

(案)

南海トラフ沿いの大規模地震の 予測可能性について

(別添資料)

各検討ケースにおける評価手法と評価例

平成29年〇月

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

内容

1. 基本的な考え方	1
2. 南海トラフの震源断層域で見られる可能性がある現象.....	1
3. 防災対応を検討するケース.....	3
4. 各検討ケースを評価するための前提条件	5
(1) ケース1に対する評価手法と評価例	6
(2) ケース2に対する評価手法と評価例	14
(3) ケース3に対する評価手法と評価例	23
(4) ケース4に対する評価手法と評価例	25

南海トラフの防災対策の検討として想定されるケースとその評価例

1. 基本的な考え方

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、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。

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を整理した上で、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からとして事務局が提示した典型的な4つのケースが事務局より呈示された。調査部会として、現状の科学的知見等を踏まえ、それぞれのケースに対するについて、その評価手法と評価例を取りまとめた。想定したケースは、現実が発生した事象による観測データを基に評価整理したものではなく、次に示す[検討ケースの想定における基本的な考え方]を基に想定したものである。このため、実際にはここで想定したとおりに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。

~~—[検討ケースの想定における基本的な考え方]—~~

○

2. 南海トラフの震源断層域で見られる可能性がある現象

南海トラフ沿いで見られる可能性がある現象については、以下のとおり整理される。

- 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。ある。最近の2事例（1854年の安政東海地震、1944年の昭和東南海地震）では、震源断層域の西側に隣接したプレート境界面で引き続いて大規模地震が発生しており、今後、南海トラフ沿いで大規模地震が発生した場合にも、その震源断層域の周辺で引き続いて大規模地震が発生する可能性が考えられる。

○ ○ 歴史資料から見ると、1944年の昭和東南海地震、1946年の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プレート境界面で発生する地震は、~~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、南海トラフ沿いのプレート境界面においても日本海溝沿いの領域と同様に~~すべり遅れ率固着の小さい弱い~~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~~ ○ プレート境界面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~~おりいることなどから~~、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留意する必要がある。~~

2-3. 防災対策の対応を検討として事務局より提起されたするケース

~~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~~

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、将来、ここで検討想定したケース以外とおりのシナリオで現象が発生する可能性があるとは限らないことに留意する必要がある。

← [ケース1]

南海トラフ沿いでは、東側の領域で大規模地震が発生した後に西側の領域でも大規模地震が発生している事例が多い*ことを踏まえ、南海~~トラフ~~トラフ沿いの震源断層域が同時に破壊する事例ではなく、先に東側の領域が破壊する大規模地震が発生した場合を想定する。

※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]

南海トラフ沿いで比較的規模の大きな地震*後に大規模地震が発生した事例は確認されてはいないが、2011年東北地方太平洋沖地震の2日前にM7クラスの地震が発生したことを踏まえ、南海トラフで比較的規模の大きな地震が発生した場合を想定する。

※M8～9クラスの大規模地震と比べて一回り小さい規模（M7クラス）の地震

← [ケース3]

南海トラフ沿いで2011年東北地方太平洋沖地震に先行して観測されたものと同様の現象が多種目で観測され、ニュースで報道される等、社会的にも注目される状況となっている場合を想定する。

← [ケース4]

南海トラフ沿いでこれまでに観測された事例はないものの、最近の知見

を踏まえたシミュレーションモデルから想定される事例の中で、地震発生前に特にプレート境界面でのすべりが大きく、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る現象が発生した場合を想定する。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、これまで観測される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。

本調査部会では、これら4つの典型的なケースに基づき、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、あ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。

3. 各ケース

4. 各検討ケースを評価するための前提条件

大規模地震の発生の可能性を評価するにあたっては、地震活動や地殻変動等をリアルタイムでモニタリングし、科学的な知見を総合して検討することが肝要である。仮に顕著な変化を検出した際には、直ちにその変化に対する評価を行う必要がある。この際、何らかの社会的な対応を講じることを視野に大規模地震が発生する可能性が高まったと評価した際には、現象の推移を見守るとともに、その可能性が低くなったか否かについても評価することが必須となる。

このためには、リアルタイムのモニタリングによる変化の検出方法とその基準、地震発生の可能性が高まったとの判定手法とその基準、低くなったとの判定手法とその基準を、予め検討し定めておく必要がある。

現実に様々な現象が検知され、その評価を行うには、常にリアルタイムでの現象のモニタリングを行い、顕著な変化を検出した際には、直ちにその変化に対する評価が行える体制を構築することが必須となる。また、定期的に観測データを総合的に評価するとともに、その基準や評価手法等についても適時、点検・見直しが行える体制としておくことが肝要である。

なお、今回整理した各ケース各検討ケースに対する評価手法と評価例は、リアルタイムのモニタリングの手法とその基準等を検討する体制が整備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ことに留意する必要がある。

4. 各ケース5. 各検討ケースにおける対する評価手法と評価例

(1) ケース1に対する評価手法と評価例

南海トラフ沿いでは、東側の領域で大規模地震が発生した後に西側の領域でも大規模地震が発生している事例が多い※ことを踏まえ、南海トラフ沿いの想定震源域が同時に破壊する事例ではなく、先に東側の領域が破壊する大規模地震が発生した場合を想定

※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

○発生した地震の破壊域（震源断層断層域）とすべり領域の拡大等の即時的な評価

- ・地震観測及び地殻変動観測の結果から断層の破壊域を推定
- ・南海トラフ沿いの震源断層域における割れ残り領域の評価（割れ残り領域が破壊する大規模地震が発生した場合の地震の規模、震度分布、津波高の推計を含む）
- ・地震観測及び地殻変動観測により余震活動、余効変動を把握し、その状況の標準的な収束傾向との比較・評価【図1、2参照】
- ・併せて、参考としてクーロン応力変化による地震活動の促進域・抑制域の把握と、観測された地震活動や地殻変動との対比による評価【図3参照】

○最新の地震活動に基づく地震発生確率の算出

- ・最新の地震活動に基づき、時空間 ETAS などの統計モデルを用い、震源断層域、周辺域及び割れ残り領域における大規模地震の発生確率を参考として算出（前震活動かどうかの確率算出を含む）【図4参照】
- ・地震活動の推移に併せて逐次計算を実施し、最新の地震発生確率を算出

○リアルタイムデータ解析とシミュレーション等による現象の理解

- ・複数のモデルを用い、パラメータ等を変化させて、余効すべりの推移等を計算・可視化するシミュレーションを参考として実施
- ・シミュレーション結果と観測データを比較し、プレート境界プレート境界面におけるすべりの状況の理解を深めるとともに、今後の推移の可能性についてシミュレーション結果を基に評価

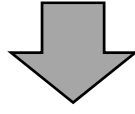
○過去の大規模地震発生統計データに基づく評価

- ・南海トラフで部分的に割れた大規模地震の最新2事例（1854年の安政東海地震、1944年の昭和東南海地震）では、残る領域で大規模地震が発生して

いる。684年以降に発生した大規模地震7例についても、正確な地震の発生間隔は不明であるが、同時あるいは続けて発生した可能性がある【図5参照】

- これら過去の事例から見ると、南海トラフの東側の領域が破壊する大規模地震が発生すると、**引き続いて**西側の領域でも大規模地震が発生する**可能性は高い**。
- 南海トラフの西側の領域で大規模地震が発生するまでの期間にはバラつきがあるが、**全世界世界全体**で発生した**過去の**大規模地震の統計**データ**から図6に示すとおり、**M8.0以上の大規模地震(92事例)**の後、隣接領域で**M8.0±1の地震が発生した事例は、最初の3日間で9事例(10%程度)、4日目～7日目が2事例(2%程度)**となっており、全体の傾向からは大森・宇津公式に従うと見なすことができる。
- 西側の領域で大規模地震が発生する場合、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、図7に示す大森・宇津公式に従うとすると、最初の地震発生から2年経過した期間(731～1095日)を基準とした場合の1日あたりの相対的な確率利得は、地震直後から3日程度は100倍以上と極めて高く、以降1週間程度は約50倍以上、2週間程度は30倍以上と依然として特段に高い状態にあると考えられる。
- 以降、西側の領域での大規模地震発生の可能性は、時間の経過とともに次第に低減し、約2週間を超えると相対的な確率利得は、地震発生直後の約300倍の1/10である30倍以下となり、約2カ月を超えると10倍以下となる。
- **時間が経過すると、短期的な確率は小さくなるが、地震の発生のおそれが高くなったためではないことを十分強調することが必要。**
- なお、これらの数値は数少ないデータから導いた結果であり、誤差を含むことに留意する必要がある。
- 西側の領域での大規模地震の発生の可能性が特段に高い2週間程度が経過した後においても、南海トラフ沿いでは、過去に東側の領域で大規模地震が発生した場合、西側の領域で数年後に大規模地震が発生している事例もあることに留意する必要がある。

※現象は時々刻々と変化していくため、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、現象の変化の把握に努め、適時的確な情報の発表に努めることが重要である。



[ケース 1 で想定される評価例]

—
—————

南海トラフの東側の領域で Mw8.6 (仮) の地震が発生 (地震発生直後)

- ・震度、津波、今後の地震活動 (内陸地震を含む) 等への警戒の呼びかけ
- ・南海トラフの西側の領域は破壊されず割れ残っており、この領域で地震が発生すると、Mw8.6 (仮) の大規模地震となる可能性がある。
- ・西側の領域で想定される大規模地震が発生した場合の震度分布、津波高の推計結果に基づく警戒の呼びかけ
- ・地震活動や地殻変動の進行状況の評価と地震発生確率の算出
 - －地震が発生した東側の領域の地震活動や地殻変動に加え、西側の領域で想定される震源域との境界付近の領域における地震活動と地殻変動の状況を把握し、活動の集中や拡大が見られているか否かを評価
 - －~~プレート境界~~プレート境界面のすべりの進行状況に関するシミュレーションモデルと観測記録との比較による現象の理解と把握
 - －西側で想定される震源域との境界付近における地震発生確率の算出 (前震活動かどうかの事前評価も含む)
- ・現在進行している現象から、東側と西側の震源断層域の境界付近での応力が高まった状態にあると考えられる。
- ・~~過去に南海トラフ沿いで発生した大規模地震の事例から見ると、南海トラフ沿いの南海トラフで東側の領域で発生した大規模地震の最新 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、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。このため、東側の領域で発生した大規模地震に引き続き、西側の領域で大規模地震が発生する可能性は高い。
- ・西側の領域で大規模地震が発生する時期、~~および~~及びその規模を確度高く予測することは困難であるが、大森・宇津公式に従うとしてその可能性を評価すると、最初の地震から 2 年経過 (731~1095 日) した期間を基準とした場合、東側の地震直後から 3 日程度は相対的な確率利得が約 100 倍以上と極めて高く、以降 1 週間程度は約 50 倍以上、2 週間程度は 30 倍以上と依然として特段に高い状態にある。
- ・ただし、南海トラフ沿いでは、過去に東側の領域で大規模地震が発生した場合、西側の領域で数年後に大規模地震が発生している事例もあることに留意することが肝要である。

