

南海トラフの震源域で見られる現象と 防災への活用を視野に入れたその評価

資料5

南海トラフ沿いで発生する大規模地震の多様性

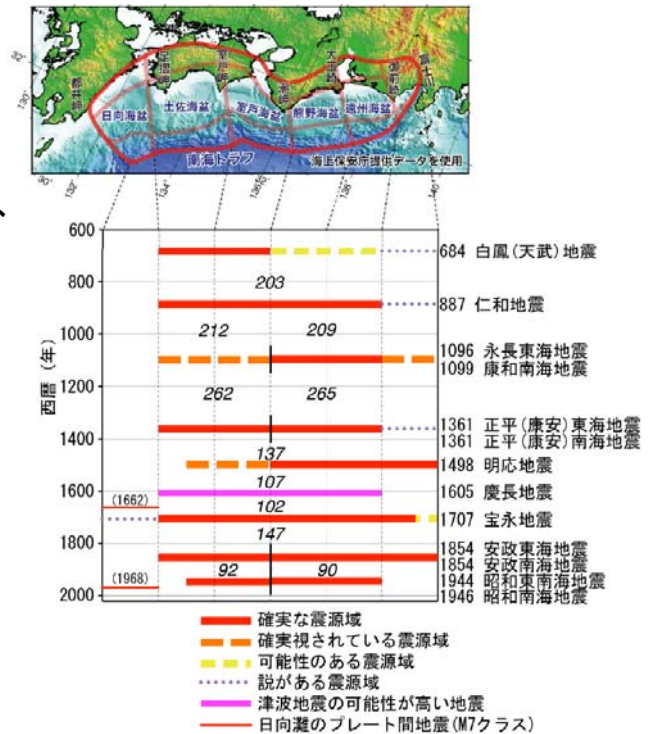
○南海で発生する地震の多様性

『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。』

※平成25年報告書から抜粋

○最近の事例

- ・1707年10月28日宝永地震(同時破壊)
- ・1854年12月23日安政東海地震
⇒32時間後 安政南海地震
- ・1944年12月7日昭和東南海地震
⇒2年後 昭和南海地震



南海トラフ地震の発生履歴(地震調査委員会, 2013) ¹

具体的なケースを想定した検討

多様性のある南海トラフ地震のうち、社会的な混乱が発生するおそれがあり、何らかの対応が求められるケースを事例として、現状の科学的知見から、どのような評価が可能かを検討する。

ケース①：南海トラフの東側（駿河湾から東海地域、紀伊半島沖にかけての領域）で大規模地震が発生し、西側（紀伊半島沖から四国、日向灘にかけての領域）が割れ残った場合

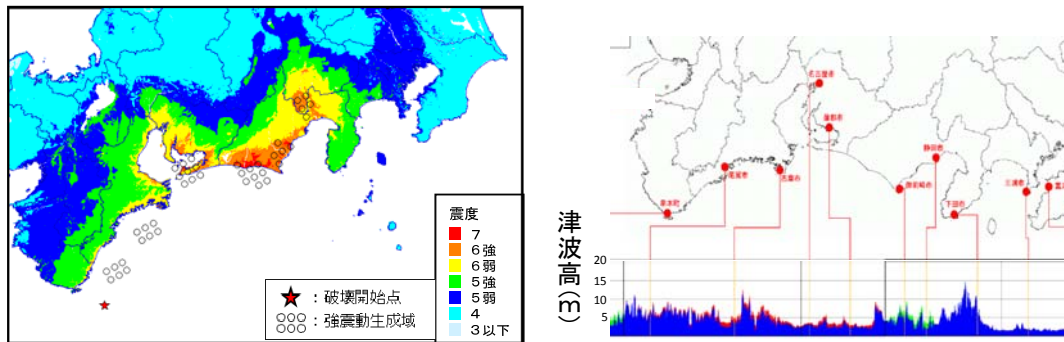
ケース②：南海トラフで比較的規模の大きな地震※が発生した場合
※M8～9クラスの大規模地震がその後発生した場合に前震と考えられる規模の地震

ケース③：2011年東北地方太平洋沖地震で先行して観測された現象が多種目で観測された場合

ケース④：東海地震の判定基準とされるような前兆滑りが見られた場合

ケース①: 1854年安政東海地震タイプ(M8.4)の地震を想定

震度: 静岡県および愛知県で最大震度7、神奈川県から和歌山県にかけて震度6弱以上
津波: 静岡県伊豆半島で最大約15m、神奈川県から和歌山県の広い範囲で5m以上



1854年安政東海地震の震度分布(左)及び津波高(右、満潮時)
(南海トラフの巨大地震モデル検討会, 2015)

