト CSEP（Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability）が立ち上げられた。現在、複数モデルによる予測性能比較実験が行われるなど、評価手法の検証が進められている。また、観測異常の一種として、前震の事前識別手法についても検証実験を含めた研究が行われている。これらは、地震活動・地殻変動・電磁気現象などの様々な観測異常に基づく各種の地震発生予測手法の有意性と確率利得を評価できる科学的な標準モデルによる共通基盤を整備することに資するものである。

地震の発生予測は確率的に行われるべきものであり、上記のような検証実験を更に推進する必要がある。一方で、過去の地震活動のデータのみを用いた統計手法では、発生事例が少ない規模の大きな地震の発生を確率的に表現することは難しい面があるため、観測異常の原因となる応力変化等の物理モデルも取り入れた新たな確率モデルの構築に向けた調査研究の推進が重要である。この際、研究計画は、いつまでにどのようなことが可能となるかといったタイムラインを含むものを策定する必要がある。また、いずれの地震発生予測手法も現時点において科学的に確立したのではなく、複数回の地震サイクルを経験することにより、科学的に検証されるものであることに留意する必要がある。

※4 気象庁で用いられている手法は、地震調査研究推進本部地震調査委員会が、「余震の確率評価手法について」（平成10年4月）及び「大地震後の地震活動の見通しに関する情報のあり方」（平成28年8月）として取りまとめたものである。

7. 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

地震の予測可能性に関わる地震モデルやそれに基づくシミュレーション研究の知見を収集・整理した。

地震モデルは、震源断層域に破壊単位^{*5}がどのように配置しているかという点で2つの極端な場合に分けて考えることができる。一方は破壊単位がただひとつ存在するという単純なモデル（固有地震モデル）、もう一方は大小様々な破壊単位が存在するという複雑なモデル（階層的不均質モデル）である。単純なモデルでは前駆すべりが現れ、複雑なモデルでは前駆すべりは必ずしも現れない。また、単純なモデルでは発生する地震の時期及び規模は予測できるが、複雑なモデルでは確率論的要素の影響もあり確度の高い予測は困難である。

現実の震源断層域の複雑さについて定量的な見積りができていないため、前駆すべりの検知可能性や規模の予測可能性は評価できていない。

地震モデルやそれに基づくシミュレーション研究によると、過去の地震活動や各種観測データと矛盾しないように地震発生サイクルをある程度再現し、どのような前駆すべりが発生するかを検討することは可能である。ただし、過去の地震履歴に関する情報やモデルの不完全さから、過去に知られている地震を再現できることが、将来発生する地震を予測できることを意味するものではない。

また、複雑さを考慮したシミュレーションによると、地震発生に至る過程が多様であることが示されている。前駆すべりのほか、震源断層域内や震源断層域近傍でのゆっくりすべり、震源断層域内での比較的規模の大きな地震とその余効すべり、近傍で発生した地震の余効すべり等に引き続き、大規模地震が発生する事例がある。その一方で、震源断層域内でのゆっくりすべりの加速が発生しても必ずしも大規模地震が発生しないこともある。

これらのすべりの発生中など、プレート間の固着状態にふだんと異なる変化が観測されるときには、大規模地震が発生する可能性がふだんよりも高まっている状態にあると考えられるが、不確実性を伴うことを認識しておく必要がある。また、プレート境界

深部で発生する大規模なゆっくりすべりが観測された場合には、その発生領域の浅部延長を震源とする大規模地震につながる可能性が高いと考えられるが、この場合においても不確実性を伴うことの認識が必要である。

シミュレーションは飽くまでも観測された現象を理解するためのものであり、将来を定量的に予測するには未だ不十分である。

- ※5 面的な広がりを持つ震源断層域内の領域で、その内部で破壊条件が一定とみなせる場所を、ここでは破壊単位と呼ぶ。破壊単位には様々な大きさがあり得、また、大きな破壊単位は、それよりも小さな破壊単位を内包することもある。

8. 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

以上の知見を踏まえ、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を整理した。

南海トラフ沿いの大規模地震の発生の予測可能性についての主なポイントは、次のとおり整理される。

[南海トラフで発生する大規模地震の多様性]