[ケース 1 で想定される評価例] : 東側の地震直後に比べて地震発生の可能性が特段に高い状態ではなくなった時点 (※)

南海トラフの東側の領域で Mw8.6 (仮) の地震が発生 (大規模地震が発生した)

いまま 2 週間程度が経過)

- ・南海トラフの東側の領域を震源断層域とする大規模地震による余震、津波等への警戒の呼びかけ（内陸地震を含む）
-

・地震活動や地殻変動の進行状況の評価と地震発生確率の算出

- 一地震が発生した東側の領域の地震活動や地殻変動に加え、西側で想定される震源域との境界付近の領域における地震活動と地殻変動の状況を把握し、活動の集中や拡大が見られているか否かを評価
 - ⇒ (例) 地震活動や地殻活動変動は次第に低減し、それらは東側を震源断層域とする余震活動と余効変動によるものと評価され、かつ西側の震源断層域に地震活動や地殻活動変動が拡大していない。
- 一プレート境界プレート境界面のすべりの進行状況に関するシミュレーションモデルと観測記録との比較による現象の理解と把握
 - ⇒ (例) シミュレーションによる解析でも西側へのすべりの拡大が想定されていない。
- 一西側で想定される震源域との境界付近における地震発生確率の算出
 - ⇒ (例) 地震確率の計算から見ると、西側の領域で大規模地震が発生する1日当たりの確率は、東側の地震発生直後に比べて低くなっているが、2~3年以内の確率は依然として高い。

- ・南海トラフの西側の領域で発生する大規模地震の規模、発生時期等について確度の高い予測は困難であるが、大森・宇津公式に従うとすると、大規模地震が発生する可能性が特段高い期間は過ぎ、相対的な確率利得は、地震発生直後の約300倍の1/10である30倍以下となっている。
- ・西側の領域での大規模地震の発生については、その可能性が特段に高い期間は経過したものの、過去に数年後に西側の領域で大規模地震が発生した事例もあり南海トラフで東側の領域で発生した大規模地震の最新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、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してされている。このため、今後、いつ地震が発生するか分からないことに留意し対応する必要がある。

(注) 西側の領域が破壊したケースの対応は、基本的に上記の東側の領域が破壊したケースに倣うが、過去の歴史において西側の領域の破壊が先行した例は確認されていない。現実にもこのような事例が発生した場合、この旨を示し情報提供する等の注意対応が必要である。

~~※現時点において、地震活動や地殻変動の状況から、確度の高い地震発生の予測を行うことは困難であるが、※少なくとも地震活動の変化や地殻変動が活~~

発な状態が続いている時点や、標準的な収束傾向とは異なる傾向で進行している時点では、評価の見直しは行わず、引き続き活動の推移を厳重にモニタリングする。

|

|

(2) ケース2に対する評価手法と評価例

南海トラフ沿いで比較的規模の大きな地震^{*}後に大規模地震が発生した事例は確認されてはいないが、東北地方太平洋沖地震の2日前にM7クラスの地震が発生したことを踏まえ、南海トラフで比較的規模の大きな地震が発生した場合を想定

^{*}M8~9クラスの大規模地震と比べて一回り小さい規模(M7クラス)の地震

○発生した地震の破壊域(震源断層断層域)とすべり領域の拡大等の即時的な評価

- ・地震活動及び地殻変動のモニタリング結果から断層の破壊域を推定
- ・発生した地震が~~プレート境界~~プレート境界面のすべりによるものか否かを

評価

- ・地震観測及び地殻変動観測により余震活動、余効変動を把握し、その状況の標準的な収束傾向との比較し、その拡大の有無を評価【図1、2参照】

(例) 2011年東北地方太平洋沖地震の直前の地殻変動等

- ・同時に、観測されている地殻変動が~~プレート境界~~プレート境界面のすべりによるものか否かを評価

- ・併せて、参考としてクーロン応力変化による地震活動や地殻変動の促進域・抑制域の把握と、観測された地震活動や地殻変動との対比による評価【図8参照】

- ・引き続き発生している地震活動を含め、これら地震が前震である可能性があるか否かを評価

- ・仮に前震であるとした場合、その後発生する可能性のある大規模地震の規模、震度分布、津波高等を推定

○最新の地震活動に基づく地震発生確率の算出

- ・最新の地震活動に基づき、時空間 ETAS などの統計モデルを用い、震源断層域、周辺域及び割れ残った領域における大規模地震の発生確率を参考として算出【図9参照】

- ・地震活動の推移に併せて逐次計算を実施し、最新の地震発生確率を算出

- ・前震である可能性を評価し、大規模地震が連続する確率を算出

○リアルタイムデータ解析とシミュレーション等による現象の理解

- ・複数のモデルを用い、パラメータ等を変化させて、余効すべりの推移等を計算・可視化するシミュレーションを参考として実施

- ・シミュレーション結果と観測データを比較し、~~プレート境界~~プレート境界面

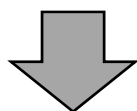
におけるすべりの状況の理解を深めるとともに、今後の推移の可能性についてシミュレーション結果を基に評価

○過去の大規模地震発生統計データに基づく評価

- ・南海トラフ沿いで過去に発生した大規模地震について、M7 クラスの比較的規模の大きな地震後に大規模地震が発生した事例は確認されていない。ただし、近代的な観測体制が整備されて以降に発生した南海トラフ沿いの大規模地震は、1944年の昭和東南海地震、1946年の昭和南海地震のみであり、この事例のみでM7クラスの比較的規模の大きな地震が大規模地震前に起きないと判断することはできない。
- ・1900年以降に世界全体で発生した比較的規模の大きな地震の統計データから、最初のM7.0以上の地震（1,319事例）が発生後に、さらに規模の大きな地震が同じ領域で発生する割合は7日以内に2%程度（25事例）、8日目以降3年以内に24%程度（2752事例）である。
- ・M7クラスの地震が前震となる場合、さらに規模の大きな地震が発生するまでの期間は大森・宇津公式に従うと見なすことができる【図10参照】。
- ・比較的規模の大きな地震に引き続き、さらに規模の大きな地震が発生するかどうかについて確度の高い予測は困難であるが、発生した地震を仮に前震とした場合（4%程度事例に該当するとした場合）、図11に示す大森・宇津公式に従うとすると、更に大きな規模の地震が発生する可能性は、最初の地震から2年経過した期間（731～1095日）を基準とした場合の1日あたりの相対的な確率利得は、地震直後から1週間程度は約100倍以上と極めて高く、2週間程度は50倍以上と依然として特段に高い状態にあると思われる。
- ・以降、時間の経過とともに大規模地震の発生の可能性は低減し、約2週間を超えると相対的な確率利得は、地震発生直後の約500倍の1/10である50倍以下となり、約2～3カ月を超えると10倍以下となる。
- ・時間が経過すると、短期的な確率は小さくなるが、地震の発生のおそれがないためではないことを十分強調することが必要。
- ・なお、これらの数値は数少ないデータから導いた結果であり、誤差を含むことに留意する必要がある。
- ・過去の事例から見ると、比較的規模の大きな地震に引き続き、さらに規模の大きな地震が発生する可能性は、元来4%程度と低いことから、仮に前震とした場合に特段発生の可能性が高いと考えられる2週間程度の期間を経た以降は、比較的規模の大きな地震に引き続きさらに規模の大きな地震が発生する可能性は低くなったと整理することが適切と考えるである。

- ・ただし、3年以内にさらに規模の大きな地震が起こった事例のうち、半数は1週間以降に発生していることに注意を促すことも必要である【図10参照】。

※現象は時々刻々と変化していくため、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、現象の変化の把握に努め、適時的確な情報の発表に努めることが重要である。



[ケース2で想定される評価例]

南海トラフの震源断層域内で Mw7.5 (仮) の地震が発生 (地震発生直後)

- ・震度、津波、今後の地震活動 (内陸地震を含む) 等への警戒の呼びかけ
- ・南海トラフで M8 クラスの地震が発生した場合に想定されている震度分布、津波高を示し、警戒を呼びかけ
- ・地震活動や地殻変動の進行状況の評価と地震発生確率の算出
 - 地震発生領域周辺の地震活動と地殻変動の状況と標準的な収束傾向との比較
 - シミュレーションを用いた~~プレート境界~~プレート境界面の余効的なすべりの進行の把握
 - 地震発生領域の周辺における地震発生確率の算出 (前震活動かどうかの事前評価も含む)
- ・M7 クラスの地震後に、さらに規模の大きな地震が発生する割合は3年以内に4%程度であるが、今回の地震が前震となって、今後、さらに規模の大きな地震が発生する可能性があることから、地震活動と地殻変動の推移を厳重に監視モニタリングする必要がある。
- ・今回の地震が仮に前震となってさらに規模の大きな地震が発生する場合、その規模や発生時期を確度高く予測することは困難であるが、大森・宇津公式に従うとしてその可能性を評価すると、最初の地震直後から2年経過した期間 (731~1095日) を基準とした場合、今後2週間程度で大規模地震が発生する相対的な確率利得は約50倍以上、特に最初の~~5日間~~1週間程度は約100倍以上となり、今回発生した地震に引き続き大規模な地震が発生する可能性が高い。
- ・~~比較的大きな規模の地震に引き続きさらに大きな規模の地震が発生するか~~

否かについて確度の高い予測は困難であるが、発生した地震が前震であるとした場合、大森・宇津公式に従うとすると、今回の地震に引き続き、更に大きな規模の地震が発生する可能性は、地震直後から1週間程度は約100倍以上と極めて高く、2週間程度は50倍以上と依然として特段に高い状態にある。

[ケース2で想定される評価例]：発生可能性が低くなった場合（※）

Mw7.5（仮）に引き続き大規模地震が発生しないまま1～2週間程度が経過

- ・余震への警戒の呼びかけ（内陸地震を含む）
- ・地震活動や地殻変動の進行状況の評価と地震発生確率の算出
 - －地震発生領域の地震活動や地震活動と地殻変動の状況を把握し、活動の集中や拡大が見られているか否かを評価
 - ⇒（例）地震活動や地殻活動変動は次第に低減し、それらは余震活動と余効変動によるものと評価され、活動領域の拡大は見られていない。
 - －シミュレーションを用いたプレート境界プレート境界面の余効的なすべりの進行の把握
 - ⇒（例）シミュレーションによるモデルでも引き続きの大規模地震につながるすべりの拡大は見られてない。
 - －西側の震源断層域との境界付近における地震発生確率の算出
 - ⇒（例）地震活動は次第に低減しており、1日当たりの地震の発生確率も、地震発生直後に比べ低くなっている。ただし、今後2～3年以内に起こる確率はM7クラス発生前に比べて依然として高い。
- ・現在の地震活動と地殻変動の状況から見ると、今回発生した地震の後にすべりが拡大しているような状況は見られていない。
- ・比較的規模の大きな地震に引き続き、さらに大きな規模の地震が発生するかどうかについて確度の高い予測は困難であるが、今回の地震が仮に前震であるとして、大森・宇津公式に従うとすると、さらに大きな地震が発生の可能性が特段に高い期間は過ぎ、相対的な確率利得は、地震発生直後の約500倍の1/10である50倍以下となっている。
- ・過去の事例から見ると、比較的規模の大きな地震に引き続きそれより大きな規模の地震が発生する可能性は、元来4%程度と低いことから、仮に前震とした場合にさらに大きな規模の地震の発生する可能性が特段高い2週間程度の期間を経た以降は、その可能性は低くなったとも考えられる。
- ・ただし、この場合においても、3年以内にさらに規模の大きな地震が起こった事例のうち半数は1週間以降に発生しており、今後、地震はいつ発生するかわからないことに留意し対応するのしておく必要が適切と考えるある。