○緊急災害対策本部が設置され、東側では災害応急対応が進行中
○割れ残った西側でも大規模地震が発生すると社会的な混乱が発生する

このような状況において、どのような評価が可能か？

東側の余震などに対する防災対応上の情報発表に加え、西側に対する警戒の呼びかけの評価

3

現象のモニタリングとその評価

○発生した地震の破壊域(震源断層)の推定

地震観測及び地殻変動観測からの断層の破壊域を推定
併せて、南海トラフにおける割れ残りの領域を評価

○破壊域の様相及び破壊域の拡大等による変化の把握

地震観測及び地殻変動観測から、余震活動、余効変動等、破壊域の
様相とその拡大の有無をモニタリング

○クーロン応力変化と地震活動・地殻変動の活動領域を対比

クーロン応力変化による地震活動や地殻変動の促進域の把握

○シミュレーションを用いた現象の理解と今後の見通しの評価

シミュレーションのモデルやパラメータの違いにより計算される
複数の計算結果と観測データとの比較による発生した現象の
理解と今後の活動の推移についての評価

○時空間ETASによる今後の活動の見通し等を検討

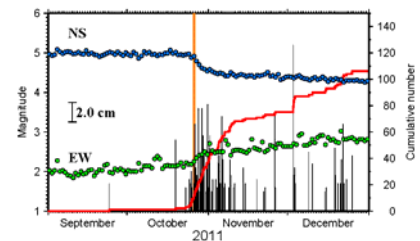
時空間ETASを用い、震源域な及びその周辺の地震活動に対し
注意する領域等を把握。また、隣接域での巨大地震の発生に
かかる確率について推計

○過去の大規模地震等に関する統計資料に基づく評価

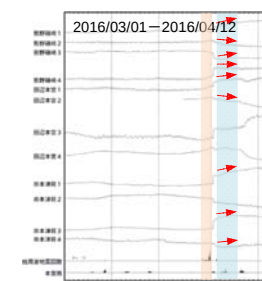
時空間ETASによる結果と過去の大規模地震の統計資料を比較
し、統計的な資料を基にした警戒を要する領域と期間等を検討

