

【注意】本資料は検討中の内容であり、今後修正の可能性あり

資料 2 - 1

# 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

## 本調査部会報告書 改訂の骨子案

平成 28 年 11 月 22 日

【注意】本資料は検討中の内容であり、今後修正の可能性あり

## 内容

本調査部会報告書における目次の改訂案 .....	1
6. 地震活動の統計データに基づく地震発生確率の予測 .....	2
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 .....	3
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 ....	4
9. 南海トラフの震源断層域で見られる可能性のある現象と防災への活用を視野に入れた その評価方針 .....	6
10. 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 方向性 .....	8
(1) モニタリングのあり方 .....	9
(2) 調査研究のあり方 .....	10

【注意】本資料は検討中の内容であり、今後修正の可能性あり

## 本調査部会報告書における目次の改訂案

1. はじめに
2. 東海地震対策と観測体制の現状等
3. 地震予測に対する国際的な認識と取り組み
4. 地震の前駆すべりと考えられた事例等
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. 地震活動の統計データに基づく地震発生の確率予測
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
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
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
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
11. おわりに

赤字：新規項目

■：内容の加筆

## 6. 地震活動の統計データに基づく地震発生確率の予測

報告書の本文に新たに以下の内容を追加する。

### 6. 地震活動の統計データに基づく地震発生の確率予測

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。

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稀であることに留意する必要がある。

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でもある。

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さら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ものではなく、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。

## 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

平成25年に本調査部会が取りまとめた報告書から内容を修正し、以下のとおりとする。

### 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普段と異なる変化が観測され、特定の固着領域での応力が急増していると推定される時期には、不確実ではあるが、大規模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。しかし、シミュレーションはあ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。

## 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

平成25年に本調査部会が取りまとめた報告書における「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」および「おわりに」をまとめ、新たに「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」として、以下のとおりとする。

### 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や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、その範囲と時期を事前に高い確度で示すことは極めて難しい。過去の地震の発生履歴を考慮すると、豊後水道付近から駿河湾までの領域を震源断層域として、全域が一度の地震で破壊する場合や、部分的な震源断層域の複数の地震が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、南海トラフ沿いの地震は、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、最近の観測成果によると南海トラフについても破壊単位が複数あると考えられ、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、あるいは震源断層域内でのゆっくりすべりが検知されたとしても大規模地震が発生しないことがあり得る。

以上のことから、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、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、プレート間の固着状態に変化が見られ、特定の固着域で応力が急増していると推定される時期には、不確実性は伴うものの地震発生の危険性が相対的に高まっているという事は言及できそうである。なお、現時点では、その危険性を確率では表現できていない。

現時点において、確度の高い地震発生予測は困難であるものの、観測データをリアルタイムで常時モニタリングし、南海トラフでのプレート境界のすべりの状況を逐次解釈し、評価していくことが重要である。

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、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しているなど、プレート間の固着状態に変化が見られ、特定の固着域で応力が急増していると推定される時期には、不確実ではあるが、定性的には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。
- いずれの場合においても、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、いずれの手法もそ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の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、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、現在の科学的知見からは、いずれの場合も、確度の高い地震の予測は難しい。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のある現象と防災への活用を視野に入れたその評価方針

- 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、駿河湾から日向灘にかけての複数の領域での同時発生や、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。
- 歴史資料から見ると、1944年昭和東南海地震、1946年昭和南海地震の発生前に前震と考えられる比較的規模の大きな地震が発生した記録はないが、南海トラフ沿いで過去に発生した大規模地震の多様性を考えると、2011年東北地方太平洋沖地震の2日前に発生したようなM7クラスの比較的規模の大きな地震が、南海トラフ沿いの大規模地震前に発生する場合が考えられる。
- 南海トラフ沿いの領域は、2011年東北地方太平洋沖地震が発生した日本海溝沿いの領域と比べると、相対的に固有地震モデルに近い可能性があり、その場合には、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。
- 一方、最近の海上保安庁による海底地殻変動観測の結果により、南海トラフにおいても日本海溝沿いの領域と同様にすべり遅れ率の小さいところが部分的に存在していることが判明した。このような領域では、2011年東北地方太平洋沖地震の震源断層域内で見られたゆっくりすべりや前震活動などの現象が観測される場合が考えられる。
- プレート間のすべりを捉えるための観測網が整備されている地域は限られており、現在のところ、大規模地震の前駆すべりと評価できる確実な観測事例は確認されていない。しかし、大規模地震の発生に関するシミュレーションによると、すべりが次第に進行した後に大規模地震の発生につながる事例も得られており、同様の変動が南海トラフ沿いにおいて観測される場合が考えられる。
- 南海トラフの想定震源域で実際に何らかの現象の変化が見られた場合、時々刻々と変化していく状況に対して、リアルタイムの観測データの収集と即時的な解析に基づく現象の評価が求められる。しかしながら、現時点では、その現象の評価手法や手順、具体的な評価内容が整理されておらず、最新の科学的知見に基づく評価手法等を予め整理しておく必要がある。ただし、現時点では科学的に確立した手法はなく、あくまで暫定的な手法に留まることに