~~※現時点において、地震活動や地殻変動の状況から、確度の高い地震発生の予~~

測を行うことは困難であるが、※少なくとも地震活動の変化や地殻変動が活発な状態が続いている時点や、標準的な収束傾向とは異なる傾向で進行している時点では、評価の見直しは行わず、引き続き活動の推移を厳重にモニタリングする。 _____

—(参考) 南海トラフ沿いで過去に比較的規模の大きな地震が発生した際の対応

○平成21年8月11日05時07分の駿河湾の地震 (M6.5)

- 東海地震の想定震源域内で発生したフィリピン海プレート内部の地震
- 想定震源域内で発生した地震であること、及び、地震発生直後から複数のひずみ観測点において変化が観測されたことにより、気象庁では、東海地震に結びつくかどうかを検討するために臨時の判定会委員打合せ会を招集し、東海地震観測情報を発表した唯一の事例。検討の結果、東海地震に結びつくものではないとしその旨を発表した。
- 地震調査研究推進本部では、地震調査委員会臨時会を開催し、想定東海地震とは異なるメカニズムで発生した地震であるとの評価結果を公表した。

8月11日

・05時07分 地震発生

—気象庁は、震源、震度、津波等に関する情報を発表

・06時45分 気象庁報道発表「2009年8月11日05時07分頃に駿河湾で発生した地震について (第1報)」

—地震の概要、震度や津波の観測情報、津波警報等の発表状況など

・07時15分 気象庁発表「東海地震に関連する情報 (第1号)」

—想定される東海地震の想定震源域で発生した地震であることから、気象庁では、地震・地殻の観測データの推移を注意深く監視し、想定される東海地震との関連性について調査を開始

・08時00分 地震防災対策強化地域判定会委員打合せ会を開催

・09時10分 気象庁発表「東海地震に関連する情報 (第2号)」

—震源の深さ、発震機構解及び余震分布から見て、沈み込むフィリピン海プレート内で発生した地震と評価。

—想定震源付近で発生した地震であることから、気象庁では、地震・地殻変動の観測データの推移を注意深く監視し、想定される東海地震との関連性についての調査を継続。

・11時10分 気象庁発表「東海地震に関連する情報 (第3号)」

—今回の地震は、震源の深さ、発震機構及び余震分布から見て沈み込むフィリピン海プレート内で発生したもの。

—地震に伴い、地殻変動の観測データにステップ状の大きな変化が観測され、その後も続いていたゆっくりとした変化について調査した結果、プレート境界面上にすべりの候補は求まらず、想定される東海地震の前兆すべりによる変化ではないことが判明。

~~—その変化も次第に穏やかになり、通常観測される変化レベルとなる。~~

~~—以上のことから、発生した地震及びそれに伴う地殻変動は、想定される東海地震に結びつくものではないと判断。~~

~~・17時00分 地震調査研究推進本部地震調査委員会臨時会を開催し、「2009年8月11日の駿河湾の地震活動の評価」を公表~~

~~—「北北東—南南西方向に圧力軸を持つ型」、「フィリピン海プレート内部で発生した地震であり、想定東海地震とは異なるメカニズムで発生した地震である」と評価~~

~~8月12日~~

~~・15時00分 気象庁報道発表「2009年8月11日05時07分頃に駿河湾で発生した地震について（第2報）」~~

~~—余震の発生状況、余震の見通し等~~

~~9月10日~~

~~・地震調査委員会定例会を開催し、「2009年8月11日の駿河湾の地震活動の評価」を公表~~

~~—8月11日の臨時会の評価に加え、「北北東—南南西方向の、横ずれ成分をもつ逆断層型」と評価~~

~~※地震発生当時、クーロン応力変化による地震活動や地殻変動の促進域・抑制域の把握や前震である可能性があるか否か等の評価は行われていないが、今後は、参考としてこれらについても速やかに推計することが重要となる。また、現象の理解・説明のために必要となるシミュレーションについても速やかに実施できる体制とする必要がある。~~

○平成 28 年 4 月 1 日 11 時 39 分の三重県南東沖の地震 (M6.5)―

- ―東海地震の想定震源域外で発生した地震であり、判定会の招集や東海地震に関する情報の発表はない。また、震度 5 弱未満であるため、気象庁の報道発表資料の公表などの対応はない。―
- ―南海トラフの想定震源域内であり、過去に活動が見られない領域での規模の大きい地震であったため、地震発生直後から気象庁において周辺の地震活動及び地殻変動の監視を強化。―
- ―定例の地震調査委員会において 2 回にわたって詳細な検討を行い、プレート境界型の地震であったと結論づけた。―

4 月 1 日

・11 時 39 分 地震発生 (最大震度 4)―

- ―気象庁は、震源、震度等に関する情報を発表
- ―気象庁は、地震発生直後から周辺の地震活動及び地殻変動の監視を強化
- ―※気象庁報道発表なし (報道発表目安：最大震度 5 弱以上など)―

4 月 8 日

・気象庁報道発表「平成 28 年 3 月の地震活動及び火山活動について」―

- ―フィリピン海プレートと陸のプレートの境界付近で発生した逆断層型の地震と評価

4 月 11 日

・地震調査委員会定例会を開催し、「2016 年 3 月の地震活動の評価」を公表

- ―「補足」において、「4 月 1 日に三重県南東沖で M6.5 の地震が発生した。この地震の発震機構は北西―南東方向に圧力軸をもつ逆断層型であった」と評価

5 月 13 日

・地震調査委員会定例会を開催し、「2016 年 4 の地震活動の評価」を公表

- ―「フィリピン海プレートと陸のプレートの境界で発生した地震である」と評価

※この地震は、東海地震の想定震源域外の地震であったことから、東海地震に繋がるか否かの特段の評価は行われていない。今後は、南海トラフ沿いの震源断層域内で比較的規模の大きな地震が発生した際には、大規模地震に繋がる現象か否かを速やかに評価する体制とする必要がある。―

(3) ケース3に対する評価手法と評価例

南海トラフ沿いで東北地方太平洋沖地震に先行して観測されたものと同様の現象が多種目で観測され、ニュースで報道される等、社会的にも注目される状況となっている場合を想定

○観測されている現象の即時的な評価（地震活動と地殻変動に関連する場合）

- ・地震活動及び地殻変動のモニタリングにより、低周波地震（微動）とゆっくりすべりとの対応など、既に確認されているプレート境界面における地震活動と地殻変動の対応を評価
 - ・プレート間の固着状態の変化を示唆する現象かを評価
 - ・シミュレーションを用いた現象の再現による評価
- ⇒ ひずみの大きな変化が見られた場合は、ケース4へ

○最新の地震活動に基づく地震発生確率の算出

- ・最新の地震活動に基づき、時空間 ETAS などの統計モデルを用い、南海トラフ及びその周辺における大規模地震の発生確率を参考として算出（前震活動かどうかの確率算出を含む）
 - ・地震活動の推移に併せて逐次計算を実施し、最新の地震発生確率を参考として算出
- ⇒ 南海トラフの片側で大規模地震が発生した場合は、ケース1へ
- ⇒ 比較的規模の大きな地震が発生した場合は、ケース2へ

○過去の大規模地震で先行して観測された現象との比較

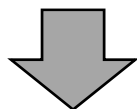
- ・~~2011~~年東北地方太平洋沖地震等で先行して観測された多数の現象との比較【表1、2参照】

○リアルタイムデータ解析とシミュレーション等による現象の理解

- ・地殻変動が見られている場合は、複数のモデルを用い、パラメータ等を変化させて、余効すべりの推移等を計算・可視化するシミュレーションを参考として実施
- ・シミュレーション結果と観測データを比較し、~~プレート境界~~プレート境界面におけるすべりの状況の理解を深めるとともに、今後の推移の可能性についてシミュレーション結果を基に評価

※現象は時々刻々と変化していくため、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、現象の変化の把握に努め、適時的確な情報の発表に努めることが重要である。



[ケース3で想定される評価例]

2011年東北地方太平洋沖地震の先行現象と同様の現象が多種目で観測される

- ・観測されている現象について、~~2011年~~東北地方太平洋沖地震で先行して見られた現象との比較・評価を実施。
 - ⇒ 比較的規模の大きな地震が発生した場合は、ケース2へ
- ・地殻変動が観測されている場合には、その変化が想定震源域内での~~プレート境界~~プレート境界面のすべりによるものか否かを評価し、そのすべりの変化を監視モニタリング。
 - ⇒ ひずみの大きな変化が見られた場合は、ケース4へ
- ・~~2011年~~東北地方太平洋沖地震では、先行して観測された現象が5種目以上となってから地震の発生までに数年以上の期間を要した。
- ・現在観測されている現象から、直ちに南海トラフ沿いで大規模地震が発生するか否かを判断することはできない。
 - ・ただし、これらの現象は、南海トラフ沿いにおけるプレート間の固着状態の変化を示唆する現象である可能性が高く、~~その場合には~~大規模地震が発生する危険性可能性が普段よりも高まっている状態にあると考えられる。
 - ・今後、大規模地震の前震となるような比較的規模の大きな地震の発生やプレート境界面のすべりの拡大に引き続き、大規模地震の前駆すべりに発展する可能性もあるため、南海トラフ沿いの地震活動及び地殻変動の状況等を注意深く監視モニタリングする必要がある。

※平時からのモニタリングにより、顕著な変化が見られる場合にはリアルタイムで評価を行うことが重要である。また、この評価は、短期的な観点のみならず、長期的観点から行うことも重要である。

(4) ケース4に対する評価手法と評価例

南海トラフ沿いでこれまでに観測された事例はないものの、最近の知見を踏まえたシミュレーションモデルから想定される事例の中で、地震発生前に特にプレート境界でのすべりが大きく、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る現象が発生した場合を想定する。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

○プレート境界面上のゆっくりすべりの即時的な推定

- ・観測されているひずみ変化から、南海トラフのプレート境界面上のゆっくりすべりの位置及び規模を推定

○ゆっくりすべり領域の拡大等の即時的な評価

- ・地震観測及び地殻変動観測により地震活動、ゆっくりすべり等を把握し、その領域の拡大や移動及び現象の加速の有無を評価【図12参照】

⇒ 南海トラフの片側で大規模地震が発生した場合は、ケース1へ

⇒ 比較的規模の大きな地震が発生した場合は、ケース2へ

- ※なお、仮にゆっくりすべりがM7程度の規模で発生したとしても、この現象は同規模の地震が発生した場合（ケース2）と比較して応力降下量が小さいため、応力が解放される領域が広く、その後の地震発生に及ぼす影響が異なることから、ケース2と同様の現象として扱うことはできない。【図13参照】

