南海トラフの巨大地震：新想定・予測可能性・長期評価

京都大学防災研究所
橋本　学

この2年間の主な所外での活動

- 日本地震学会東北地方太平洋沖地震対応臨時委員会委員
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会海溝型分科会（その2）委員
- 内閣府南海トラフの巨大地震モデル検討会委員
- 内閣府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
- 総合科学技術会議評価専門調査会「日本海溝海底地震津波観測網の整備及び緊急津波速報（仮称）に係るシステム開発」評価検討会委員
- 和歌山下津港海岸海南地区津波対策事業に関する技術検討会アドバイザー

東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会の「提言」

今後、地震・津波の想定を行うにあたっては、

これまでの考え方を改め、津波堆積物調査などの科学的知見をベースに、あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波

を検討していくべきである。

東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震…関する専門調査会の「提言」

そんなことが可能か？

今後、地震・津波の想定を行うにあたっては、

これまでの考え方を改め、津波堆積物調査などの科学的知見をベースに、あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波

を検討していくべきである。

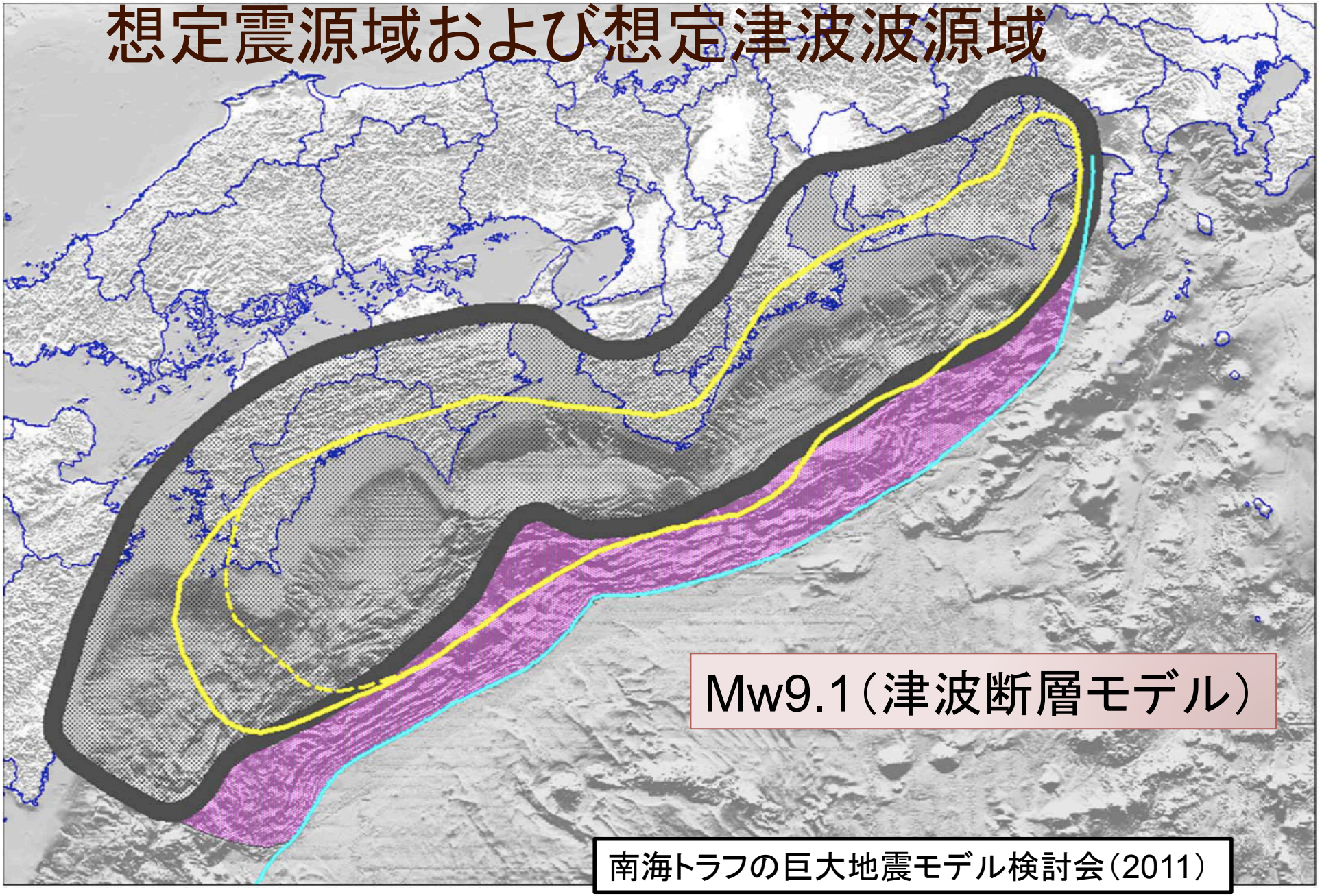
南海トラフの巨大地震モデル検討会

過去に南海トラフのプレート境界で発生した地震に係る科学的知見に基づく各種調査について

防災の観点から 幅広く整理・分析し、想定すべき最大クラスの対象地震の設定方針を検討することを目的

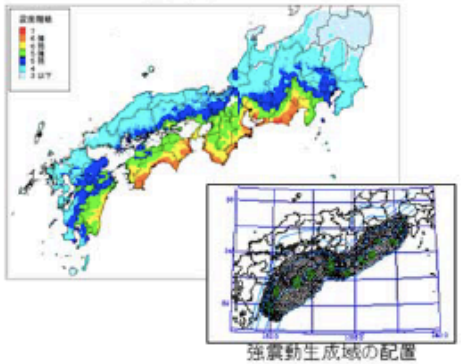
として、理学・工学等の研究者から 構成される検討会を設置する。

想定震源域および想定津波波源域

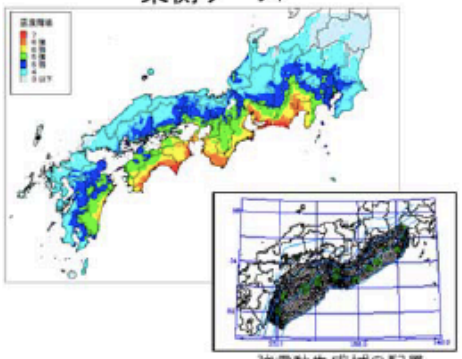


強震波形計算による震度分布

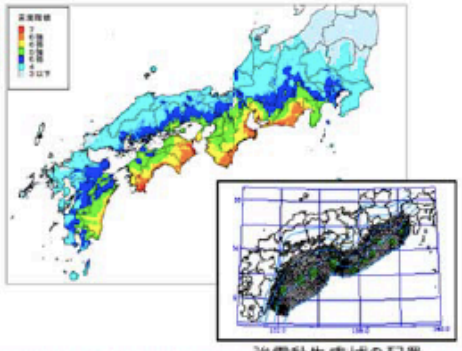
基本ケース



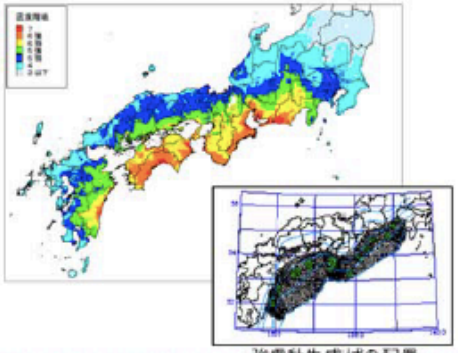
東側ケース



西側ケース

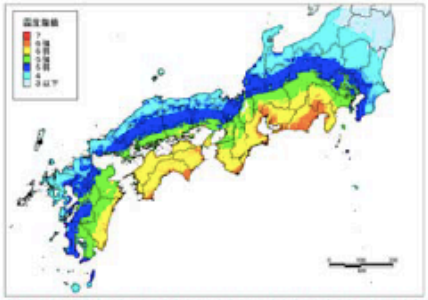


陸側ケース



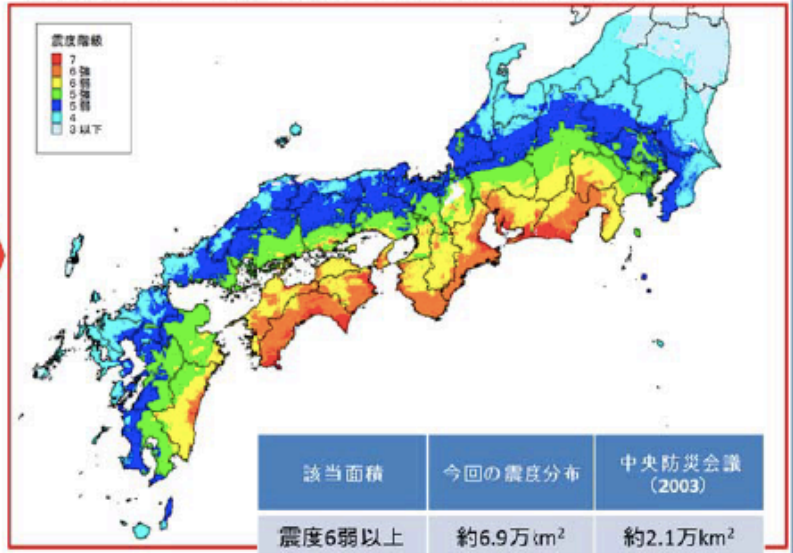
＋

経験的手法による震度分布



【最大クラスの震度分布】

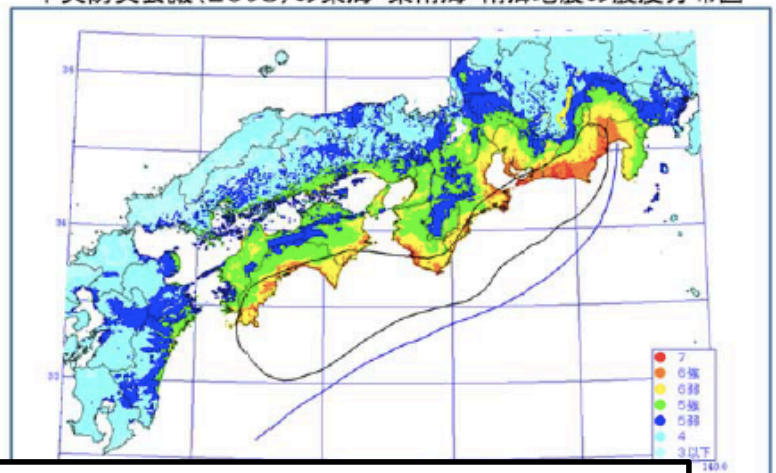
強震波形4ケースと経験的手法の最大震度重ね合わせ



該当面積	今回の震度分布	中央防災会議（2003）
震度6弱以上	約6.9万km²	約2.1万km²
震度6強以上	約2.8万km²	約0.5万km²
震度7	約0.7万km²	約0.03万km²