○警戒を要する領域と時期について評価

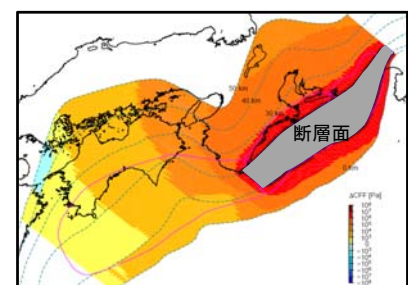
上記結果を総合し、警戒を要する領域と期間とを評価



地震活動とGNSSの時間変化



ひずみ計の時間変化



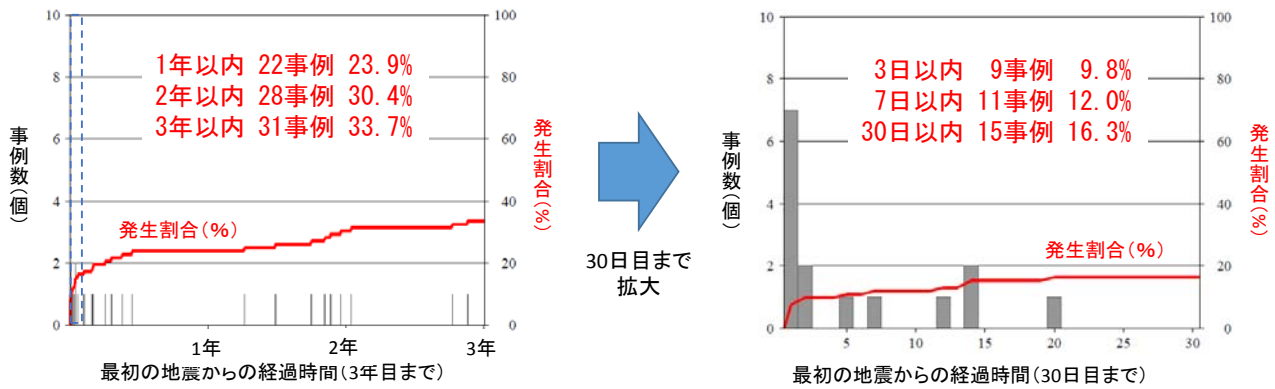
東海地震(M8.4)を想定したクーロン応力変化

4

過去の大規模地震等に関する統計資料に基づく評価

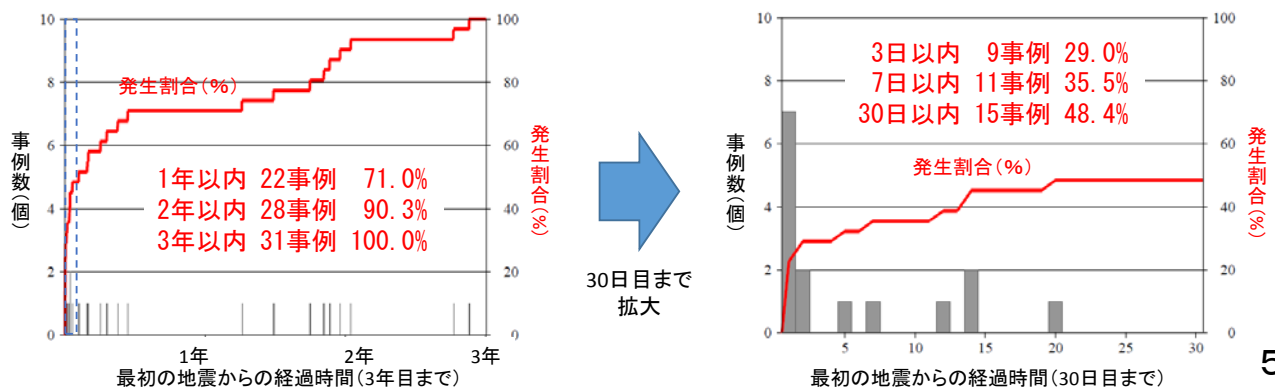
○1900年以降に観測されたM8.0以上の地震92事例を母数とした評価

○M8.0以上の地震が発生した後、隣接領域(50～500km以内)でさらにM8.0±1の地震が続発すると評価した場合



○上記統計のうち、3年以内に隣接領域(50～500km以内)で続発した31事例を分母とした評価

○M8.0以上の地震が発生した後、隣接領域でM8.0±1の地震が続発すると評価した場合



5

ケース①に対する評価

南海トラフの東側で発生した地震に関する情報

発生日時、地震の概要(震源位置、規模、マグニチュード、発震機構等、震度分布、津波の観測結果等)、余震活動の状況や地震発生地域への警戒の呼びかけ

※気象庁における通常の情報発表

南海トラフの西側(割れ残った領域)に対する評価(案)

南海トラフにおいては、東海地域で大規模地震が発生した場合、時間差を置いて、南海地域でも連動して大規模地震が発生する可能性が高いことから、今後、南海トラフの西側では大規模地震に対する厳重な警戒が必要である。

今回、南海トラフの東側で発生した地震によって破壊された領域の周辺では、ひずみの蓄積によって地震の発生が促進される状況が解析されている(参考図. クーロン応力変化)。また、これまでの地震活動の状況から、南海トラフの西側で大規模地震発生の可能性が今後〇日程度は高まっていると想定される(参考図. 時空間ETAS)。

また、警戒を要する期間について、過去の統計データによれば、大規模地震発生後に隣接領域でも大規模地震が発生した場合、発生までの期間は今後3日以内に30%程度、1週間で35%程度、1ヶ月以内に50%程度となっている。

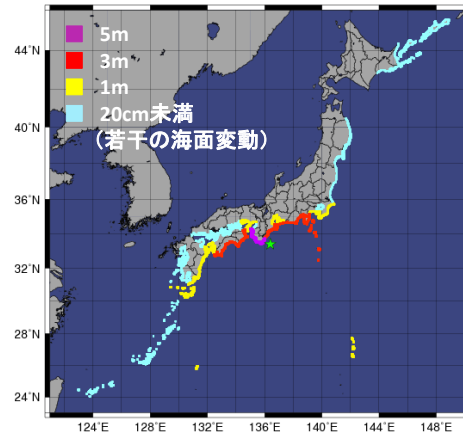
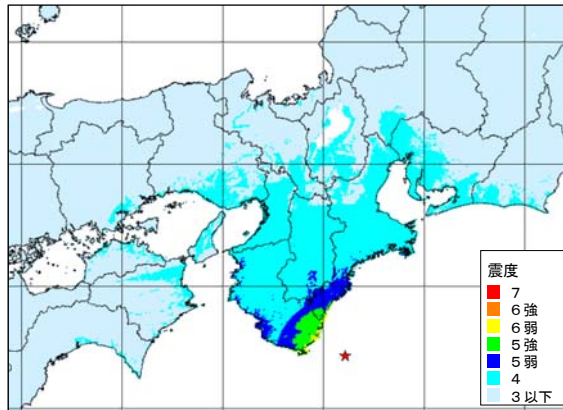
今回発生した地震の震源域の隣接領域である南海トラフの西側でも大規模地震が発生する可能性が特に高いと考えられ、警戒が必要である。

6

ケース②: 三重県南東沖でM7.5の地震を想定

震度: 三重県及び和歌山県の沿岸部で最大震度6弱、広い範囲で震度4以上

津波: 和歌山県で予想される津波の高さ5m



- 南海トラフで大きな地震が発生したとして、メディア等で大きく報道される
- 南海トラフの大規模地震の前兆ではないかとのうわさが広まり、社会的な混乱が発生する

このような状況において、どのような評価が可能か？

既に発生したM7.5の地震に対する防災上の評価、この地震を前震とした場合の大規模地震への評価

現象のモニタリングとその評価

○発生した地震の破壊域(震源断層)の推定

地震観測及び地殻変動観測からの断層の破壊域を推定

○破壊域の様相及び破壊域の拡大等による変化の把握

地震観測及び地殻変動観測から、余震活動、余効変動等、破壊域の様相とその拡大の有無をモニタリング

○クーロン応力変化と地震活動・地殻変動の活動領域を対比

クーロン応力変化による地震活動や地殻変動の促進域の把握

○シミュレーションを用いた現象の理解と今後の見通しの評価

シミュレーションのモデルやパラメータの違いにより計算される複数の計算結果と観測データとの比較による発生した現象の理解と今度の活動の推移についての評価

○前駆的な現象か否かの評価

地震活動、地殻活動の状況から前震や前駆すべりの可能性を評価

○時空間ETASによる今度の活動の見通し等を検討

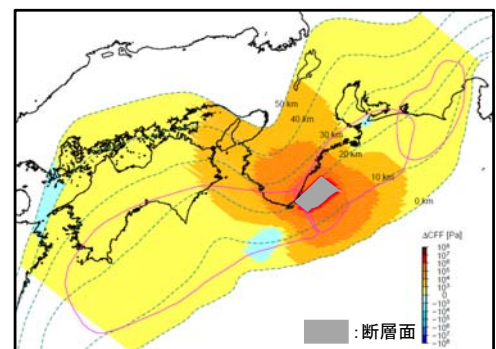
時空間ETASを用い、震源域及びその周辺の地震活動に対し注意する領域等を把握。また、隣接域での巨大地震の発生にかかる確率について推計