○リアルタイムデータ解析とシミュレーション等による現象の理解

- ・複数のモデルを用い、パラメータ等を変化させて、余効すべりの推移等を計算・可視化するシミュレーションを参考として実施
- ・シミュレーション結果と観測データを比較し、~~プレート境界~~プレート境界面におけるすべりの状況の理解を深めるとともに、今後の推移の可能性についてシミュレーション結果を基に評価【図~~12、13~~14、15参照】

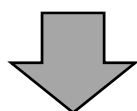
○地震発生の可能性に対する評価

- ・ここで想定した~~「プレート境界~~プレート境界面での大きなすべり~~」~~は、現在実施されている幾つかのシミュレーションモデルにおいて、大規模な地震が発生する前に想定される現象であるが、現在のところ~~—~~実際に観測された事例はない。

- ・プレート境界面で大きなすべりが~~プレート境界でのすべりであると評価~~観測された場合には、大規模地震発生の~~危険性可能性~~が相対的に高まっており、すべりがさらに進行すると、南海トラフ沿いの大規模地震の発生に至る可能性が考えられる。
- ・シミュレーションによると、大規模地震が発生する前に大きなすべりが現れる事例もある一方、大きなすべりが見られても地震が発生していない事例や、小さなすべりで地震が発生している事例もある。~~それぞれの事例は、採用するモデルやパラメータの取り方に大きく依存しており、現時点ではこれらに関する知見が十分でないことから各事例の発生確率を定量的に言うことはできない。~~
- ・仮にモデルで想定されるものと同様の大きなすべりや速度変化が実際に観測された場合、多くの専門家が「大規模地震が発生する可能性が非常に高まっているのではないか」と懸念すると思われるが、現時点において、~~このような変化を基に大規模地震の発生の可能性を定量的に評価する手法も基準もなく、科学的な評価ができないのが実状~~変化の大きさやその速度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く、プレート間の固着状態の変化の大きさやその速度をもとに、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のが実情である。
- ・すなわち、現時点では、プレート間の固着状態の変化の大きさがどの程度になれば地震が発生するのか、変化が加速し始めてどの程度の時間で地震が発生するのか等も評価することはできない。
- ・一方、変化が止まったり、元に戻ったりした場合についてみると、地震発生の可能性について定量的に評価する科学的な基準も手法もないが、地震発生時の余効変動と同様の現象を想定すると、一定の時間が経過した後は、定性的には変化の始まった以前の状態に戻った可能性があるとも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ず、いつ地震が発生するか、わからないことに留意する必要がある。
- ・なお、これら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。
- ・~~この~~今後、地震発生予測に関する技術を確立するためには、プレート間の固着状態の変化を検出し評価することが極めて基本的かつ重要であり、過去に観測されたことがない大きなすべりが観測された場合を含め、大規模地震が発生する可能性を如何に評価するかについての調査研究を、今後も継続的に実施する必要がある。

- ・この調査研究が進展するまでの間は、科学的な知見での評価は困難であるが、実際にここで想定されたような現象が観測された場合には、上述のように、リアルタイムでのモニタリングによりその現象を周辺の観測データを含めて解析し、プレート境界プレート境界面で何が起きているかを評価し、その結果をリアルタイム的に情報として示すことが不可欠となる。

※現象は時々刻々と変化していくため、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、現象の変化の把握に努め、適時的確な情報の発表に努めることが重要である。



[ケース4で想定される評価例]

複数のひずみ計及び地殻変動の観測で大きな変化を観測

- ・複数のひずみ計及び地殻変動の観測で、過去に観測されたことがない、大きな変化を観測
- ・観測されている地殻変動のデータの変化が、想定震源域内でのプレート境界プレート境界面のすべりによるものか否か、その領域と規模を直ちに推定
- ・すべりの位置とその大きさとすべり速度を推定
- ・変化の様子を厳重に監視モニタリングすると同時に、モニタリング結果とその評価を、最新の調査・研究成果も踏まえてリアルタイム的に情報として発表し、警戒を呼び掛ける。
- ・この際、大規模地震の発生に至るすべりかどうかを定量的に評価する手法も基準もなく、地震が発生しない可能性があることについても言及。

※ひずみ計及び地殻変動の観測データ、地震観測データ等、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、発生している現象の現状および及びその変化を適時適切に情報発表することが重要である。

※定量的な評価手法や基準がない状況においても、観測データの変化の原因を評価すると同時に、大規模な地震の発生の可能性が高まったとの評価、大規模地震の発生の可能性が低くなったとの評価を検討できる体制を構築することが必須である。

注) 実際に、南海トラフの片側で大規模地震が発生した場合はケース1へ、比較的規模の大きな地震が発生した場合はケース2へ移行する。その場合

には、すべり領域の拡大等を継続的に評価するため、ひずみ計による観測が重要となる。

(別添資料 図表集)

図 1 . 2011 年東北地方太平洋沖地震時のすべり量分布	1
図 2 . 2011 年東北地方太平洋沖地震の余震活動の経過と検証	1
図 3 . 東海地震 (M8.4) を想定したクーロン応力変化.....	2
図 4 . 東海地震 (M8.4) を想定した時空間 ETAS 結果	2
図 5 . 南海トラフの地震活動の長期評価 (第二版)	3
図 6 . 隣接領域で大規模地震が続発する事例に関する統計データ	4
図 7 . 隣接領域で大規模地震が発生する事例と確率利得	5
図 8 . 三重県南東沖で M7.0 を想定したクーロン応力変化	6
図 9 . 三重県南東沖の地震 (M6.5) を想定した時空間 ETAS 結果	6
図 10 . 比較的規模の大きな地震後、同じ領域でさらに規模の大きな地震発生事例に関する統計データ	7
図 11 . 比較的規模の大きな地震後、同じ領域でさらに規模の大きな地震発生事例と確率利得	8
表 1 . 2011 年東北地方太平洋沖地震等で先行して観測された現象.....	9
表 2 . 2011 年東北地方太平洋沖地震の先行現象の発生数と地震発生までの日数	9
図 12 . 南海トラフで観測されている現象とそれらを捉える観測項目	10
図 13 . 累積すべり分布及びモーメントの時間変化の例	10
図 14 . シミュレーションを用いた地震発生過程の評価①.....	11
図 15 . シミュレーションを用いた地震発生過程の評価②.....	11