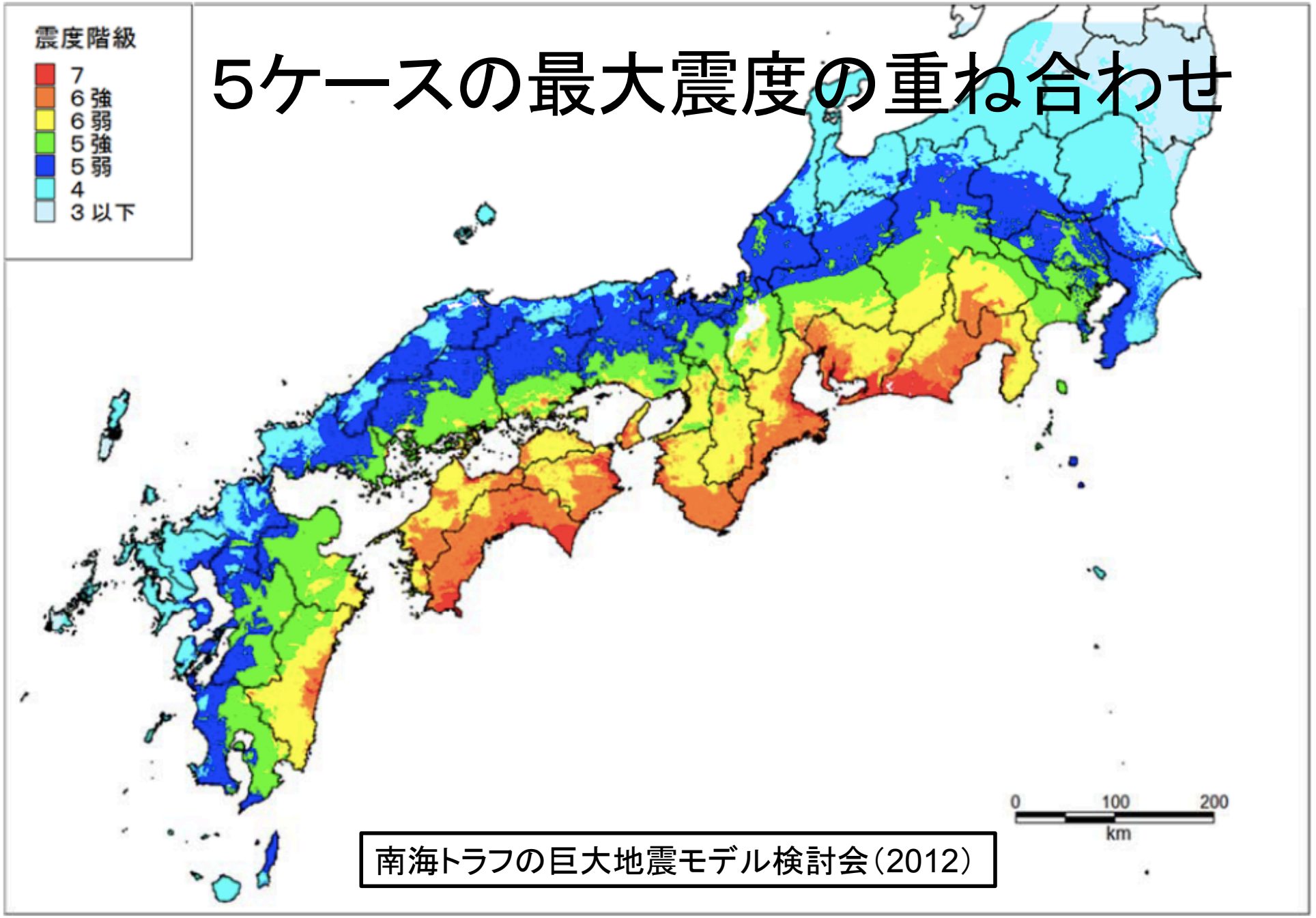
【参考】

中央防災会議（2003）の東海・東南海・南海地震の震度分布図



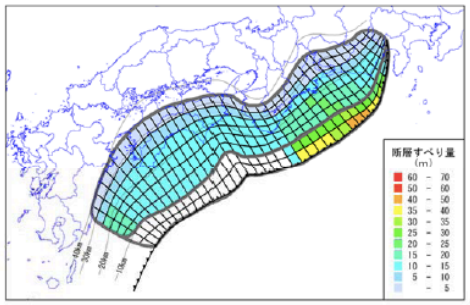
南海トラフの巨大地震モデル検討会（2012）

5ケースの最大震度の重ね合わせ

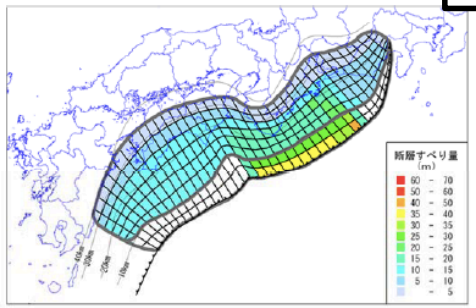


津波断層モデル：全11ケース

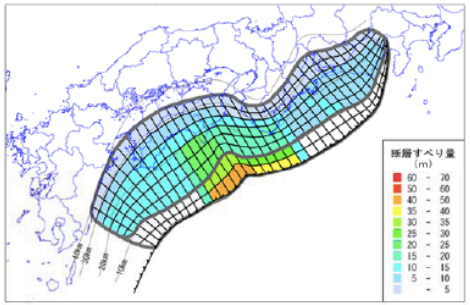
南海トラフの巨大地震モデル検討会（2012）



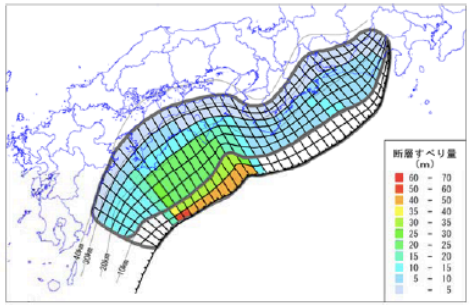
【ケース① 駿河湾～紀伊半島沖に大すべり域を設定】



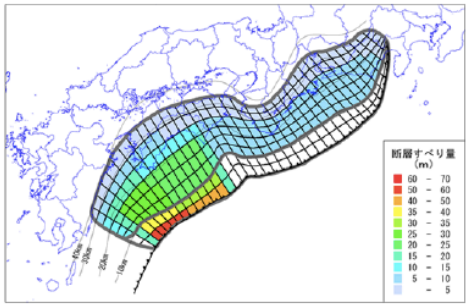
【ケース② 紀伊半島沖に大すべり域を設定】



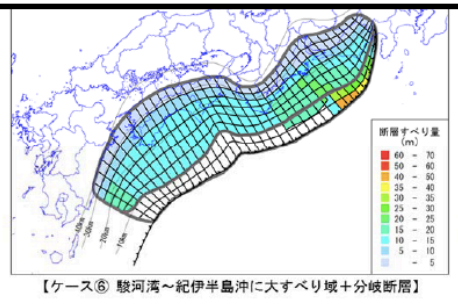
【ケース③ 紀伊半島沖～四国沖に大すべり域を設定】



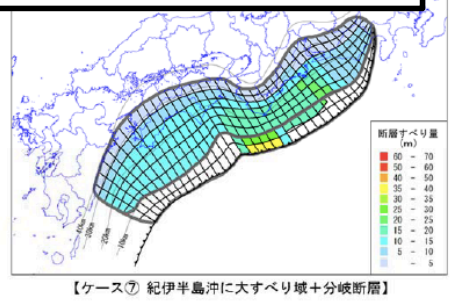
【パターン④ 四国沖に大すべり域を設定】



【パターン⑤ 四国沖～九州沖に大すべり域を設定】

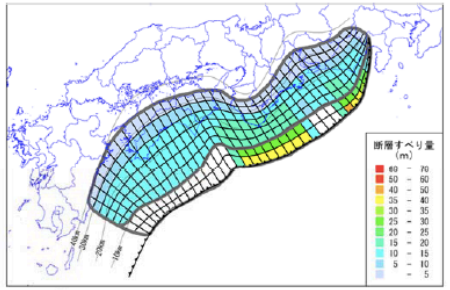


【ケース⑥ 駿河湾～紀伊半島沖に大すべり域＋分岐断層】

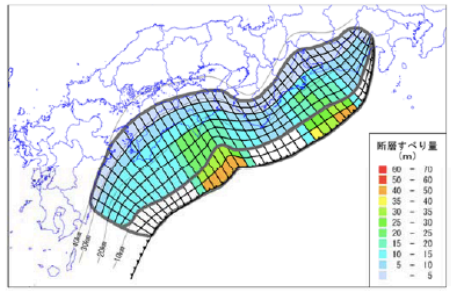


【ケース⑦ 紀伊半島沖に大すべり域＋分岐断層】

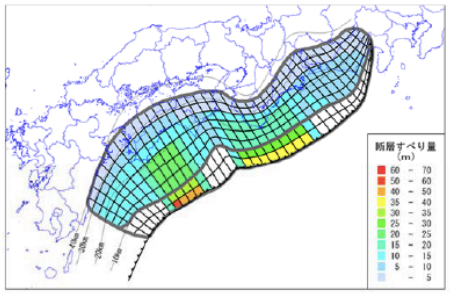
図2.11.3 （3）大すべり域が2箇所のパターン【4ケース】



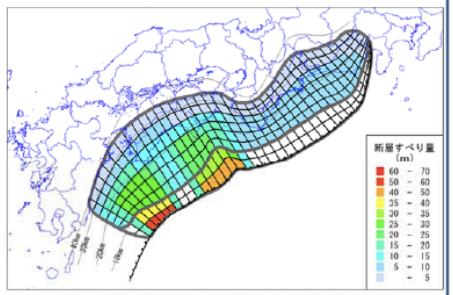
【ケース⑧ 駿河湾～愛知県東部沖、
三重県南部沖～徳島県沖に大すべり域を設定】



【ケース⑨ 愛知県沖～三重県沖、室戸岬沖に大すべり域を設定】

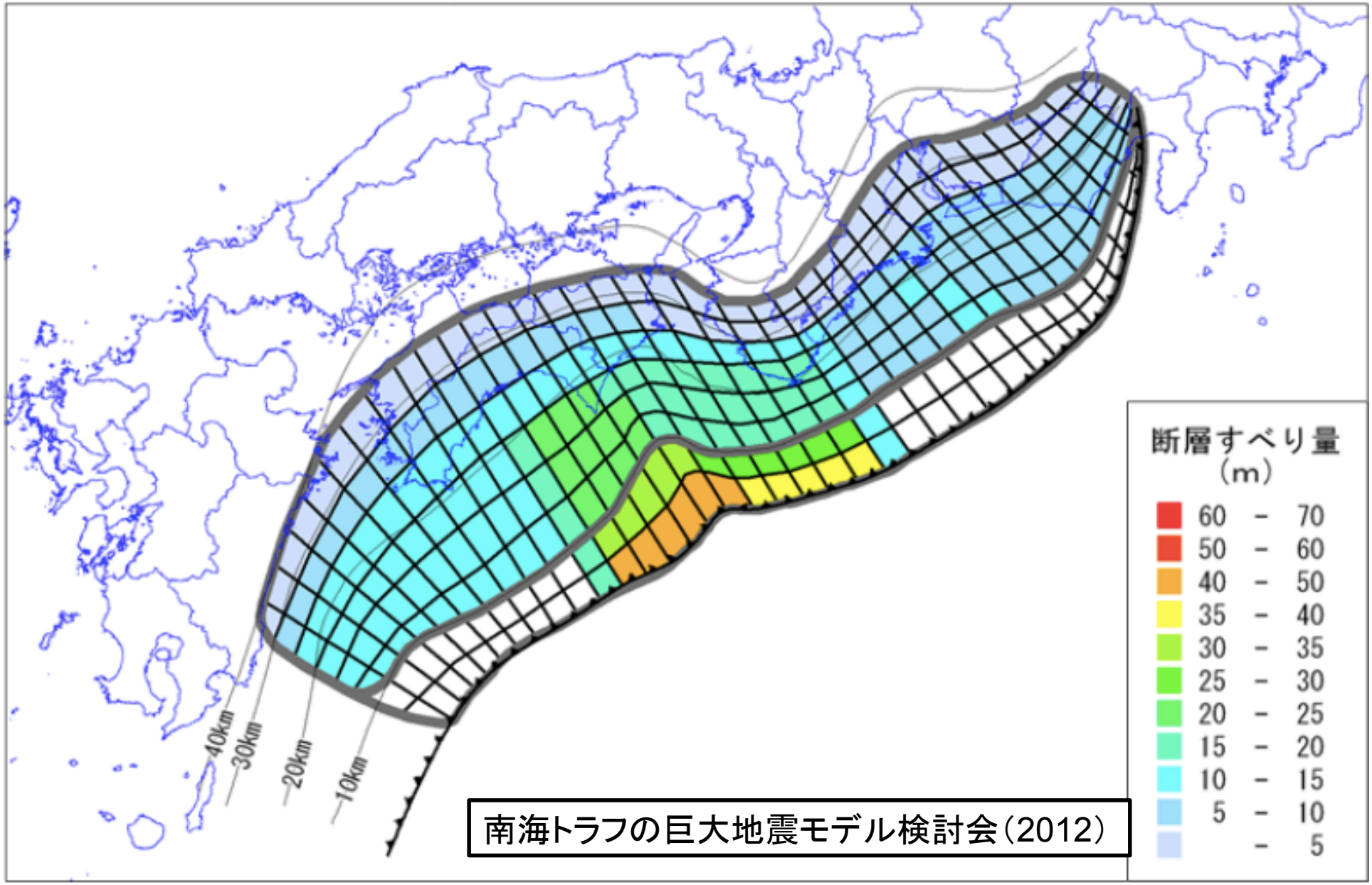


【ケース⑩ 三重県南部沖～徳島県沖、足摺岬沖に大すべり域を設定】