○過去の大規模地震等に関する統計資料に基づく評価

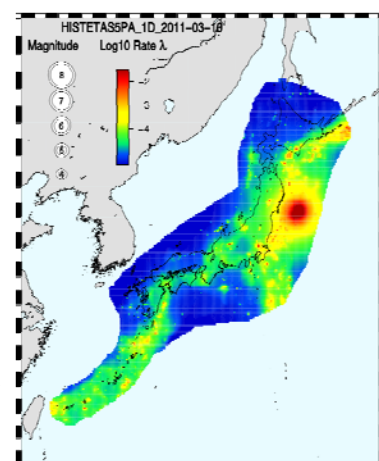
時空間ETASによる結果と過去の大規模地震の統計資料を比較し、統計的な資料を基にした警戒を要する領域と期間等を検討

○警戒を要する領域と時期について評価

上記結果を総合し、警戒を要する領域と期間とを評価



三重県南東沖でM7.0を想定したクーロン応力変化

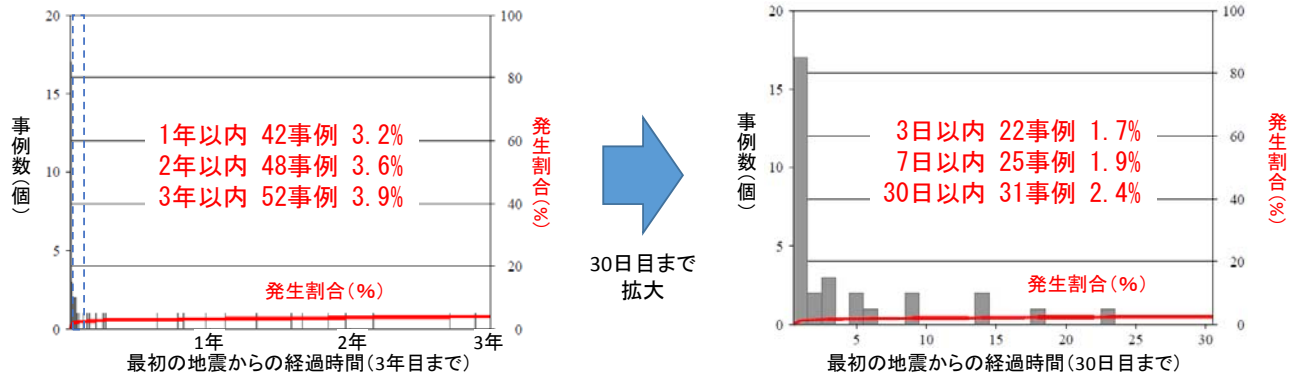


(参考) 2011年3月9日三陸沖の地震(M7.3)後の時空間ETASの結果
⇒ 2日後に東北地方太平洋沖地震(M9.0)が発生

過去の大規模地震等に関する統計資料に基づく評価

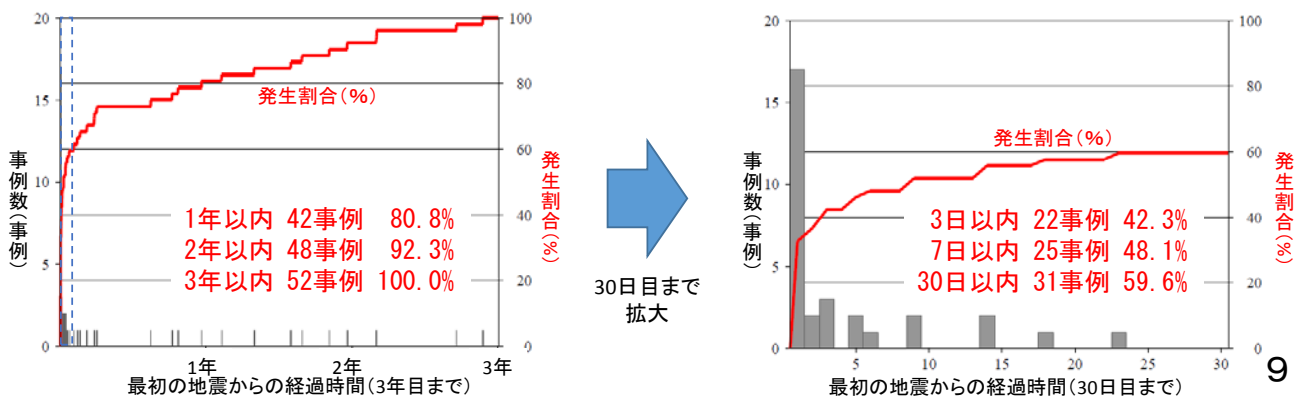
○1900年以降に観測されたM7.0以上の地震1,319事例を母数とした評価

○M7.0以上の地震が発生した後、同じ領域(50km以内)でさらに規模の大きな地震が続発すると評価した場合



○上記統計のうち、3年以内に同じ領域(50km以内)でさらに大きな地震が発生した52事例を母数とした評価

○M7.0以上の地震が発生した後、同じ領域でさらに規模の大きな地震が続発すると評価した場合



9

ケース②に対する評価

南海トラフで発生した地震に関する情報

発生日時、地震の概要(震源位置、規模、マグニチュード、発震機構等、震度分布、津波の観測結果等)、余震活動の状況や地震発生地域への警戒の呼びかけ

※気象庁における通常の情報発表

南海トラフの大規模地震に対する評価(案)