- 過去の事例から見て、南海トラフ沿いの大規模地震の発生には多様性がある。駿河湾から四国沖にかけての複数の領域で同時に発生、若しくは時間差をおいて発生するなどの様々な場合が考えられる。

[地震の規模や発生時期の予測の可能性]

- 地震の規模や発生時期の予測は不確実性を伴い、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困難である。
- 南海トラフは、日本海溝と比べると、現状の観測技術で検知し得る前駆すべりが生じる可能性が相対的に高いと考えられる。

その場合でも、前駆すべりに基づく地震の規模や発生時期に関する確度の高い予測は難しく、検知限界を下回るすべりからいきなり大規模地震に発展することや、あるいは検知されたとしても大規模地震が発生しないことはあり得る。

- ゆっくりすべりが拡大あるいは加速しているなど、プレート間の固着状態に変化が見られるときには、不確実ではあるが、定性的には地震が発生する可能性がふだんより高まっている状態にあるとみなすことができる。
- 定量的な評価としては、過去の地震活動の統計データから導かれる経験式を用いた手法により、最新の地震活動の規模別の頻度と地震発生数の時間減衰などのパラメータを推定し、当面の活動の推移についての確率を算出することもある程度はできる。
- 地震モデルやそれに基づくシミュレーションにより、過去の地震活動や各種観測データと矛盾しないように地震発生サイクルをある程度再現することなどが可能である。
- 統計データ等に基づく地震発生確率の予測手法やシミュレーション等、ここで検討したいずれの手法においても、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を確度高く予測することは困難である。
- また、いずれの手法も南海トラフの巨大地震へ適用した場合の科学的妥当性を確認するためには、複数回の地震サイクルを経験する必要がある。

以上からわかるとおり、地震活動の統計的な経験式を用いた地震発生確率的予測が現時点での唯一の定量的予測手法である。また、これまで観測されたことがない前駆すべりを含め、プレート間の固着状態の変化を示唆する現象（以下、「ゆっくりすべり等」という）

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り、検知された場合には、定性的には地震発生の可能性が高まっていることは言えるであろう。

しかしながら、これらいずれの場合においても、現時点においては、地震の発生時期や場所・規模を確度高く予測する科学的に確立した手法はなく、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のが実情である。このことは、東海地域に限定した場合においても同じである。

また、ゆっくりすべり等定性的に地震発生の可能性が高まっているとされるプレート間の固着状態の変化が観測された場合においても、変化の大きさ等から地震発生の可能性の高まりの程度について定量的に評価する科学的な基準も手法もないのが実情である。すなわち、プレート間の固着状態の変化の大きさ等をもとに、地震発生の可能性の高まりの程度を評価することはできないことを意味する。

一方、これまでゆっくりすべりが見られていない場所で、ゆっくりすべりの拡大あるいは加速が見られた場合は、その他の場所でのゆっくりすべりに比べ、定性的には、地震発生の可能性が高まっていると言える。今後、こうしたことについての研究を進め、不確実な情報の活用について検討していく必要がある。

なお、変化が収まった場合には、すべりが生じている時期と比較すると、一定の時間が経過した後は、地震を発生させる可能性は低減したとみなすことができる。

この場合においても、地震発生の可能性を定量的に評価することはできないが、長期的にはプレートの沈み込みに伴いひずみが蓄積され続け、地震発生に向かっての準備が引き続き進んでいることに留意する必要がある。

なお、このようなプレート間の固着状態の変化の大きさ等に基づく評価は、過去の観測事例も少なく統計的な評価もできないのが実情である。地震はいつ発生するかわからず、上記のゆっくりすべり等を伴わず、突発的に発生する可能性が高いことにも留意が必要である。

これらの知見を社会との間で共有することが不可欠である。

9. 南海トラフの震源断層域で見られる可能性がある現象と防災への活用を視野に入れたその評価

(1) 防災対応を検討するケース

南海トラフの震源断層域で何らかの現象の変化が見られた場合、現時点において、確度の高い地震の発生予測は行えないが、プレート間の固着状態の変化を示唆する現象と評価できれば、地震発生の可能性が相対的に高まっているとの評価は可能である。このため、どのような現象が発生しており、今後どのような状況となる可能性があるかについて、不確実性を伴うものの、最新の科学的知見に基づく評価手法等をあらかじめ整理しておく必要がある。