【ケース⑪ 室戸岬沖、日向灘に大すべり域を設定】

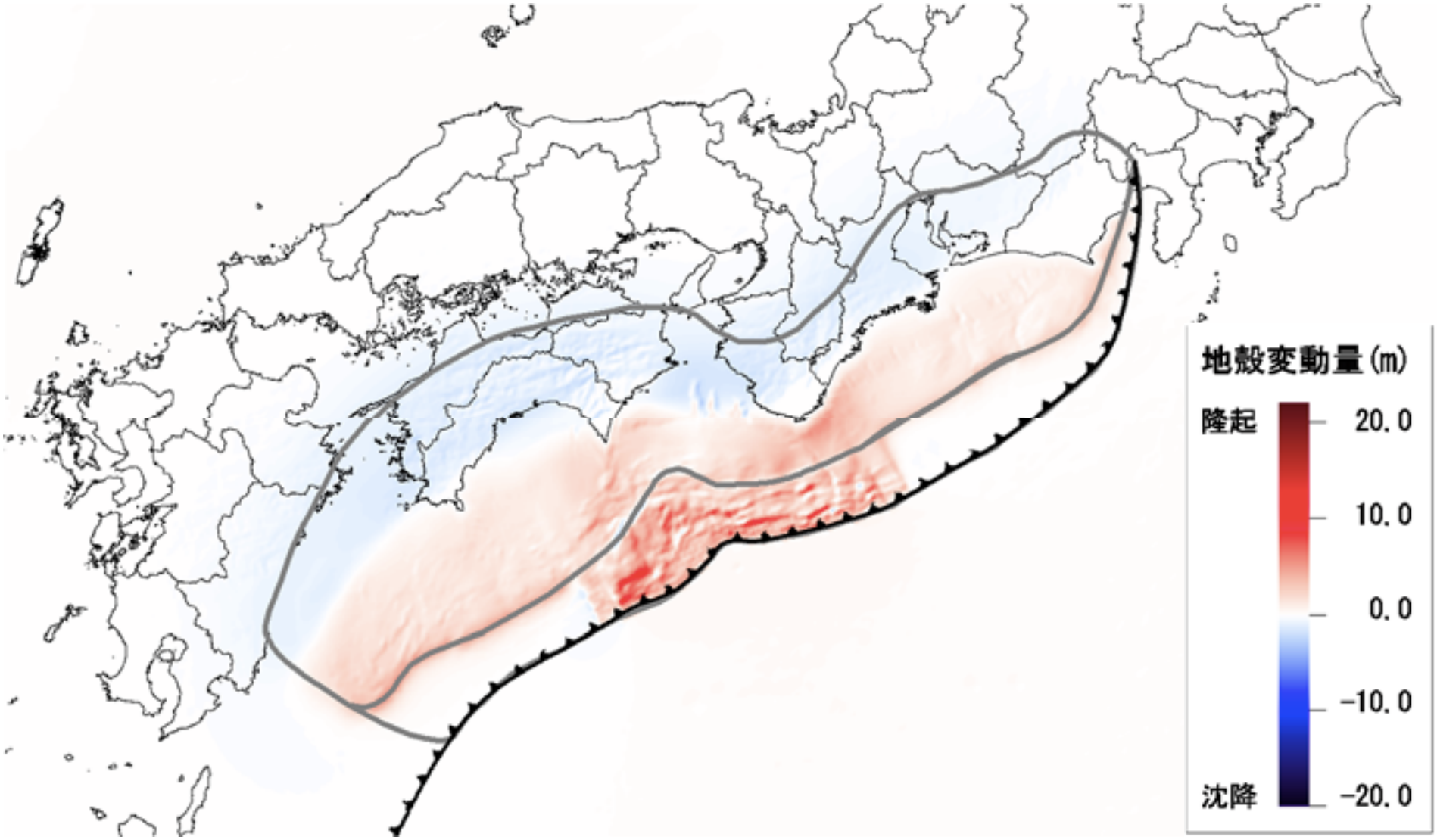
「紀伊半島～四国沖に大すべり」ケース



南海トラフの巨大地震モデル検討会（2012）

上下変動量（ケース3）

南海トラフの巨大地震モデル検討会（2012）

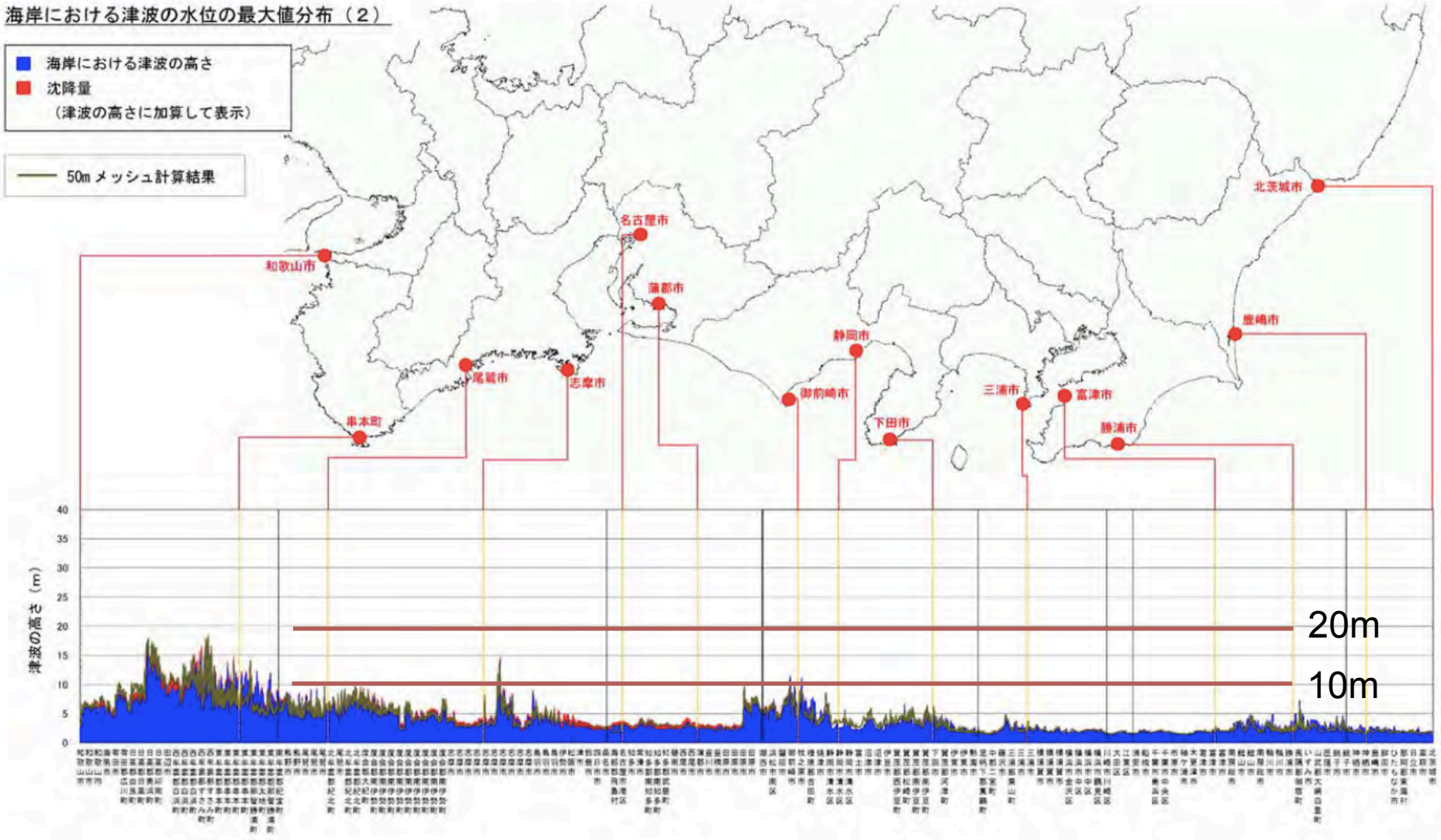


津波高（ケース3）

津波の高さグラフ（満潮時）

ケース3

海岸における津波の水位の最大値分布（2）



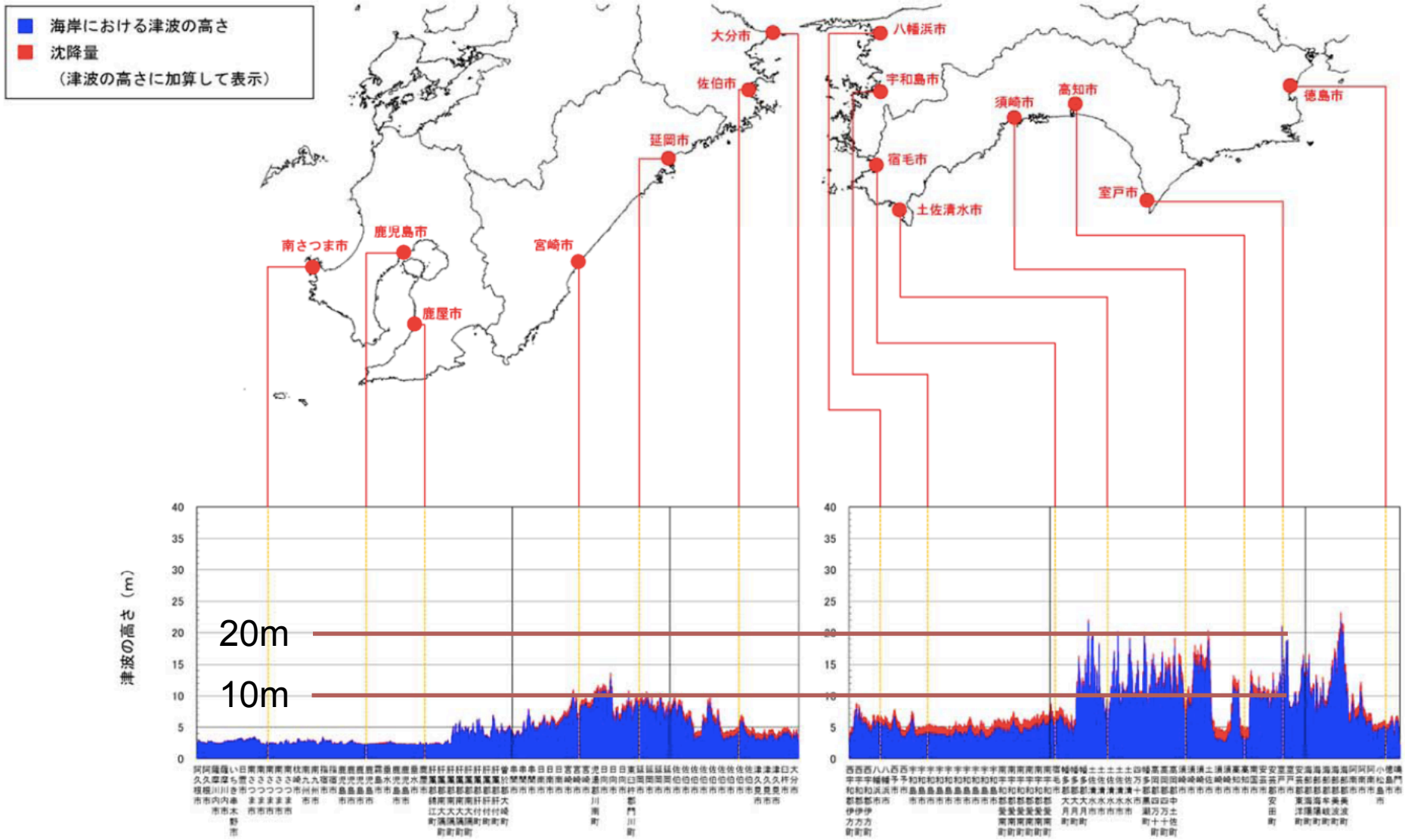
南海トラフの巨大地震モデル検討会（2012）

津波高（ケース3）

津波の高さグラフ（満潮時）

海岸における津波の水位の最大値分布（１）

南海トラフの巨大地震モデル検討会（2012）



最大クラスの地震：まとめ

- 東北沖地震を受け，南海トラフでのM9を想定した震源モデルの提案
  - 決して「あらゆる可能性を考慮」したとは言えない
- 過去に極めて大きい地震発生（1707年，2000年前）
- **「南海トラフ沿いにM9の地震が発生すると，どうなるか推定」**
  - 複数のケースを考え，その包括する分布を提示
  - 太平洋沿岸に巨大津波，西日本全域に強い揺れ

毎日新聞 2013年1月31日（朝刊）

「最大級」根拠に異論も

て「科学的知見に基づく最大級の地震」を作り上げた「南海トラフの巨大地震モデル検討会」は11年8月、内閣府に設置された。12年末までに30回の会合を持ち、現在も継続中。委員16人のうち理学系の地震学者が過半数を占め、8人は専門調査会と重なる。

地震学者の多くは東日本大震災が起こるまで、南海トラフでの最大の地震は東海・東南海・南海が3連動した宝永地震（M8・6、1707年）だと考えていた。それを覆す材料として検討会で用いられたのは、岡村真・高知大特任教授（地震地質学）が高知県土佐市の蟹ケ池で掘り出した約2000年前のボーリング試料だ。宝永地震の約15㌢を上回る厚さ50～60㌢もの津波堆積物が存在していた。徳島県阿南市の蒲生田大池でも同年代の堆積物が見つかった。