現在の地震活動及び地殻変動の状況から評価すると、今回の地震が前駆すべり(前震)となり大規模地震が発生することも想定されるから、今後の推移を注意深く監視する必要がある。

今回の地震で破壊が起きた領域の周辺では、ひずみの蓄積によって地震の発生が促進される状況が解析されている(参考図. クーロン応力変化)。また、今回の地震による断層の破壊領域周辺では、大規模地震発生の可能性が今後○日程度は高まっていると想定される(参考図. 時空間ETAS)。

過去の統計データからは、M7.0以上の地震が発生した後に、さらに規模の大きな地震が発生する確率は、一般的に今後1ヶ月以内で2%程度、1年以内で3%程度である。なお、東北地方太平洋沖地震(M9.0)では、その2日前にM7.3の地震が発生している。

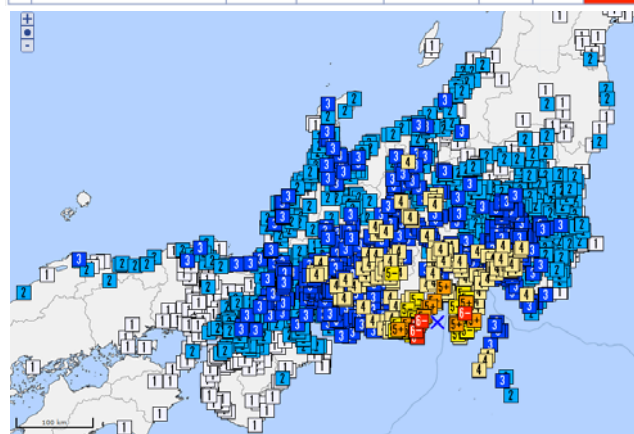
南海トラフでは、大規模地震の前にM7.0以上の前震の発生は過去に観測されていないが、今回の地震を前震であると評価した場合、その後さらに規模の大きな地震が発生する確率は、今後3日以内に40%程度、1週間以内に50%程度、1ヶ月以内に60%程度と考えられる。

このため、今回の地震が前震となって、さらに規模の大きな地震が発生する可能性も高いと考えられることから、今後○日程度は特に警戒が必要である。

(参考)比較的規模の大きな地震による余効変動が東海地震の前駆すべりでないと評価した事例
平成21年8月11日駿河湾の地震(M6.5)

震源

	地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2009/08/11 05:07:05.7	駿河湾	34°47.1'N	138°29.9'E	23km	M6.5	6弱



× 震央
震度 7
震度 6 強
震度 6 弱
震度 5 強
震度 5 弱
震度 4
震度 3
震度 2
震度 1

8月11日05時07分	駿河湾を震源とする地震 (M6.5)	発生
同日07時15分	東海地震に関連する情報 (第1号)	発表
同日09時10分	東海地震に関連する情報 (第2号)	発表
同日11時20分	東海地震に関連する情報 (第3号)	発表

東海地震観測情報

※ 見出し ※

本日(11日)05時07分頃発生した駿河湾を震源とする地震について、地震防災対策強化地域判定会委員打合せ会を開催し検討した結果、今回の地震は想定される東海地震に結びつくものではないと判断しました。

※ 本文 ※

本日(11日)05時07分頃に駿河湾の深さ23kmでM6.5(暫定値)の地震がありました。この地震について、08時から地震防災対策強化地域判定会委員打合せ会を開催し、想定される東海地震との関連性の検討を行ってしました。

この地震は、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ものと思われます。

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、その後もゆっくりとした変化が続いていました。

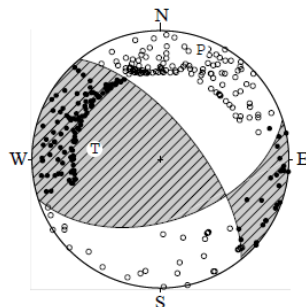
このゆっくりとした変化を調査した結果、想定される東海地震の前兆すべりによる変化ではないことがわかりました。また、変化も次第に緩やかになり、現在は、通常観測される変化レベルにおさまっています。

これらのことから、今回の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しました。

この情報をもって、東海地震に関連する情報発表を終了します。

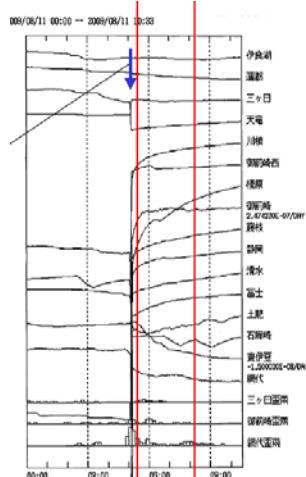
(東海地震に関連する情報 第3号)