本調査部会では、南海トラフの震源断層域で見られる可能性がある現象の整理を踏まえ、大規模地震の発生に多様性がある南海トラフ沿いで観測される可能性が高く、かつ大規模地震につながる可能性がある現象として社会が混乱するおそれがあると思われる事例の中で、事務局より提起された次の4つの典型的なケースについて検討した。ただし、南海トラフで発生する大規模地震には多様性があり、将来、ここで検討したケース以外の現象が発生する可能性がある。そもそも地震はいつ発生するかわからず、事前にゆっくりすべり等を伴わず、突発的に発生する可能性が高い。これらのことに留意する必要がある。

[ケース1]

南海トラフの東側の領域で発生した大規模地震の直近2事例（1854年の安政東海地震、1944年の昭和東南海地震）では、それぞれ32時間後^{※1}、2年後に残る西側の領域で大規模地震が発生しており、それ以前の記録が残る7事例の大規模地震についても、同時あるいは続けて発生した可能性があるとされている。このような歴史的事実が知られている中、南海トラフの東側の領域で大規模地震が発生した場合^{※2}を想定する。

※1 最近の調査では、30時間後との結果も報告されている

※2 南海トラフにおいては、過去に西側の領域が先に破壊した明確な事例は確認されていないが、その可能性を否定するものではないことに留意

[ケース2]

南海トラフ沿いで M7 クラスの地震が発生した後に、より大規模な M8 クラスの地震が発生した事例は確認されていないものの、東北地方太平洋沖地震が発生した際は、その 2 日前に M7 クラスの地震が発生していた。このようなことが知られている中、南海トラフ沿いで M7 クラスの地震が発生した場合を想定する。

[ケース3]

東北地方太平洋沖地震が発生した際には、先行してゆっくりすべりや前震活動などの様々な現象が観測された。このようなことが知られている中、南海トラフ沿いでこれと同様の現象が多種目で観測されている場合を想定する。

[ケース4]

現在、気象庁では東海地域において、ひずみ計を用いてプレート境界面でのすべりを監視しており、基準を超えたひずみ計の変化を捉えた場合は、地震予知情報等を発表することとしている。この監視の対象となっているような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た場合を想定する。具体的には、東海地震予知情報の判定基準とされるようなプレート境界面での前駆すべりや、これまで観測されたことがないような大きなゆっくりすべりが見られた場合を想定する。

(2) 各検討ケースにおける評価のポイント

本調査部会では、これら 4 つの典型的なケースに対して、現状の科学的知見から可能な各ケースにおける評価手法と評価例を整理した。ただし、現時点では科学的に確立した手法はなく、飽くまで暫定的な手法に留まることに留意する必要がある。

各ケースにおける評価の主なポイントを以下に示す。なお、各検

討ケースにおける評価手法と評価例の詳細については、別添資料「各検討ケースにおける評価手法と評価例」を参照されたい。

[ケース1における評価の主なポイント]

西側の領域での大規模地震の発生について、その規模や発生時期等について確度の高い予測は困難であるが、海溝型地震以外を含む全世界で1900年以降に発生したM8.0以上の大規模地震96事例のうち、その地震の発生後、隣接する領域で同規模の地震（発生した地震のマグニチュード±1.0）が発生した事例は、最初の大規模地震の発生から3日以内に10事例、4日から7日以内に2事例であり、その後事例の発生頻度は時間とともに減少する^{*}。この傾向は、地震発生後の統計的な経験式に基づく地震発生確率の減少の時間変化と同等と評価できる。これら実際の事例数や経験式から定量的な評価が可能である。ただし、これまで南海トラフでは、東側と西側の領域でほぼ同時又は続けて地震が発生したことがあることや、2年～3年後に発生した場合があることにも留意する必要がある。

※南海トラフ沿いで発生する大規模地震はおおむね100年から150年程度に1回発生するまれな現象であることを考えれば、これらの短期間での地震発生の割合は極めて高いと言える。