岡村特任教授はこれらの成果を基に2000年前に宝永を超える地震があったと主張し、著名な地震学者に大笑いされた屈辱の経験がある。だが、検討会ではそれを上回る地震さえ議論の対象となった。地震学者の古村孝志・東京大教授は「プレートの沈み込みの状況などから地震学的な最大を調べるべきだ」とかみついたが、同じ地震学者で座長の阿部・東大名誉教授は「地質を全部否定するとこの先芽が出ない」と地質学の成果を尊重する姿勢を見せた。

起きたことのない巨大地震をどう想定するのか。専門分野が異なる委員の間で「科学的な最大級」の解釈がすれ違う。翠川三郎・東京工業大教授（地震工学）は「足の爪しかないのに体全体を描けと言われているようなものだ」と感じた。

その「答え」を出したのが気象庁気象研究所の横田崇・地震火山研究部長だった。中央防災会議が03年にまとめた3連動地震の被害想定などを手掛けてきたエキスパート。11年9月、内閣府参事官を兼務する辞令を受けた。「モデル検討会は横田委員会のようなもの」「全てを知っている」「彼が一人で仕切っている」――。委員たちは口をそろえた。

気象庁と徳島県から出向してい

や断層がずれる量など各変数（パラメーター）の考え得る最大値を重ね合わせ、最大クラスの揺れと津波を明らかにする作業だった。

震源域を巡る議論で、海洋研究開発機構の金田義行氏は「（宮崎県沖の）日向灘を西の端と考えたほうがいいのではないか」と主張。12月、旧来の3連動地震モデルに、日向灘などを加えることが決まった。東西約750㌔もある巨大な震源域の大きさから導き出された規模は「M9・1」だった。

12年2月、横田氏のチームによる東日本大震災の津波を再現する断層モデルが完成し、これを基に推計した津波高が大震災で実際に記録された各地の津波高とほぼ一致。同じ考え方で南海トラフ巨大地震のモデルを作れば、実際の津波高に近い数値を表せるとの見通しが立った。

それでも想定外をなくそうとすると、薄弱な根拠でパラメーターを大きくしなければならない。複数の委員はどんどん大きくなる想定を「インフレ」と感じ、科学として成り立つのか疑問を持った。そもそも最初から大震災並みのM9クラスにする意図をかぎ取った委員もいたが、インフレを止める根拠がなかった。支えらしいものは岡村特任教授のボーリング調査だけ。自身も「こんな想定は架空じゃないか、となった時『岡村のデータがある』という感じだったのでは」と推測する。