【注意】本資料は検討中の内容であり、今後修正の可能性あり

留意する必要がある。

上記の基本的な考え方を基に、社会的な防災対応の検討が必要と考えられる事例の中で、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。なお、既に述べたように、将来、ここで想定したとおりのシナリオで現象が発生するとは限らないことに留意する必要がある。

(以下については、別添資料を参照)

ここには、別添資料の「検討ケースにおける評価例」の審議内容を踏まえて、基本的な考え方を整理する予定。

## 10. 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方向性

これまでの内容を踏まえれば、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、以下の通りである。

- 最新の科学的知見等を踏まえた上で、第8章において、平成25年に取りまとめた報告と同様に、現在の科学的知見からは確度の高い地震発生予測は困難であるとされた。一方で、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の危険性が相対的に高まっていると評価することは可能である、と結論付けた。
- 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。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、プレート境界のすべり等の固着状態の変化を検知し得る可能性が相対的に高いと考えられる。
- さらに、2011年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。南海トラフ沿いでプレート間の固着状態の変化を示唆する現象が観測された場合には、その現象を正しく理解し、地震発生の危険性の高まりを評価することができるかもしれない。
- 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、防災対策へ活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第9章で整理した。
- いずれのケースにおいても、その評価をより確たるものとするためには、進行している現象を適切にモニタリングし、即時的な解析により現象を理解することが不可欠であり、ケース毎に必要な観測体制及び調査研究に対し、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、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および調査研究のあり方について整理した。

### (1) モニタリングのあり方

- ・プレート間の固着状態の変化を示すゆっくりすべりと地震活動には、複数の事例で対応性が確認されており、ゆっくりすべりは地殻変動観測から検知できることから、特に地殻変動と地震活動の重点的なモニタリングが必要である。
- ・プレート間の固着が強い南海トラフ沿いでは、大規模地震の発生前に、プレート境界だけでなく、内陸でも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り、これらを検知できるモニタリング体制が必要である。
- ・地殻変動の観測では、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は十分な観測網となっていない。特に愛知県から四国にかけての内陸の想定震源域を中心に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、想定震源域直上の海域のモニタリングの強化が不可欠である。特に南海トラフの西側の領域の観測が不足しており、強化が必要である。
- ・海域の観測網の強化は、高感度で地殻変動に対応する現象を捉えることに加え、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・高精度化にも効果的である。
- ・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、プレート間の固着状態の変化を示唆する現象の可能性がある。大規模地震発生の危険性の高まりを示唆する現象と評価されるものについては、常時モニタリングしておくことが重要である。
- ・プレート間の固着の変化を捉えるためにも、観測網の高密度化に加え、可能なものからリアルタイム的なデータの収集・監視を行うとともに迅速な解析を実施することが望まれる。この際、関係する各機関は、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。
- ・観測データについて、研究ベースで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。
- ・観測データのリアルタイム公開と併せて、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も観測が適切に継続できるよう、観測機器や通信設備の頑強性や冗長性と高めることが重要である。

以上のことから、南海トラフで発生している現象の即時的な分析・評価及び理解のためには、現状の観測網だけでは不十分であり、特に、内陸の想定震源域を中心としたひずみ計観測や海域の想定震源域直上における観測を強化しモニタリング体制を強化することが不可欠である。また、プレート間の固着状態を常時把握しその変化を捉えるためには、リアルタイムにデータを収集・監視するとともに、迅速な解析を実施することが望まれる。その際、関係する各機関は、互いの解析結果を共有し、比較・検討することが重要である。あわせて、今後の解析技術の高度化等にもつながることから、観測データや解析結果の即時的な公開も重要である。

## (2) 調査研究のあり方

- ・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、現在進行している現象の理解を深めるために必要である。
- ・シミュレーションモデルを用いた予測としては、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ことが考えられる。
- ・大規模地震の発生前に起きた様々な現象が各地域で伝承されている事例もあり、これらについても資料を収集・整理し、シミュレーションによる現象の再現を通じて、現象の理解を深めることも重要である。
- ・大規模地震の発生前に見られた地下水や電離層の変化の事例についても、物理モデルとして説明し、その理解を深めることも重要である。
- ・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の更なる高度化が望まれる。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も重要となる。
- ・発生が極めて稀な大規模地震の理解を深めるためには、過去にどのような地震が発生してきたか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し、大規模地震の理解を深める必要がある。
- ・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必要である。
- ・これら研究を推進するにあたり、CSEPのような実証実験を積極的に進めることが重要である。

**【注意】** 本資料は検討中の内容であり、今後修正の可能性あり

以上のことから、南海トラフで発生している現象の即時的な分析・評価及び理解のためには、現状の観測網による観測データだけでなく、特に、内陸の想定震源域を中心としたひずみ計観測網や海域の想定震源域直上における地震・地殻観測網による観測データと、地震発生の確率予測の手法及びシミュレーションモデルを統合したデータ同化手法等の研究の推進が必要である。また、過去の地震についての古文書や津波堆積物などから推定される現象のシミュレーションによる再現などにより、大規模地震発生についての理解を深めることも重要である。あわせて、物理モデルを取り入れた統計的な予測手法の高度化やシミュレーションモデルによるアンサンブル解析など定量的な予測可能性についての研究を進めることも重要である。

#### **【留意事項】**

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。防災対策への活用にあたっては、このことに対する十分な理解が必要である。