平成21年8月11日駿河湾の地震時の評価



北北東-南南西方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型

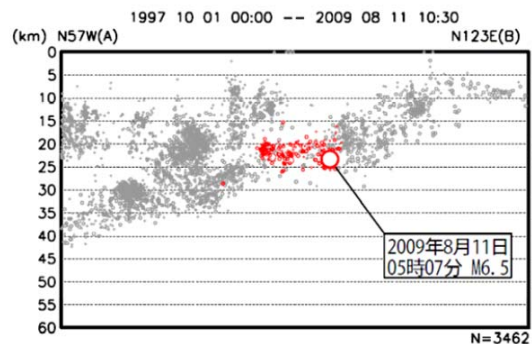
発震機構解



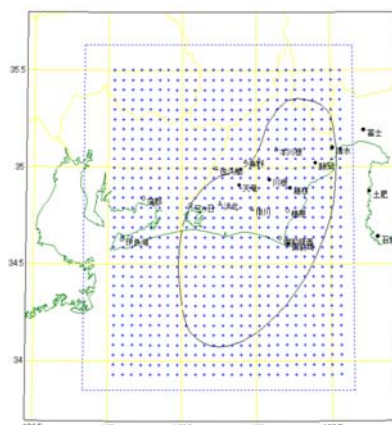
地震発生時の変化

地震発生前後のひずみ変化

ひずみ変化量から
プレート境界面上の
すべりを推計



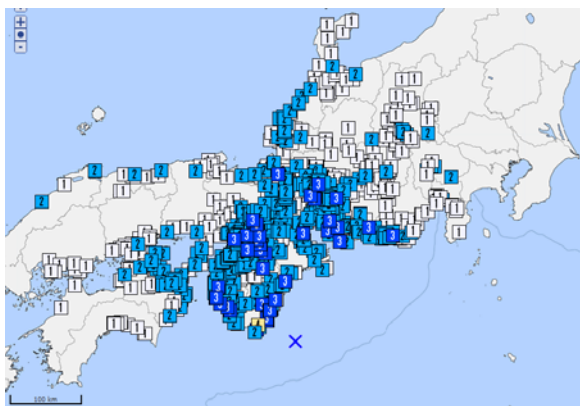
震源分布



プレート境界面上に
すべりの候補点は求まらず

(参考) 比較的規模の大きな地震が前震とならなかった事例 平成28年4月1日三重県南東沖の地震(M6.5)

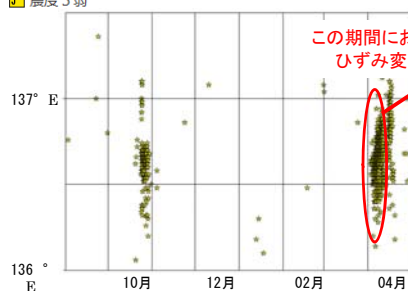
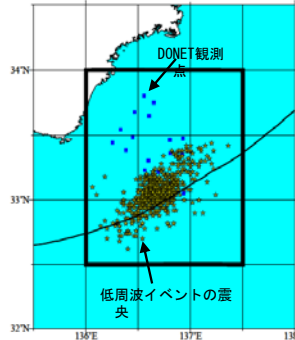
震源	地震の発生日時	震源地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2016/04/01 11:39:07.8	三重県南東沖	33°19.4'N	136°22.9'E	29km	M6.5	4



× 震央 7 震度 7 6 震度 6 強 5 震度 6 弱 4 震度 5 強 3 震度 5 弱 2 震度 4 1 震度 3 震度 2 震度 1

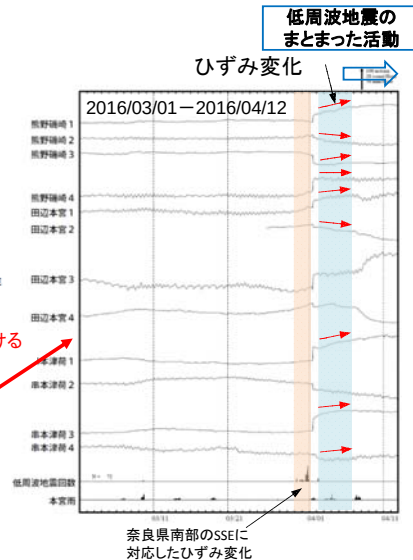
トラフ軸付近での浅部低周波地震の活動期に、同領域での短期的ゆっくりすべりが検出された。また、ゆっくりすべり域の拡大に伴う地震活動の移動も観測された。

2015年09月01日～2016年04月30日



時空間分布

この期間における
ひずみ変化



奈良県南部のSSEに対応したひずみ変化

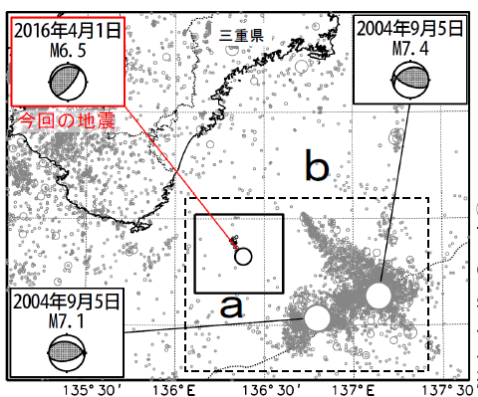
13

平成28年4月1日三重県南東沖の地震時の評価

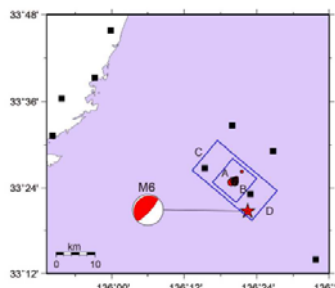
- 4月8日 気象庁「平成28年3月の地震活動及び火山活動について」発表
- 4月11日 地震調査委員会「2016年3月の地震活動の評価」発表
- 5月13日 地震調査委員会「2016年4月の地震活動の評価」発表