3月19日の検討会では、「全て最大を組み合わせると逆に科学的でなくなる」と感じた福和伸夫・名古屋大教授（耐震工学）が「現実から離れていってしまう。全てのパラメーターを最大にするのはいかがなものか」と訴えた。別の工学系の委員も「やり過ぎじゃないですか」と指摘すると、阿部座長は最大級を想定するという専門調査会の方針を基に「『思い切りやれ』と言われているから」と理解を求めた。

結局、津波のモデルで福和教授の主張は採用された。断層が破壊されることで解放されるエネルギー（応力降下量）のパラメーターは当初の4分の3に抑えられ、津波

計算方法を評価する時間になかった。入手した地形データが誤っていたことから作業が遅れ、公表できる最大津波高は50㍍四方に区切った地域ごとに算出する「目の粗い」ものになった。

「こんなに高いのか」。公表4日前の3月27日の検討会では委員から驚きの声が上がった。はじき出された津波の高さは高知県黒潮町で「34・4㍍」。横田氏は「大震災でも30㍍を超える津波が来ている」と説明した。確かに岩手県宮古市の複数の地点で35㍍近くの津波の痕跡が確認されている。ただ、大きな反響が予想された。古村教授は「次にこれが起きる可能性が高いと誤解される。非常にまれであると積極的に説明する必要がある」と提言した。

想定が出そろったのは同30日。最大津波高20㍍以上は6都県23市町村、最大震度7は10県153市町村に及んだ。ただし、これらは震源が異なる16パターンから各地点の最大値を合わせた結果で、一度に起きる現象を表したものではない。内閣府は関係都府県に結果をメール送信。すると公表当日の31日にかけて問い合わせが相次いだ。これまでの防災対策が無駄であると思わせるほど津波高の想定が大きかったからだ。

影響を懸念した当時の中川正春防災担当相は31日午前の検討会で「今回の地震を1000年、あるいは万年に1度と表現してよいだろうか」と提案。ある委員は「1000年級と言って1000年間は来ないと思われても困る」と難色を示し、阿部名誉教授は「最大級という呼び方で良いのではないか」と妥協案を出した。これを受け、中川氏は午後の記者会見で発生頻度に触れず「今回の発表によって、各地の防災計画が否定されるものではない」と呼び掛けた。