[ケース2における評価の主なポイント]

より大規模な地震の発生について、その規模や発生時期等について確度の高い予測は困難であるが、海溝型地震以外を含む全世界で1900年以降に発生したM7.0以上の地震1,368事例のうち、この地震発生後、同規模以上の地震が同じ領域で発生した事例は、最初の地震の発生から7日以内に24事例であり、その後事例の発生頻度は時間とともに減少する。この傾向は、地震発生後の統計的な経験式に基づく地震発生確率の減少の時間変化と同等と評価できる。これら実際の事例数や経験式から定量的な評価が可能である。

[ケース3における評価の主なポイント]

長期的な観点から評価されるものが多く、短期的に大規模地震の発生につながると直ちに判断できない。

[ケース4における評価の主なポイント]

現在の科学的知見からは、地震発生の可能性が相対的に高まっているといった評価はできるが、現時点において大規模地震の発生の可能性の程度を定量的に評価する手法や基準はない。

以上の評価は、リアルタイムのモニタリング（地震時とゆっくりすべりを含めたプレート境界面でのすべりの時空間分布の即時推定）の手法とその基準等を検討する体制が構築されていると同時に、リアルタイムのモニタリングの実施体制と速やかな評価体制が構築されていることを前提としている。ただし、現時点では、南海トラフの全域に対して、これらの評価を行う体制は構築されていないことに留意する必要がある。

ここでは、防災対応を検討するケースとして、典型的な4つのケースを取り上げているが、南海トラフ沿いで発生する大規模地震には多様性があり、大規模地震の発生前にある領域で群発地震活動が発生するなど、ここで検討したケース以外の現象が発生する可能性がある。また、仮に検討したケースの現象が発生した場合においても、想定したとおりに現象が進行するとは限らない。

今後、ここで検討したケースも含め、その他のケースについても、より詳細な検討を行い、発生した現象をよりの確に分析・評価する基準や手法等を検討し、モニタリングや調査研究の進展によって、地震発生予測に関する新たな知見が得られた時点で、今回整理した評価手法や評価例について、必要に応じて見直していくことが重要である。

10. 南海トラフの震源断層域で見られる可能性がある現象のモニタリングと調査研究の現状と課題

南海トラフの震源断層域で見られる可能性のある現象のモニタリングと調査研究の今後の方向性を考える上でのポイントは、以下の

とおりである。

○ 近年の地震活動や地殻変動等の観測網の充実により、プレート間の固着状態の変化を示す様々な現象が観測されてきている。東北地方太平洋沖地震等の解析などの調査研究の進展から、大規模地震の発生に至るまでの現象に対する理解が深まってきている。特に、南海トラフ沿いの震源断層域は日本海溝に比べて陸に近く、他の地域に比べて観測網が整備されており、プレート間の固着状態の変化を検知し得る可能性が相対的に高く、地震発生の可能性の高まりを評価することができる可能性が他の地域と比べ高い。

○ 本調査部会では、社会的にも関心を集める事例の中で、社会的な判断が求められる4つのケースを想定し、防災対応へいかす評価を行うため、現状の科学的知見に基づく評価手法とその手法に基づく評価例を整理した。

いずれのケースにおいても、プレート間の固着状態の変化を示唆する現象と評価できれば、地震発生の可能性が相対的に高まっているとの評価は可能である。この評価をするためには、現在どのような現象が発生しているかを把握することが重要である。また、現象は時々刻々と変化していくため、防災対応にいかすことができるような適時的確な情報の発表をするためには、リアルタイムの観測データの収集と即時的な解析を継続的に実施し、現象の変化を把握することが重要である。このための観測データの常時モニタリングと、即時的に分析・評価する体制が現状ではできていない。

今後、南海トラフにおける観測体制や調査研究に関し、現状不足している観測要素やリアルタイム性、手薄な領域及び統計モデル、シミュレーションモデル、物理モデル等に係る調査研究を洗い出し、タイムラインも示して社会との認識を常に共有しながら、その補強・充実及び推進を図ることが重要である。