4月1日 三重県南東沖の地震

2016年4月1日11時39分に三重県南東沖でM6.5の地震(最大震度4)が発生した。この地震は、発震機構(CMT解)が北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、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。4月6日現在、震度1以上を観測する余震は発生していない。今回の地震発生直後は、規模の小さな余震がまとめて発生したが、次第に減衰してきている。

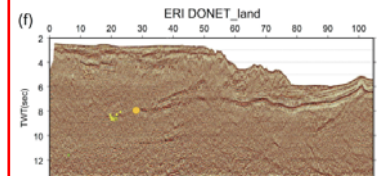


○4月1日に三重県南東沖でM6.5の地震が発生した。この地震の発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であった。



東京大学地震研究所 資料

○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持つ逆断層型で、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。



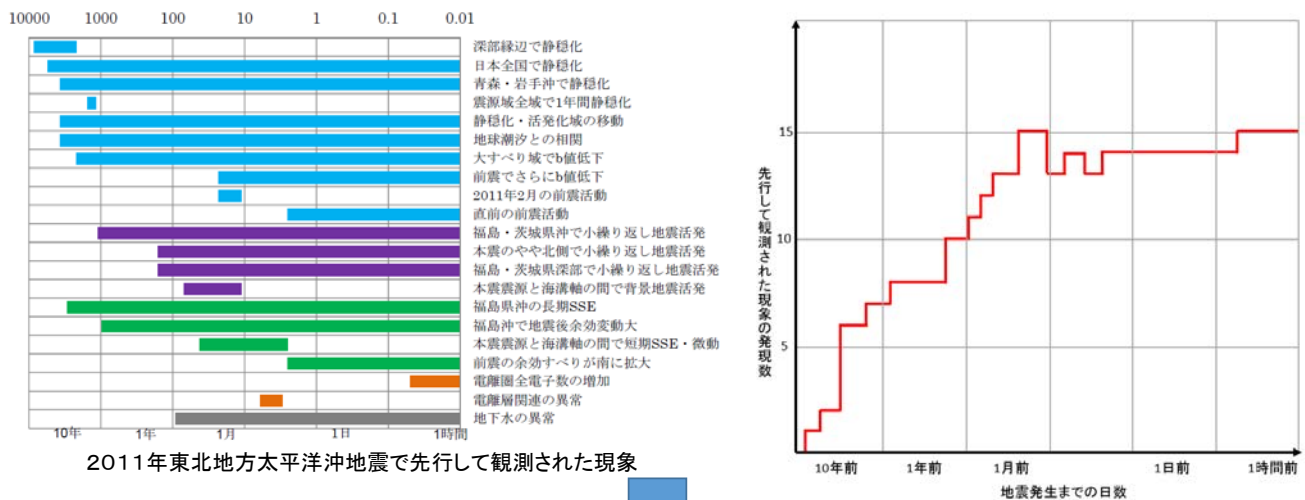
反射時間断面上での震源比較
大きい●が本震

海洋研究開発機構 資料

前駆すべりか否かを評価することが必要ではないか？

14

ケース③: 2011年東北地方太平洋沖地震で先行して観測された現象 が多種目で観測された場合



- 東北地方太平洋沖地震で先行して観測された現象と同様の現象が、多種目で観測されていることがメディア等で大きく取り上げられる
- 南海トラフの大規模地震の前兆ではないかと社会的な混乱が発生する

このような状況において、どのような評価が可能か？
発生している現象に対する評価と原因の解析、今後の大規模地震の発生予測の評価

15

ケース③に対する評価(案)

発生している現象に対する評価

南海トラフの震源域では、一部地域の地震活動の静穏化やプレート境界のゆっくりすべり、地震活動領域の拡大などの現象が多種目で観測されている。

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。

南海トラフの大規模地震に対する評価

現在観測されている現象は、2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)に先行して観測された現象と同様であり、プレートの固着状態の変化を示唆する可能性がある。