災害社会学の権威から「大きなものだけ出して、お前ら無責任だ。対策も併せて出せ」と叱られたという橋本学・京都大教授（測地学）はこう振り返る。「サイエンスとして議論もされていない領域の仕事をやった。今後批判があってしかるべきだ。逆に批判がなければ日本のサイエンスはおかしい」

毎日新聞 2013年1月31日(朝刊)

「最大級」根拠に異論も

て「科学的知見に基づく最大級の地震」を作り上げた「南海トラフの巨大地震モデル検討会」は11年8月、内閣府に設置された。12年末までに30回の会合を持ち、現在も継続中。委員16人のうち理学系の地震学者が過半数を占め、8人は専門調査会と重なる。

地震学者の多くは東日[illegible]が起こるまで、南海トラ[illegible]大の地震は東海・東南海[illegible]3連動した宝永地震(M[illegible]1707年)だと考えて[illegible]これを覆す材料として検討[illegible]られたのは、岡村真・[illegible]任教授(地震地質学)が[illegible]佐市の蟹ケ池で掘り出し[illegible]00年前のボーリング試[illegible]永地震の約15チセンを上回る[illegible]0チセンの津波堆積物が存[illegible]阿南市の蒲生[illegible]堆積物が見つ[illegible]教授はこれらの成果を[illegible]0年前に宝永を超える[illegible]たと主張し、著名な地[illegible]いされた屈辱の経験[illegible]か、検討会ではそれを[illegible]とえ議論の対象となっ[illegible]の古村孝志・東京大[illegible]レートの沈み込みの状[illegible]地震学的な最大を調べ[illegible]じかみついたが、同じ[illegible]長の阿部・東大名誉[illegible]を全部否定するとこ[illegible]ない」と地質学の成果を尊重する姿勢を見せた。

起きたことのない巨大地震をどう想定するのか。専門分野が異なる委員の間で「科学的な最大級」の解釈がすれ違う。翠川三郎・東京工業大教授(地震工学)は「足の爪しかないのに体全体を描けと言われているようなものだ」と感じた。

その「答え」を出したのが気象庁気象研究所の横田崇・地震火山研究部長だった。中央防災会議が03年にまとめた3連動地震の被害想定などを手掛けてきたエキスパート。11年9月、内閣府参事官を兼務する辞令を受けた。「モデル検討会は横田委員会のようなもの」「全てを知っている」「彼が一人で仕切っている」——。委員たちは口をそろえた。

気象庁と徳島県から出向してい[illegible]を進めた。それは震源域の大き[illegible]や断層がずれる量など各変数(パラメーター)の考え得る最大値を重ね合わせ、最大クラスの揺れと津波を明らかにする作業だった。

震源域を巡る議論で、海洋研究開発機構の金田義行氏は「(宮崎県沖の)日向灘を西の端と考えた[illegible]いのではないか」と主張。[illegible]来の3連動地震モデルに、[illegible]どを加えることが決まっ[illegible]約750キロもある巨大な[illegible]大きさから導き出された[illegible]M9・1」だった。

[illegible]月、横田氏のチームによ[illegible]大震災の津波を再現する[illegible]ルが完成し、これを基に[illegible]津波高が大震災で実際に[illegible]た各地の津波高とほぼ一[illegible]考え方で南海トラフ巨大[illegible]デルを作れば、実際の津[illegible]い数値を表せるとの見通[illegible]た。

それでも想定外をなくそうとすると、薄弱な根拠でパラメーターを大きくしなければならない。複数の委員はどんどん大きくなる想定を「インフレ」と感じ、科学として成り立つのか疑問を持った。

そもそも最初から大震災並みのM9クラスにする意図をかぎ取った委員もいたが、インフレを止める根拠がなかった。支えらしいものは岡村特任教授のボーリング調査だけ。自身も「こんな想定は架空じゃないか、となった時『岡村のデータがある』という感じだったのでは」と推測する。

3月19日の検討会では、「全て最大を組み合わせると逆に科学的でなくなる」と感じた福和伸夫・名古屋大教授(耐震工学)が「現実から離れていってしまう。全てのパラメーターを最大にするのはいかがなものか」と訴えた。別の[illegible]員も「やり過ぎじゃな[illegible]と指摘すると、阿部座[illegible]を想定するという専門[illegible]針を基に「『思い切り[illegible]われているから」と理[illegible]波のモデルで福和教授[illegible]用された。断層が破壊[illegible]て解放されるエネルギ[illegible]量)のパラメーターは[illegible]の3に抑えられ、津波[illegible]計算方法を評価する時間になか[illegible]た。入手した地形データが誤っていたことから作業が遅れ、公表できる最大津波高は50メートル四方に区切った地域ごとに算出する「目の粗い」ものになった。

「こんなに高いのか」。公表4日前の3月27日の検討会では委員から驚きの声が上がった。はじき出された津波の高さは高知県黒潮町で「34・4メートル」。横田氏は「大震災でも30メートルを超える津波が来ている」と説明した。確かに岩手県宮古市の複数の地点で35メートル近くの津波の痕跡が確認されている。ただ、大きな反響が予想された。古村教授は「次にこれが起きる可能性が高いと誤解される。非常にまれであると積極的に説明する必要がある」と提言した。

想定が出そろったのは同30日。最大津波高20メートル以上は6都県23市町村、最大震度7は10県153市町村に及んだ。ただし、これらは震源が異なる16パターンから各地点の最大値を合わせた結果で、一度に起きる現象を表したものではない。内閣府は関係都府県に結果をメール送信。すると公表当日の31日にかけて問い合わせが相次いだ。これまでの防災対策が無駄であると思わせるほど津波高の想定が大きかったからだ。

影響を懸念した当時の中川正春防災担当相は31日午前の検討会で「今回の地震を1000年、あるいは万年に1度と表現してよいだろうか」と提案。ある委員は「1000年級と言って1000年間は来ないと思われても困る」と難色を示し、阿部名誉教授は「最大級という呼び方で良いのではないか」と妥協案を出した。これを受け、中川氏は午後の記者会見で発生頻度に触れず「今回の発表によって、各地の防災計画が否定されるものではない」と呼び掛けた。

災害社会学の権威から「大きなものだけ出して、お前ら無責任だ。対策も併せて出せ」と叱られたという橋本学・京都大教授(測地学)はこう振り返る。「サイエンスとして議論もされていない領域の仕事をやった。今後批判があってしかるべきだ。逆に批判がなければ日本のサイエンスはおかしい」

足の爪しかないのに体全体を描けと言われているようなもの

「インフレ」と感じ、科学として成り立つのか疑問を持った.