以上を踏まえ、地震発生予測の確度をより高めるために、南海トラフで発生している現象を即時的に分析・評価し、どのような現象が起きているかを常に把握し理解を深めるためのモニタリング及び

調査研究のあり方を整理した。

(1) モニタリングについて

- 過去に大規模地震に先行して観測された現象は、それ単独では地震発生予測の評価が行えるものではないが、迅速に現象を評価するためには、プレート間の固着状態の変化を示唆していると評価される現象について、常時モニタリングしておくことが重要である。
- 特に、プレート間の固着が強い南海トラフ沿いでは、プレート間に限らず、大規模地震の発生前に地殻変動や地震活動等に何らかの変化が生じる可能性があるため、地殻変動と地震活動の重点的なモニタリングが重要である。
- プレート間の固着状態の変化を迅速に捉えるためには、観測網の高密度化に加え、可能なものからリアルタイムにデータを収集しモニタリングを行うとともに迅速な解析を実施することが重要である。この際、関係する各機関が、互いの解析結果を共有し、比較・評価することが重要である。
- 地殻変動の観測は、高感度で短期的な地殻変動を捉えることが可能なひずみ計について十分な観測網となっていない。特に想定震源域近傍の、愛知県から四国にいたる地域で更なる観測の強化が望まれる。
- プレート間の固着状態を常時モニタリングするには、陸域の観測だけでは不十分であり、駿河湾を含め想定震源域直上の海域のモニタリングの強化が重要である。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。なお、海域の観測網の強化は、大規模地震発生時の破壊領域の把握や、緊急地震速報・津波警報等の迅速化・高精度化にも資することが期待される一方、新たな整備に当たっては、既設観測網の有効性を再確認することが重要である。

- 観測データについて、公開されていないものがあるが、それらを公開することで、解析技術の高度化や新しい利用方法、モニタリング方法が見つかることにつながることから、積極的に公開することが重要である。併せて、解析の自動化による解析結果の即時的な公開を目指すことも重要である。
- 大規模地震が発生した際に観測が適切に継続できるようにするためには、観測機器や通信設備の頑強性や冗長性を高めることが重要である。

(2) 調査研究について

- 発生が極めてまれな大規模地震の理解を深めるためには、過去に発生してきた地震を把握するとともに、海外の大規模地震の事例に学ぶことが重要である。このため、南海トラフ沿いの大規模地震だけでなく、世界全体で発生した大規模地震に関する調査研究を推進することが重要である。
- 前述のとおり観測網の強化を行い、継続的な観測により各種データを蓄積するとともに、地域で伝承されている古文書等の事例の収集・整理、津波堆積物に関する調査、シミュレーションによる現象の再現、物理モデルの構築等の研究を進めることが重要である。また、東北地方太平洋沖地震で先行して観測された現象に限らず、現在の知見では説明できないような地球物理学的現象を解釈するための研究も重要である。
- 現在進行している現象の理解を深めるためには、観測データとシミュレーションモデルを統合したデータ同化によって、実際の現象を適切に再現する技術の進展が重要である。
- シミュレーションモデルを用いた手法としては、今後の短期的な現象の推移を多数計算し、一定の幅を持った将来の予測を行うアンサンブル解析などが考えられる。また、地震活動の統計データに基づく地震発生確率の予測手法としては、更なる高度化を進めるとともに、応力変化等の物理モデルも取り入れた

新たな確率モデルの構築に向けた調査研究の推進も重要となる。

以上の調査研究を推進するに当たり、一般的には、地震発生予測手法は複数回の地震サイクルを経験することにより科学的に検証されるものであり、大規模地震の発生サイクルを考慮すると、手法の検証には長い時間が必要となる。そのため、開発される手法は、その時点で最良と評価されたものであっても、必ずしも十分には検証がされていないことに留意する必要がある。防災対応への活用に当たっては、このことに対する十分な理解が必要である。

なお、これらの研究を推進するに当たり、国際共同プロジェクト CSEP のような実証実験との連携を積極的に進めることが重要である。

1 1. おわりに

本調査部会では、近い将来に発生が懸念される南海トラフ沿いにおける大規模地震の予測可能性について、現状の科学的知見を収集・整理した。今回の検討で、再確認された事項、新たに確認された主な事項は次のとおりである。