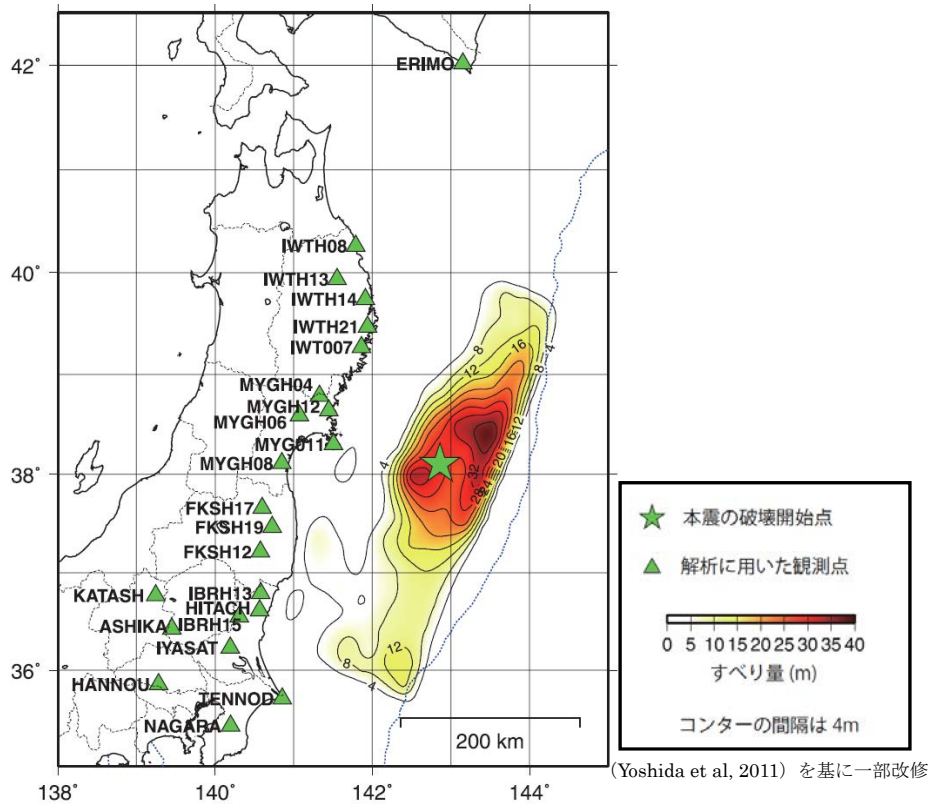


図 1. 2011 年東北地方太平洋沖地震時のすべり量分布

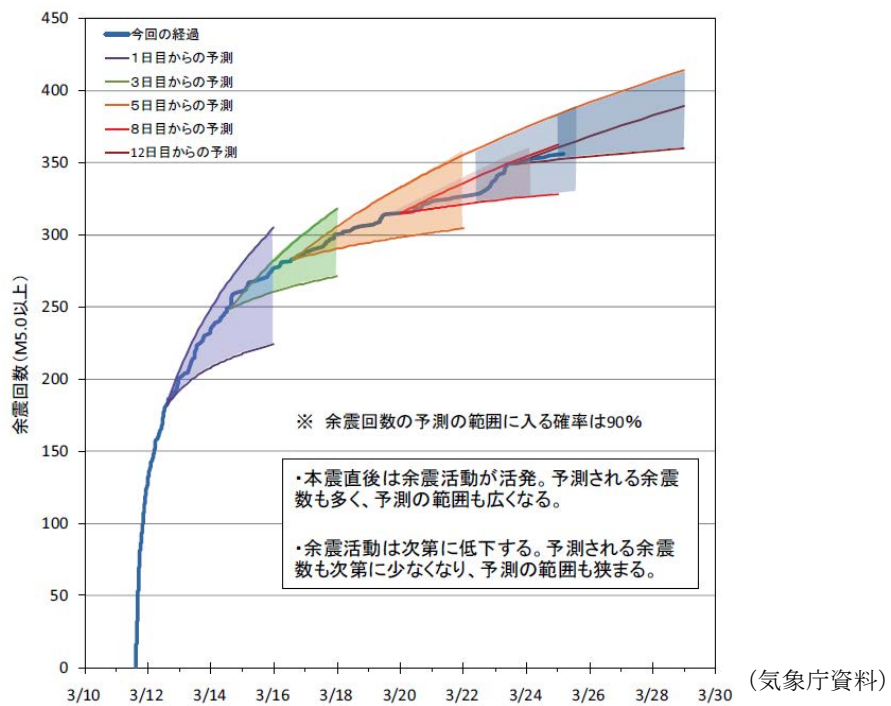


図 2. 2011 年東北地方太平洋沖地震の余震活動の経過と検証

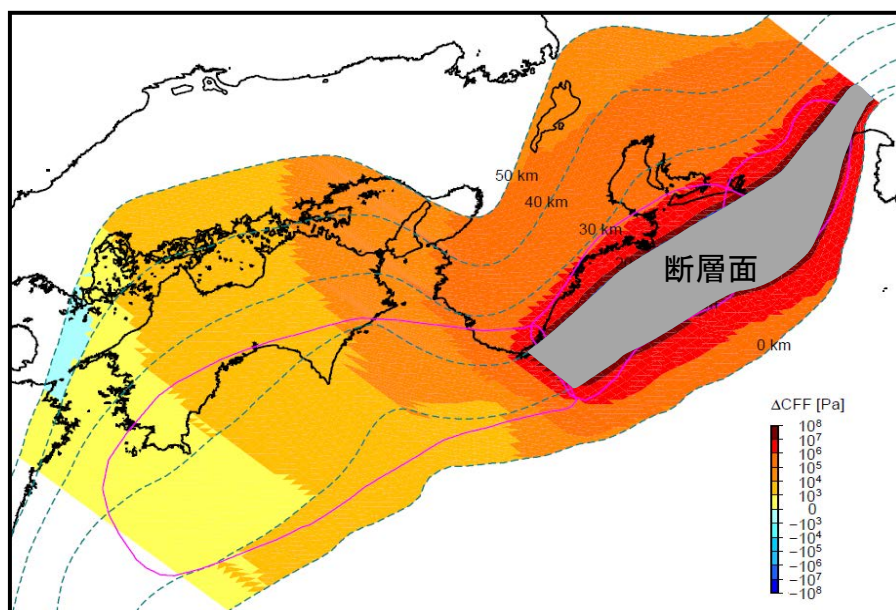


図 3. 東海地震 (M8.4) を想定したクーロン応力変化

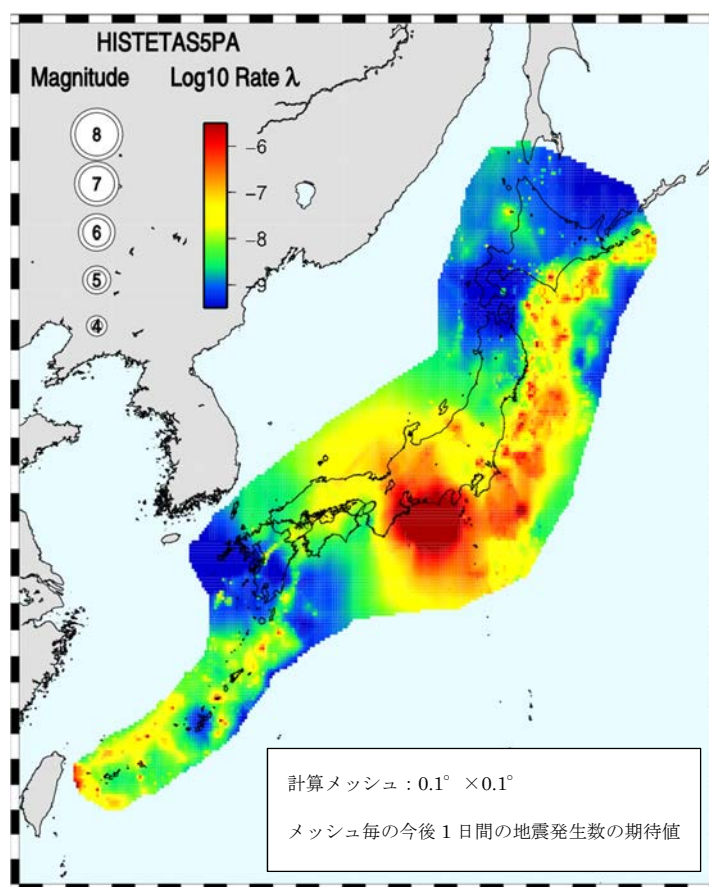


図 4. 東海地震 (M8.4) を想定した時空間 ETAS 結果

3. 南海トラフで発生する地震の多様性について

歴史記録によると、南海トラフで発生した大地震は、白鳳（天武）地震（684年）まで遡って確認されている。図2に、白鳳（天武）地震が発生した684年から現在までの約1,400年間に、南海トラフで発生した大地震の震源域の時空間分布図を示す。南海地域（評価対象領域のうち、潮岬の西側の領域）と東海地域（評価対象領域のうち、潮岬の東側の領域）で、若干の時間差（数年以内）をおいて地震が発生することがある。この場合は同じ地震サイクルの中で発生したと見なし、今回の評価では、南海トラフにおいて少なくとも9回の大地震サイクルがあった可能性が高いと判断した。発生した年が古い大地震については、史料の不足により見落とししている可能性があるが、正平（康安）地震（1361年）以降は、見落としとしてはないと考えられる。また、震源域の広がりについては、史料の記述の不確実性などから、かなり不確かさがあるため、図2の時空間分布図には、それぞれの地震の震源域について、確実度に応じて表記を変えている。

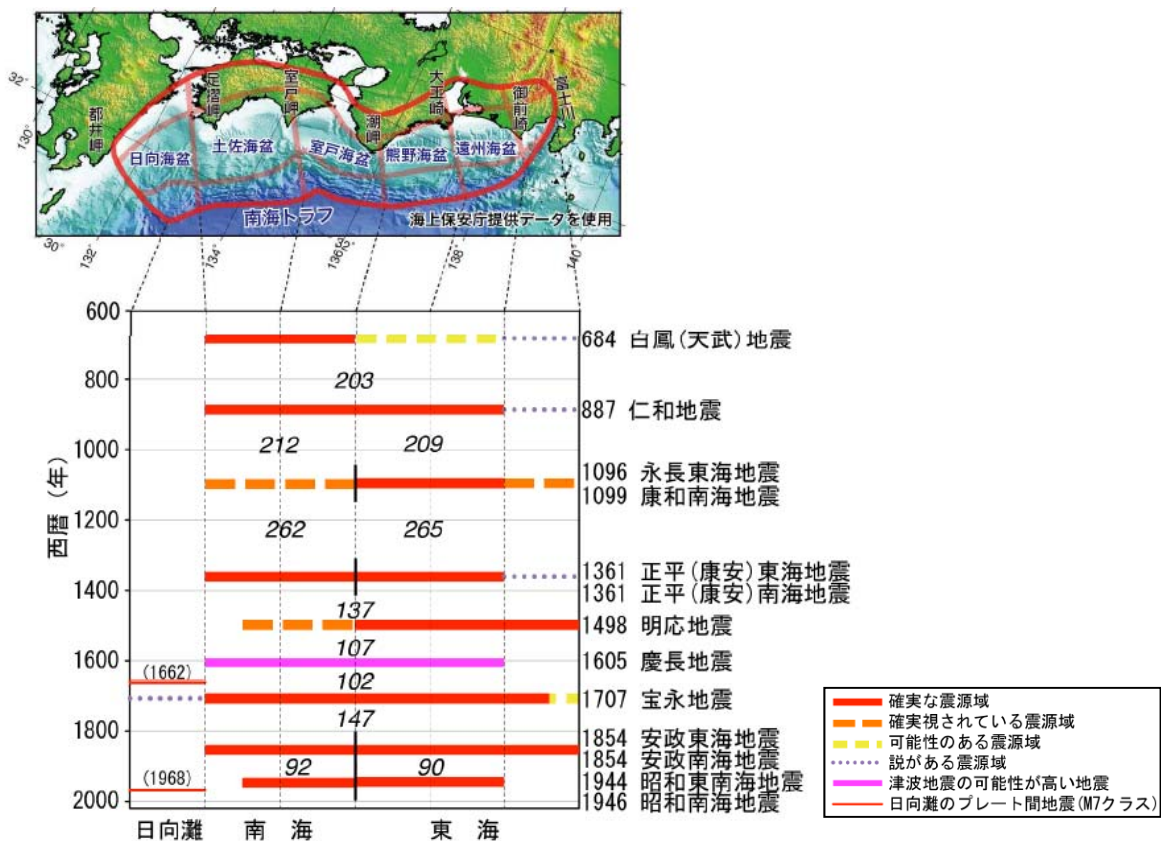
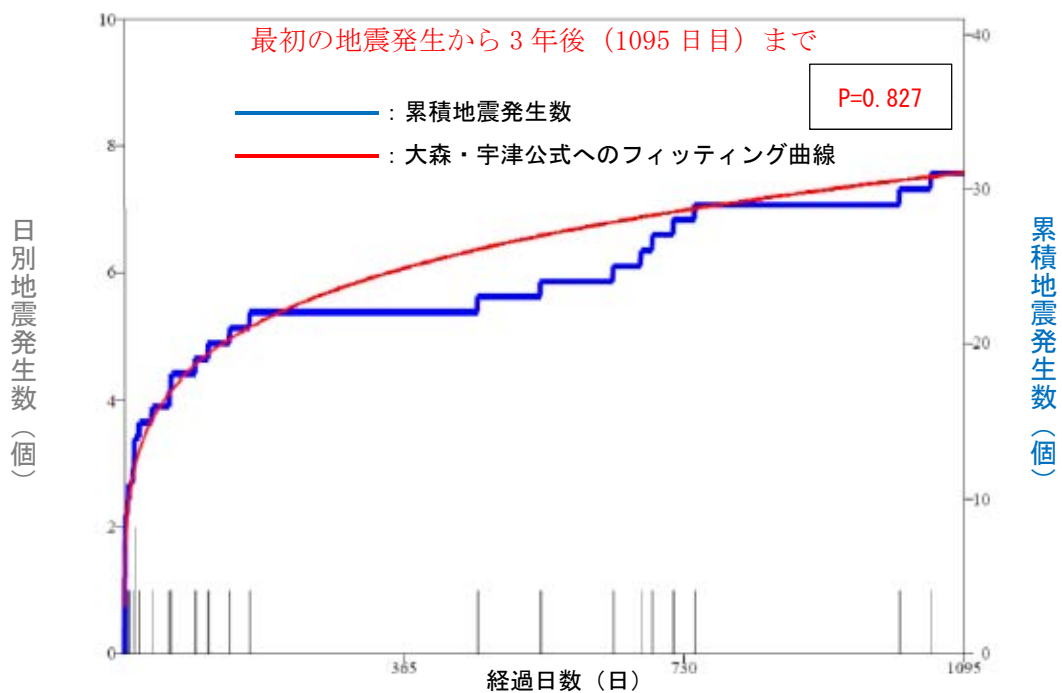
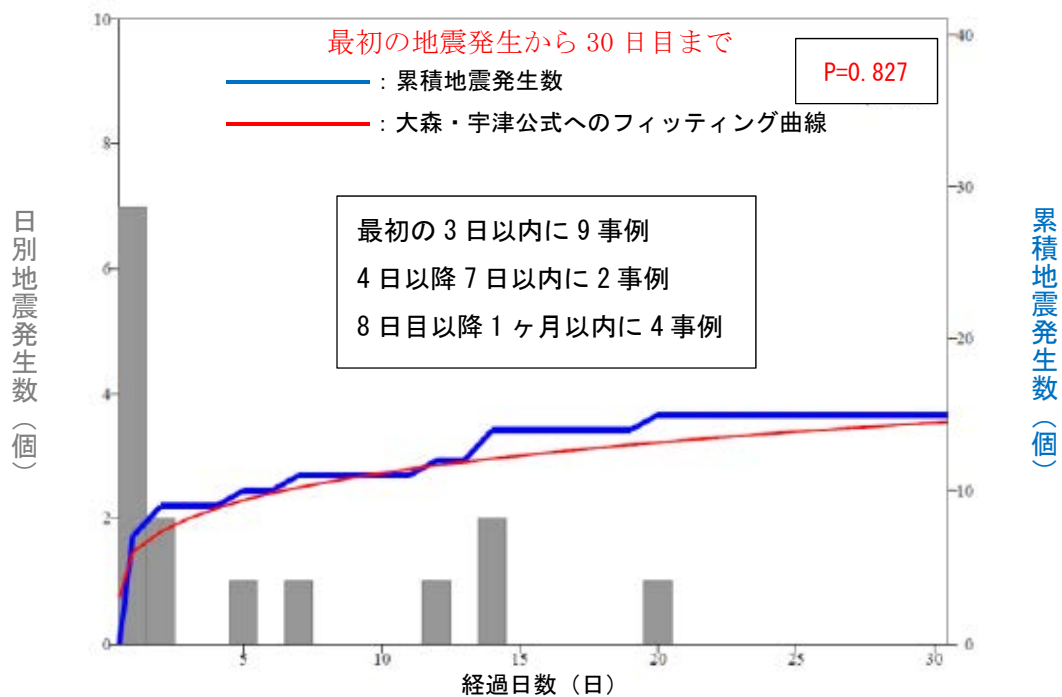


