

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
(報告)

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 2 5 年 5 月

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となっている。

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の予知の可能性の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、引き続いて発生する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（東海地震対策大綱、平成 15 年 5 月中央防災会議決定；東南海・南海地震対策大綱、平成 15 年 12 月中央防災会議決定）。

この報告は、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・整理したものである。

※ 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例もほとんどない。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、南海トラフで想定される地震については、このまま相当期間東海地震が発生しなかった場合には、東海地震と東南海地震・南海地震との同時発生の可能性も生じてくると考えられる。

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 $M_w5\sim6$ 程度、沖合では $M_w6\sim7$ 程度である。

3. 地震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を契機として、イタリア政府が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。また同委員会の報告概要は国際地震学及び地球内部物理学協会（IASPEI）の総会での承認を受けて、現在の地震学界における国際的な共通認識を示した。上記委員会の報告では、確実性の高い地震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。それに加え、日本の東海地域も短期予測を検証する場所として見なされている。

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。

※ 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り、現存のデータで確定的な結論を得ることは困難である。

一方、このような直前の前駆すべりとは異なり、プレート境界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。

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

東北地方太平洋沖地震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発生前にはこの地域において $M_w9.0$ 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の直前には、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、地震発生前^{※3}の観測データを整理すると、地震発生の可能性が相対的に高まっていることを示す複数の解析結果が得られている。ただし、これらの結果から地震の規模や発生時期との定量的な関係は必ずしも見いだせていない。

※3 ここでは数十年前から見られている現象を含む。

6. 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※⁴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）、もう一方は大小さまざま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も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は十分には得られていないため、前駆すべりや引き続き発生する地震の規模について確度の高い予測は困難である。

また、複雑さを考慮したシミュレーションでは、地震前の前駆すべりと考えられる現象が発生しても必ずしも地震が発生しないこともあり、地震発生に至る過程が多様であることが示されている。

シミュレーションでは、前駆すべりのほか、震源近傍でのゆっくりすべり、前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の地震発生時期と関係する現象が観測されうることが示されている。これらのすべりの発生中など、プレート間の固着状態に普段と異なる変化が観測されている時期には、不確実ではあるが、地震が発生する危険性が普段よりも高まっている状態にあると考えられる。

- ※ 4 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。

7. 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。

南海トラフ沿いのプレート境界において発生した過去の大規模地震には多様性が認められ、震源断層域が広がる範囲、すなわち地震の規模は確率的にしか評価できないと考えられる。このため、その範囲を事前に高い確度で示すことは極めて難しい。しかし過去の地震の発生履歴を考慮すると、豊後水道付近から紀伊半島沖付近までの領域及び紀伊半島沖付近から遠州灘もしくは駿河湾までの領域を震源断層域として同時に、もしくは時間差を持って発生するなど様々な場合が考えられる。

日本海溝と南海トラフの沈み込み帯を比較すれば、南海トラフのほうが、単純な固有地震モデルではないが、相対的には固有地震モデルに近いと考えられる。すなわち、南海トラフ沿いの地震では、日本海溝沿いの地震に比べて、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。しかし、南海トラフについても破壊単位が複数あると考えられ、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地震に発展することや、あるいは検知されたとしても地震が発生しないことがあり得る。

現在の科学的知見からは地震の規模や発生時期を高い確度で予測することは困難である。一方、観測データの変化に基づいてプレート境界のすべり等の固着状態の変化が検知できれば、不確実性は伴うものの地震発生危険性が相対的に高まっているというとは言及できそうである。このようなプレート間の固着状態変化の典型例であるゆっくりすべりは、過去には、継続時間のごく短いものから5～6年にわたり観測されたものまでである。

8. おわりに

本調査部会では、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、現時点における科学的知見を収集・整理した。本報告の主なポイントは、次のとおりである。

[南海トラフで発生する地震の多様性]

- 過去の事例から見て、南海トラフの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、も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、一般的に困難である。
- 南海トラフ域は、日本海溝域と比べると、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地震に発展することや、あるいは検知されたとしても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しているなど、プレート間の固着状態に普段と異なる変化が観測されている時期には、不確実ではあるが、地震が発生する危険性が普段より高まっている状態にあるとみなすことが出来る。
- この場合においても、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の予測は困難である。

以上からわかるとおり、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。

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について

1. 趣旨

南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループにおいて、地震・津波に関する具体的な防災対策を検討するにあたり、大規模地震対策特別措置法、東南海・南海地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法等の法的枠組みについても検討が行われることとなり、想定する巨大地震の発生時期が予測できるか否が重要な論点となる。

想定東海地震については、観測体制が整備され、数時間～数日前の直前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、現行の観測体制と知見に基づき想定東海地震の前兆すべりが検出された場合に、それによって発生する地震は、想定東海地震にとどまるのか、南海トラフ巨大地震につながるものとするのかによって、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、調査部会において、科学的知見を整理した上で、想定東海地震の前兆すべりが検出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一定の結論を出す必要がある。

一方、地震予知は一般的に困難との認識にあり、南海トラフにおける巨大地震についても同様ではないか等、様々な議論があることから、南海トラフの巨大地震の発生時期の予測可能性について、現時点における科学的知見を収集、整理することが重要である。

以上により、南海トラフの巨大地震の発生時期の予測可能性に関する科学的知見の収集・整理を行うことを目的として、調査部会を設置する。

本調査部会の検討結果は、南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループに報告する。

2. 主な調査内容

地震発生予測に関する資料の収集・整理

- 東北地方太平洋沖地震による知見
 - 地震発生予測に関する現状確認
 - 東海地震予知に係る前兆すべり検出の考え方
 - 各委員からの報告
- 等を整理する。

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

委員

座長 やまおか 山岡 こうしゆん 耕春 名古屋大学大学院環境学研究科・教授

副座長 ^{はしもと}橋本 ^{まなぶ}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

な が お と し や す
長尾 年恭 東海大学海洋研究所地震予知研究センター長・教授

独立行政法人海洋研究開発機構地震津波・防災研究
プロジェクトサブリーダー

まつざわ とおる
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24年7月18日（水）
- 第2回 平成24年8月6日（月）
- 第3回 平成24年9月13日（木）
- 第4回 平成24年9月24日（月）
- 第5回 平成24年10月26日（金）
- 第6回 平成24年11月8日（木）
- 第7回 平成24年11月29日（木）
- 第8回 平成25年1月18日（金）