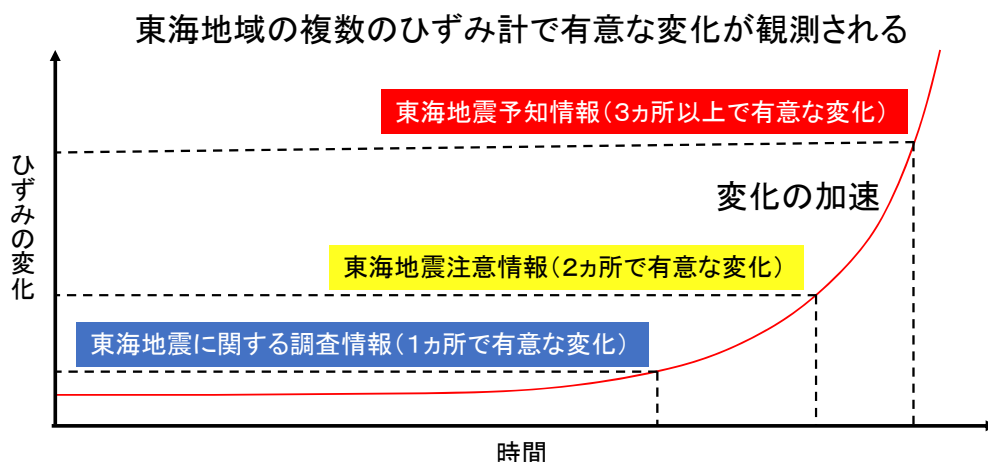
これらの現象は、南海トラフの大規模地震の発生に向けて準備が着実に進行していることを示すものと考えられることから、プレート間の固着やすべりの変化の推移に注意が必要である。

なお、東北地方太平洋沖地震においても、先行して観測された現象が多種目あり、5種目以上で異常が観測された場合でも、地震の発生までには1年以上の期間を要した。南海トラフ沿いにおいても類似の現象が発生することが想定されるが、その場合でも、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。

このような評価でよいのか？

16

ケース④: 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



東海地震に関連する情報発表のイメージ

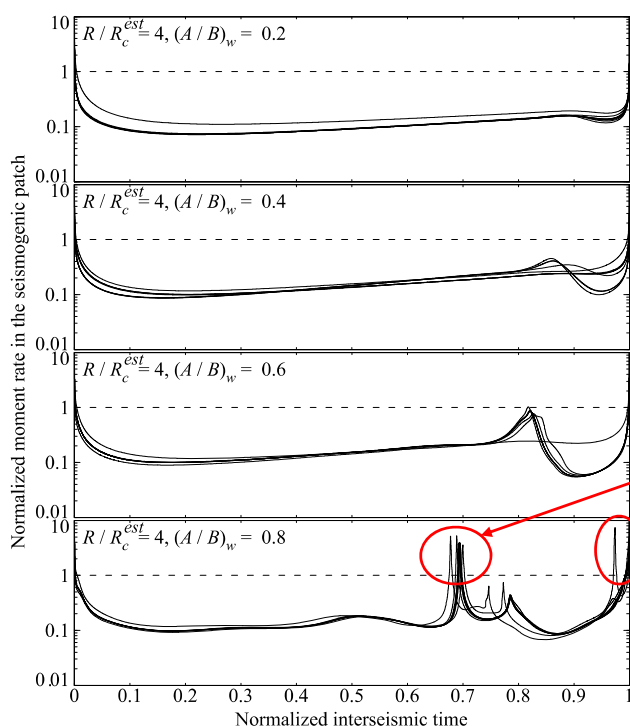
○このような大きなすべりを示す事例は過去にないが、仮に観測された場合、大規模地震の発生が差し迫っているとして社会的な混乱が発生する

このような状況において、どのような評価が可能か？

17

シミュレーションを用いた地震発生過程の評価

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。



急激な変化があっても地震が発生していない

「地震発生の可能性が高い」という判断に使えるか？

ケース④に対する評価(案)

南海トラフの大規模地震に対する評価

南海トラフ沿いの複数のひずみ計で有意な変化が観測されている。現在、その変化は、次第に大きくなり、すべりが進行していると考えられる。

このような事例は、過去に観測されたことがなく、この後の推移を予測することは困難であるが、シミュレーションを用いた解析によれば、このようなひずみの変化が見られた場合には、必ずしも大規模地震が発生するとは限らないが、大規模地震に至る例も示されている。

このことから、地震の規模や時期を確度高く予測することは困難であるものの、南海トラフで大規模地震の発生の可能性を否定できない。



警戒が必要との呼びかけができるか？

仮に警戒を呼びかけた場合、その解除をどのように行うか？

19

まとめ

南海トラフ地震の多様性の中で社会的な混乱が発生すると想定される状況は？

- 震源域の割れ残りが発生した場合 ⇒ ケース①
- 前震が発生した場合 ⇒ ケース②
- 多種目で異常な現象が観測された場合 ⇒ ケース③
- 過去に観測されていない現象が観測された場合 ⇒ ケース④

どのような評価が可能か？

- リアルタイムのモニタリングでプレート間の固着状態の変化を高精度で把握可能か？
- 過去の大規模地震の発生に係る統計データから確率的な評価が可能か？
- 南海トラフ沿いで割れ残りや前震が発生した場合には、おおむね1週間程度は大規模地震が発生する可能性が高く、特に3日間はより可能性が高いと評価できるか？
- シミュレーションや時空間ETAS、クーロン応力変化など、地震発生予測に関する定量的評価を活用できるか？現状では難しいが、今後の更なる観測・研究の進展によって精度の向上が期待できるか？

どのような評価体制が必要か？

- 大規模地震の発生前には、多様な現象が観測されることが想定されることから、総合的な評価を行うための体制の強化が必要ではないか？
- 評価の基となる観測データをリアルタイムで公開する体制が必要ではないか？

20