図2 南海トラフで過去に起きた大地震の震源域の時空間分布

図5. 南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）

（地震調査委員会、平成25年5月公表）



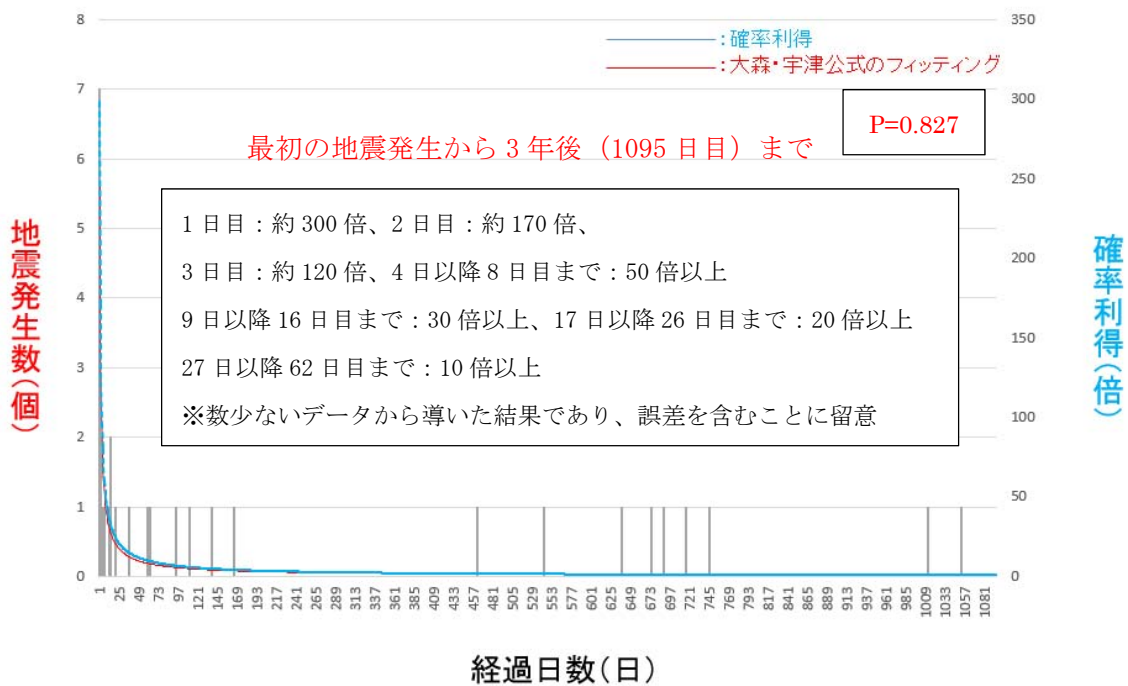
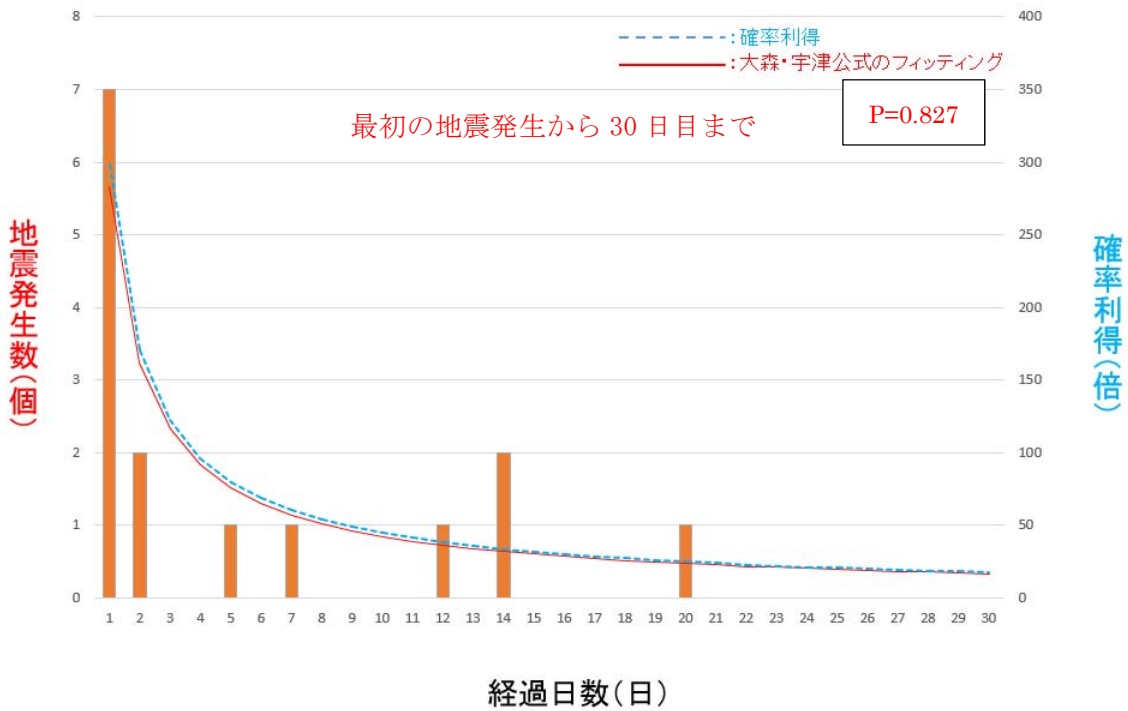
1900 年以降から 2016 年 6 月までに全世界で発生した M8.0 以上の大規模地震 (92 事例) の後、

隣接領域*で M8.0±1 の地震が続発した事例 31 事例 (3 年以内)

出典：ISCGEM カタログ (1900～2009 年)、USGS による震源 (2010 年～2016 年 6 月)