- 南海トラフで発生する大規模地震には多様性があり、地震の発生時期や場所・規模を確度高く予測することは困難である。
- 不確実性を伴うものの、地震発生を予測する手法については、地震活動の統計的な経験式を用いた確率的予測が現時点での唯一の定量的予測手法である。
- プレート間の固着状態の変化から地震発生を予測する手法については、ゆっくりすべりの拡大や特定の領域への応力の急増等、プレート間の固着状態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り、検知された場合には、定性的には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。

- しかし、統計データ等に基づく地震発生確率予測手法やシミュレーション等、ここで検討したいずれの手法も、現時点においては、地震の発生時期や場所・規模を確度高く予測する科学的に確立した手法ではなく、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のが実情である。
- これら科学的知見の現状について、過度の期待や誤解がないよう、社会との間で共有することが不可欠である。
- これら現状の科学的知見を踏まえ、ワーキンググループにおける検討に資するよう、大規模地震の発生に多様性がある南海トラフ沿いで観測される可能性が高く、かつ大規模地震につながる可能性がある現象として社会が混乱するおそれがある事例として、4つのケースを取り上げ、現象が観測された場合の評価手法と評価例を検討し整理した。ただし、将来、ここで検討したケース以外の現象が発生する可能性がある。
- 今後、実際に南海トラフ沿いで発生する現象を評価する場合を想定すると、ここで検討したケースも含め、発生した現象をより的確に分析・評価する基準や手法等について、様々なケースを対象として検討を深めることが必要である。

本報告書が、今後のワーキンググループでの検討に活用されるのみでなく、地震・津波に関する観測・評価体制及び調査研究の推進に寄与し、南海トラフで発生する地震・津波の被害の軽減が図られることを期待するものである。

なお、本報告書は、現時点で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、適時適切に、見直し等が行われる必要があることを申し添える。

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 7 月)

1. 趣旨

地殻変動等の観測データとその評価に基づいて、防災・減災のために、大地震発生前にどのような防災対応を実施すべきであるのか等について検討を行うために、中央防災会議 防災対策実行会議のもとに、「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」(以下「南海トラフ防災対応ワーキング」という。)を設置した。

南海トラフ防災対応ワーキングでの議論は、「南海トラフ沿いの地震の予測可能性」や「地震発生前にどのようなことが観測されるのか」という科学的知見を踏まえた上で進める必要がある。

平成 25 年 5 月に中央防災会議 防災対策推進検討会議「南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ」に調査部会を設置し、南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性についての報告書(以下「前回報告書」という。)がまとめられているところであるが、それから 3 年以上が経過し、この間に地震発生予測に関連する新たな研究成果が発表されてきている。

このため、前回報告書にそれ以降の新たな知見を追加するとともに、南海トラフ沿いの地震について、地震発生の多様性をふまえ、様々な事象が観測された場合の地震発生の可能性についても検討を行い、現時点における大規模地震の予測可能性についての科学的な知見の整理を行うことを目的として、「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」を設置する。

本調査部会の検討結果は、南海トラフ防災対応ワーキングに報告する。

2. 主な調査内容

平成 25 年 5 月の報告に加え、以下の内容等を整理する。

- 近年の地震・地殻変動等観測・研究により新たに得られた、地震発生予測に関する知見
- 地震発生の多様性をふまえた、様々な事象が観測された場合の地震発生の可能性について

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 28 年 9 月～平成 29 年 7 月)
委員

- 座長 山岡 耕春 名古屋大学大学院環境学研究科・教授
- 橋本 学 京都大学防災研究所・教授
- 井出 哲 東京大学大学院理学系研究科・教授
- 長尾 年恭 東海大学海洋研究所長・教授
- 堀 高峰 国立研究開発法人海洋研究開発機構
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
- 松澤 暢 東北大学大学院理学研究科・教授

開催経緯

- 第1回 平成28年9月26日（月）
- 第2回 平成28年10月13日（木）
- 第3回 平成28年11月1日（火）
- 第4回 平成29年7月21日（金）