※隣接領域：最初の地震の震源から 50～500km 以内の領域

図 6. 隣接領域で大規模地震が続発する事例に関する統計データ



※隣接領域：最初の地震の震源から50～500km以内の領域
 図7. 隣接領域で大規模地震が発生する事例と確率利得

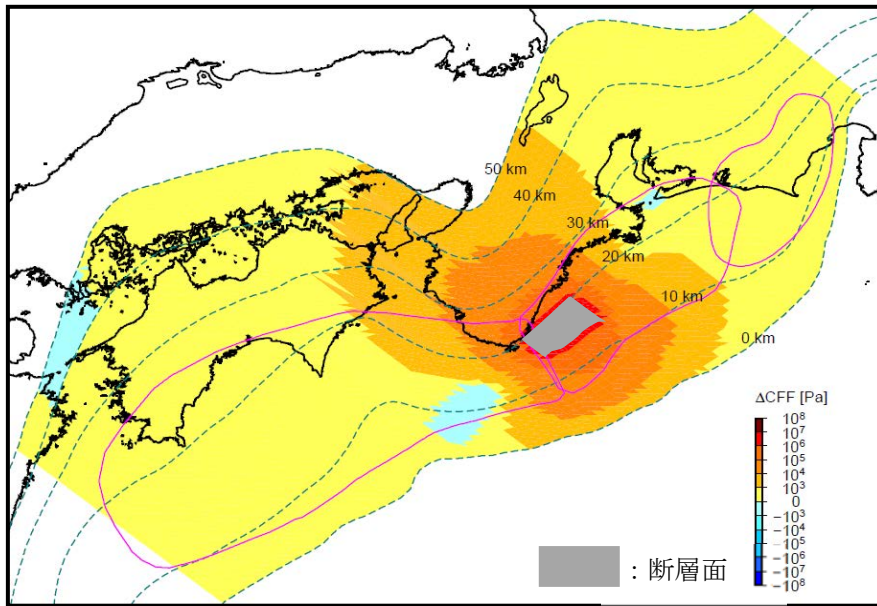


図 8. 三重県南東沖で M7.0 を想定したクーロン応力変化

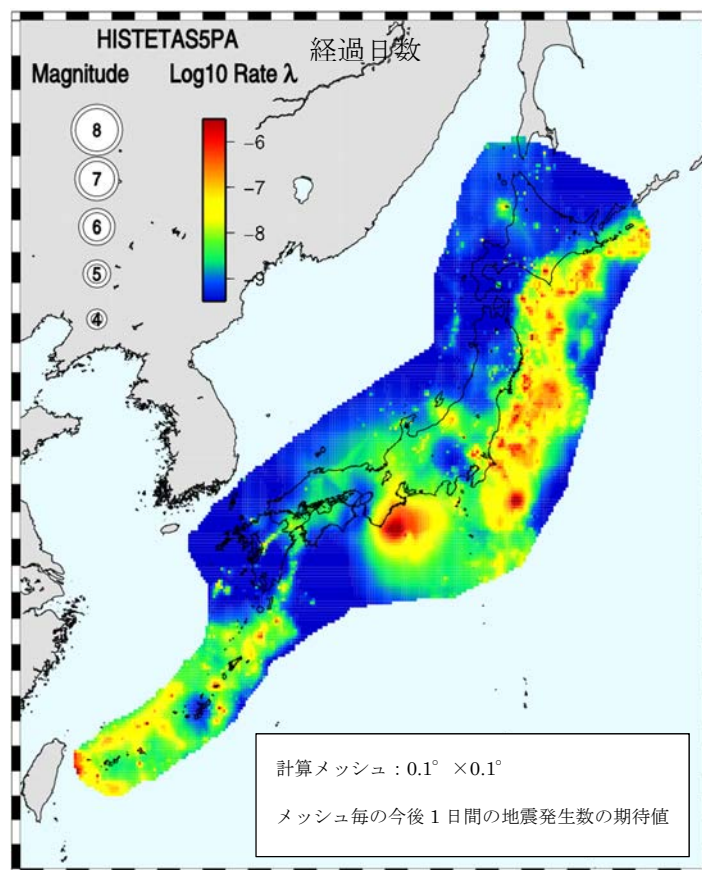
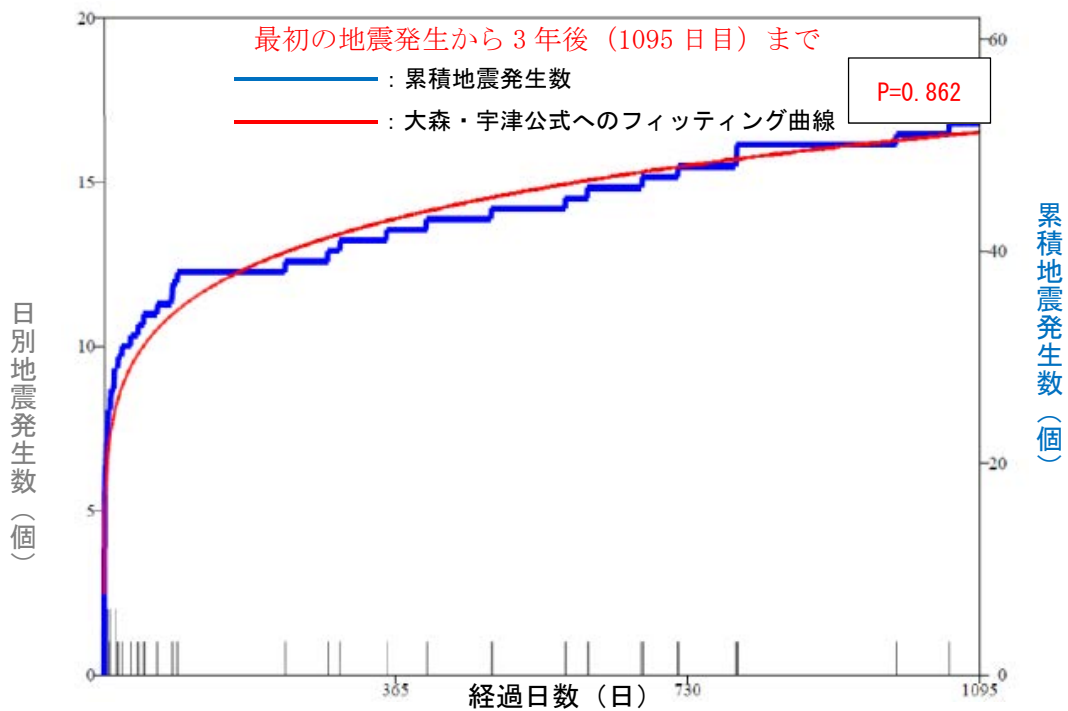
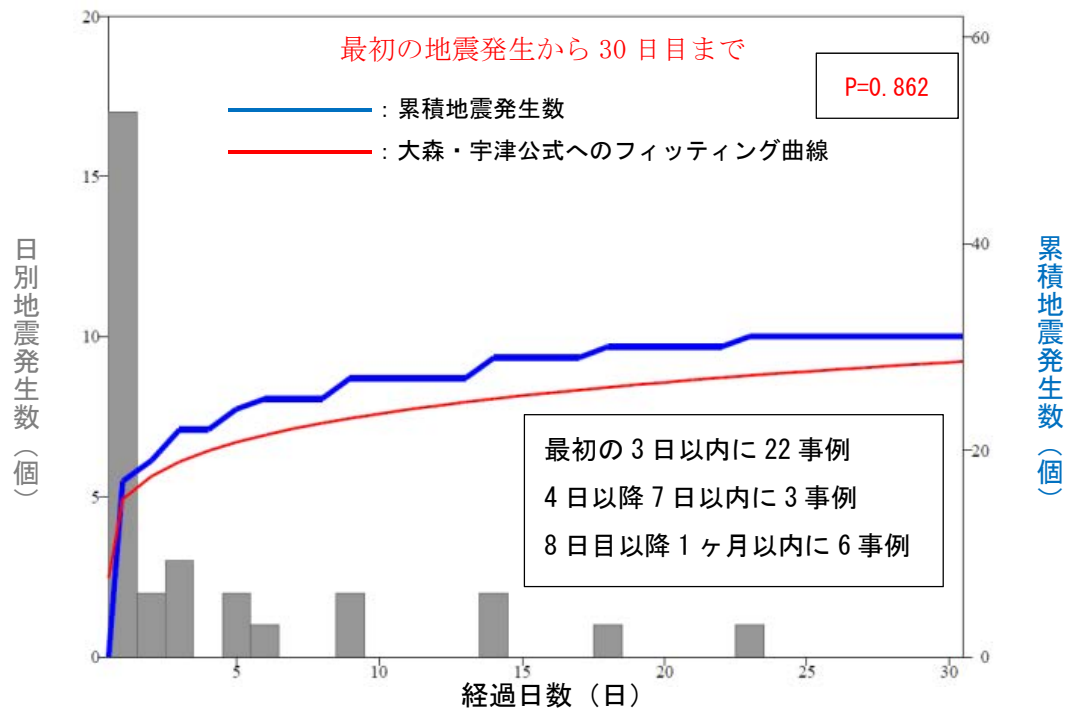


図 9. 三重県南東沖の地震 (M6.5) を想定した時空間 ETAS 結果



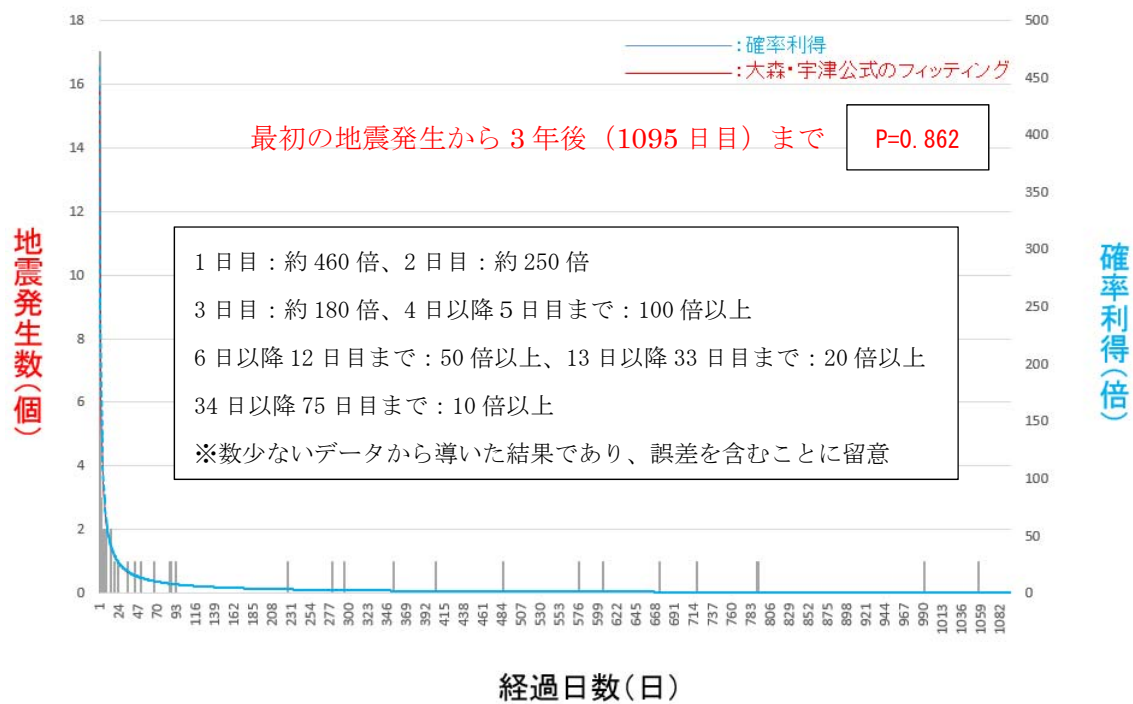
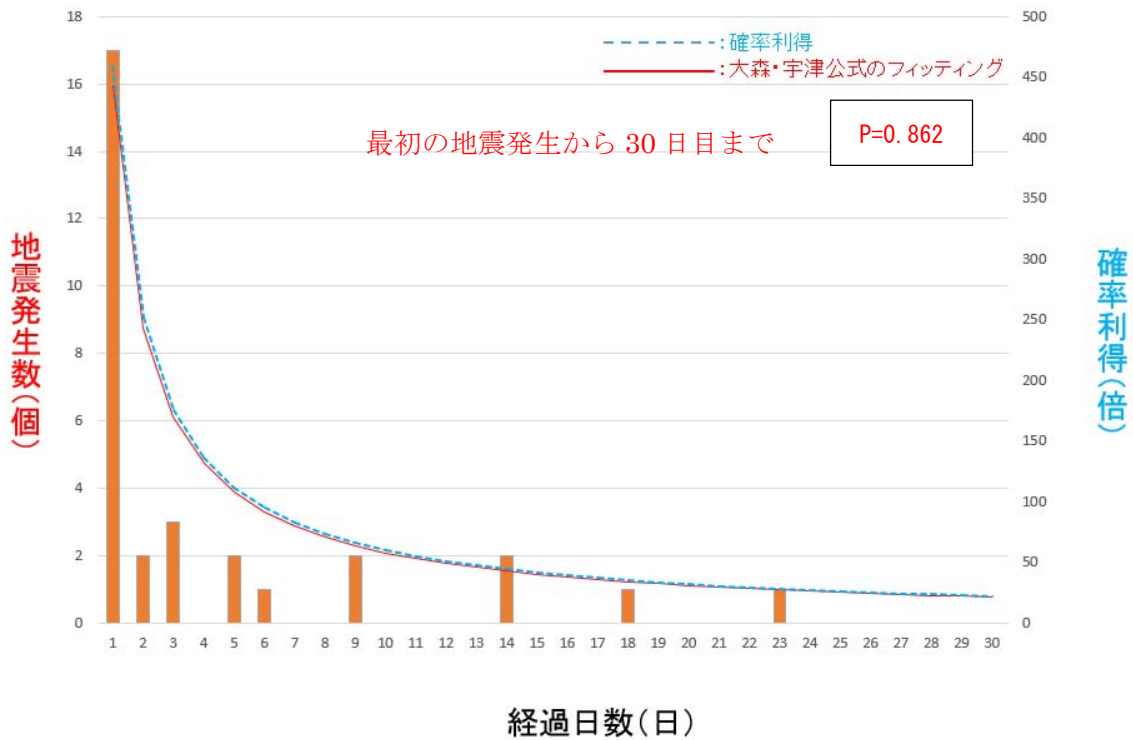
1900年以降から2016年6月までに全世界で発生したM7.0以上の地震(1,319事例)の発生後、

同じ領域*でさらに規模の大きな地震が発生した地震の統計(52事例)

出典: ISCGEM カタログ(1900~2009年)、USGS による震源(2010年~2016年6月)

※同じ領域: 最初の地震の震源から50km以内の領域

図10. 比較的規模の大きな地震後、同じ領域でさらに規模の大きな地震発生事例に関する統計データ



※同じ領域：最初の地震の震源から 50km 以内の領域

図 1 1. 比較的規模の大きな地震後、同じ領域でさらに規模の大きな地震発生事例と確率利得

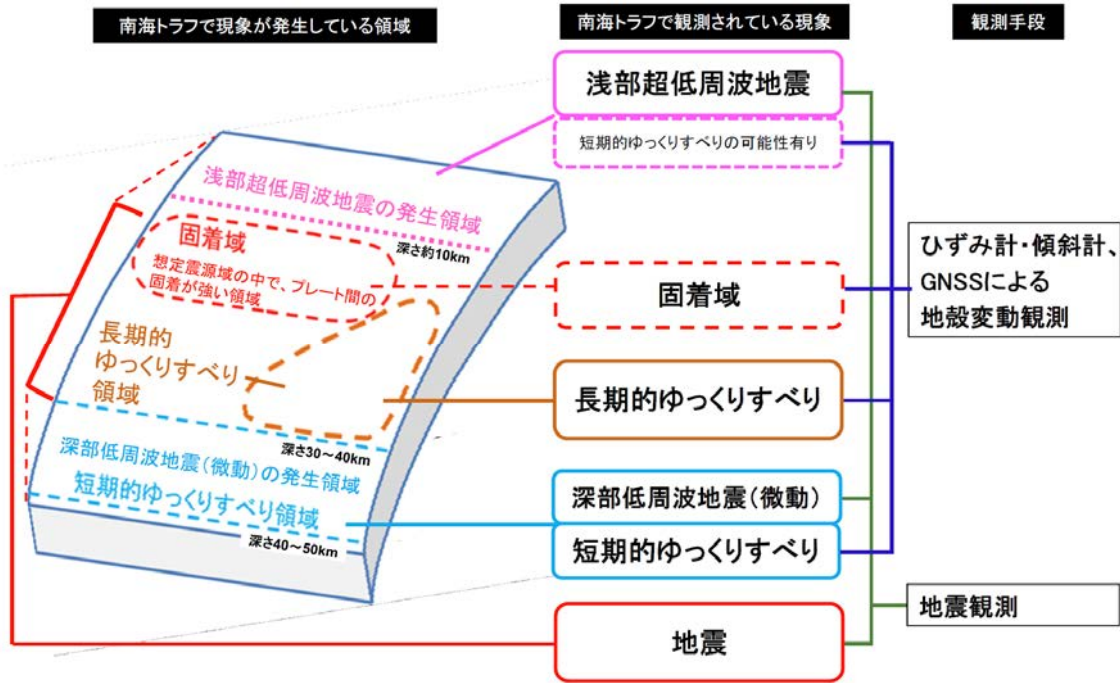
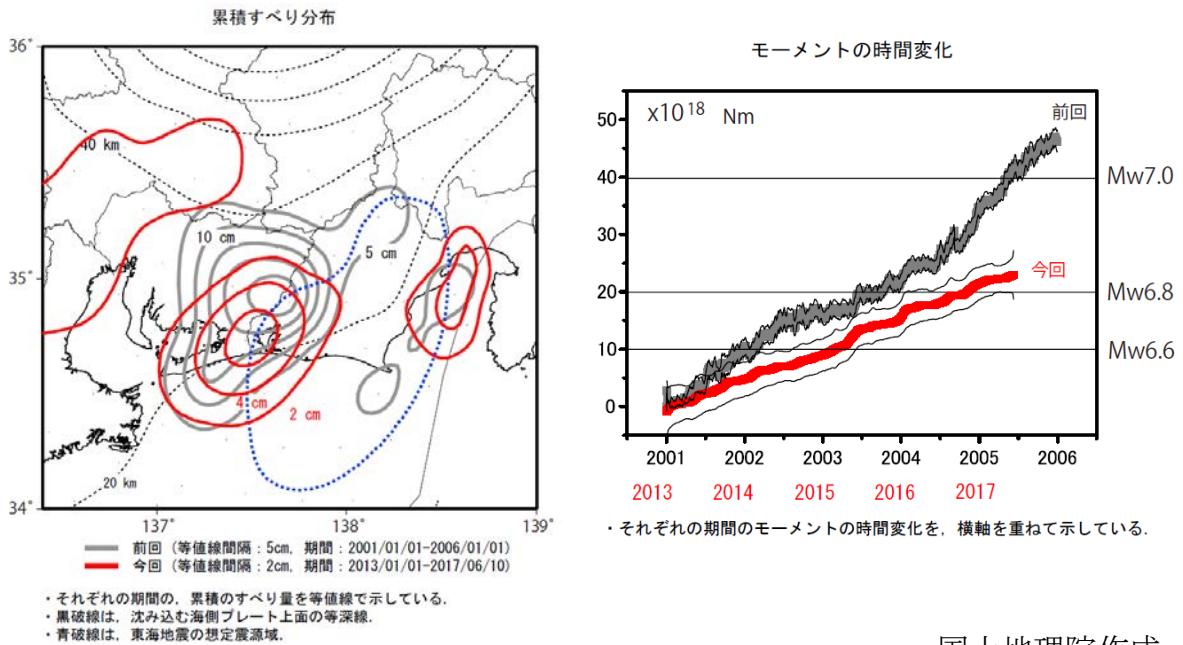


図 1 2. 南海トラフで観測されている現象とそれらを捉える観測項目

非定常地殻変動から推定される累積すべり分布及びモーメントの時間変化（暫定）



国土地理院作成

図 1 3. 累積すべり分布及びモーメントの時間変化の例

階層的不均質モデルを仮定したシミュレーションでは、地震発生前にゆっくりすべりを伴う場合、伴わない場合があり、またゆっくりすべりが伴う場合でもそれが加速して地震に至る場合や加速することなく大地震に至る場合等のように、大地震発生に至る多様性が示されている。

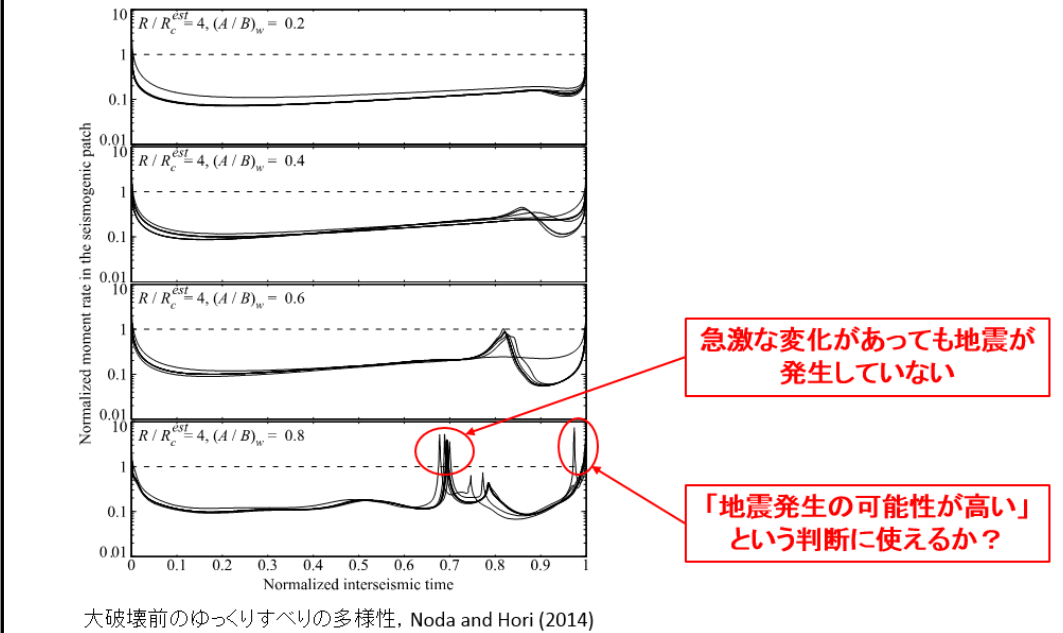
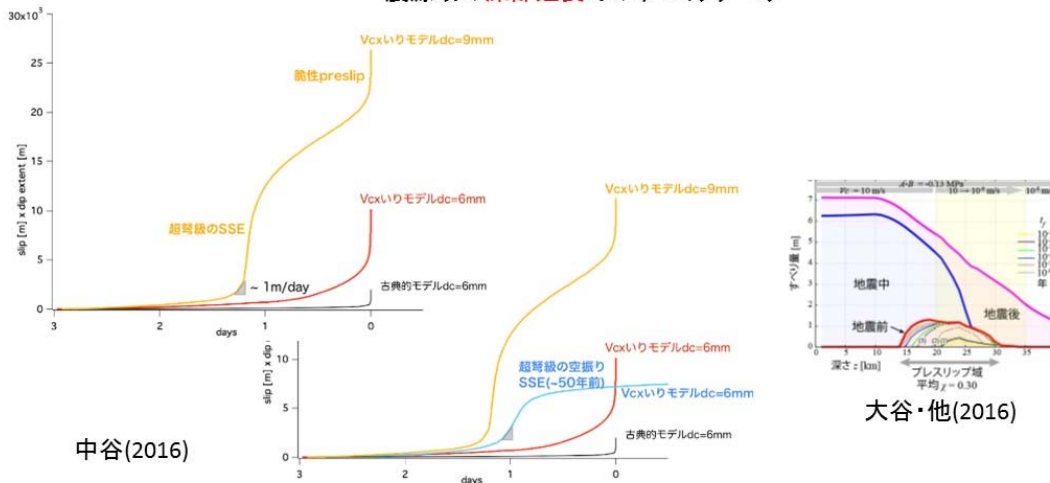


図 1 4. シミュレーションを用いた地震発生過程の評価①

東海地震の判定基準とされるような前兆すべりが見られた場合 震源域の深部延長でのゆっくりすべり



- 速度弱化に上限速度(V_{cx})を設定した場合の地震発生サイクルシミュレーションによる震源域の深部延長でのゆっくりすべり
- 震源域の深部延長で普段のSSEに比べてかなり大きなSSEが発生した場合、大地震をトリガーする可能性が高い。
- すべり速度の閾値の候補例: 1m/day を超えると大地震に至る可能性が高いが、同じパラメータで空振りもあり得る(青線)。閾値や空振りの確率については今後の課題。

図 1 5. シミュレーションを用いた地震発生過程の評価②