現実から離れていってしまう

科学の立場から見た問題点

✓地震科学の限界を越えている！

- これまで議論されてこなかった
- 「最大クラス」の定義
- 大きい不確定性
- 検証不能（反証不能？）

南海トラフ沿いの巨大地震の予測可能性調査部会

- 東海地震対策と現状
- 国際的な認識と取組
- 地震の前駆すべりと考えられた事例
- 東北地方太平洋沖地震から得られた科学的知見
- 地震モデルとシミュレーションから得られた知見

ICEF Report

- イタリア・ラクイア地震を契機に，イタリア政府により設けられた国際的な委員会
- 国際的な「地震予測」に関する研究をレビュー

ANNALS OF GEOPHYSICS, 54, 4, 2011; doi: 10.4401/ag-5350

OPERATIONAL EARTHQUAKE FORECASTING

State of Knowledge and Guidelines for Utilization

Report by the

International Commission on Earthquake Forecasting
for Civil Protection

Submitted to the
Department of Civil Protection, Rome, Italy

30 May 2011

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

［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。

予測可能性調査部会の結論

- 大規模地震の多様性

- 東北より前駆すべりが発生する可能性が高いかも

➢でも，いろんな場合があり予測は不確定

- 確度の高い予測は困難

社会の反響

- 「予知前提を見直せ」（新聞各紙社説）
- （私が見た）ネットでも好意的な論調

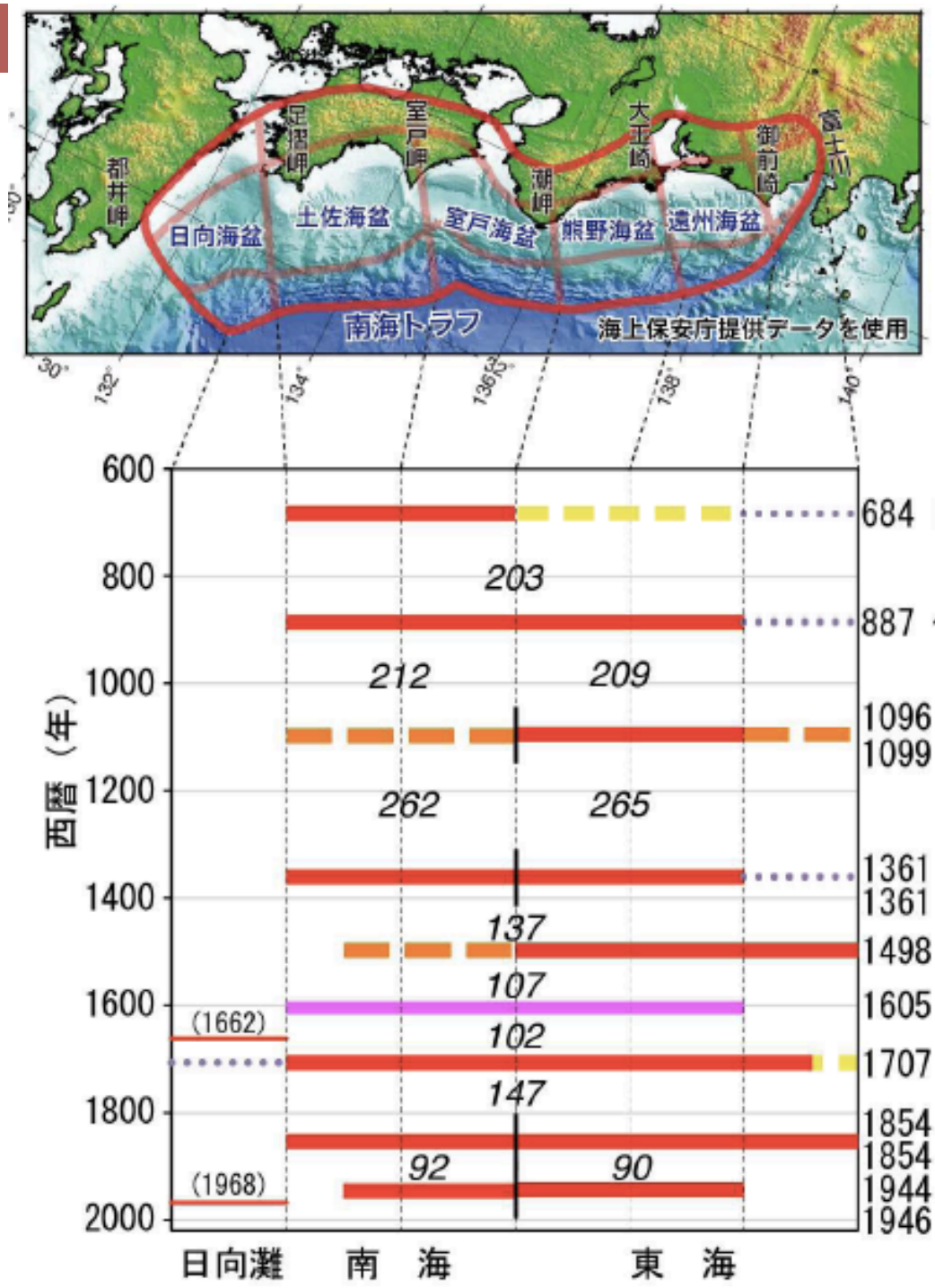
社会は織り込み済みだった！？

- 中には，「今さらできないと言われても．．．」というブログも
- 直接の反応（クレーム？）は極めて少ない
  （これからかも・・・？）

地震調査委員会の長期評価の見直し

- 「長期評価手法の見直し」としてスタート
- とはいえ，南海は「切迫している」から，「お試し」として最初
- 最大規模の震源域
- 過去の地震の再検討
- 確率評価
  - 最大クラスの地震の発生確率

多様な地震活動



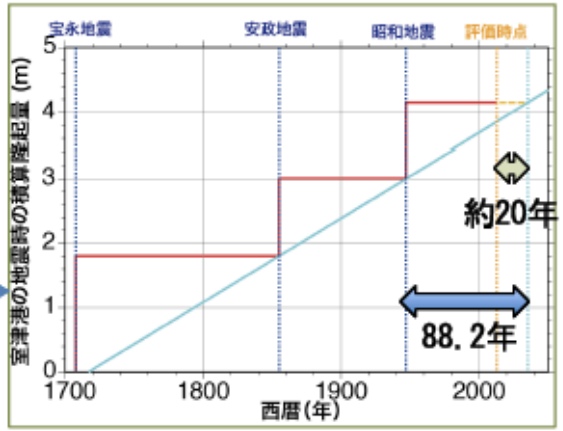
地震調査委員会(2013)

発生間隔の議論

		ケース	①	②
1361	正平地震		○	○
1498	明応地震		○	○
1605	慶長地震		○	
1707	宝永地震		○	○
1854	安政地震		○	○
1944 1946	昭和地震		○	○

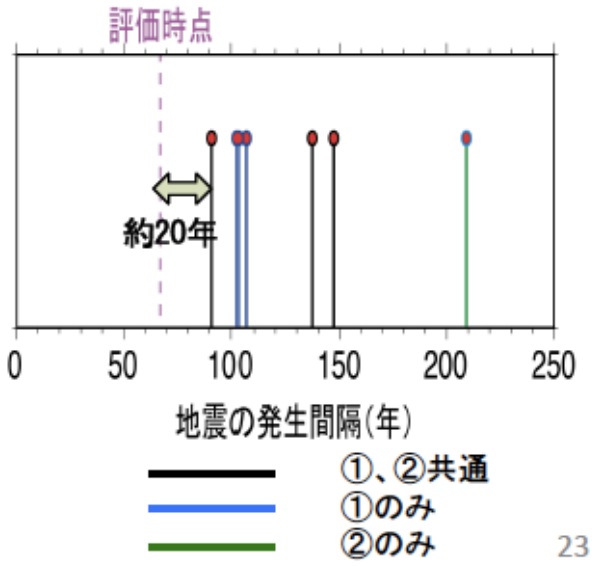
時間予測モデルから推定した次の地震までの間隔：88.2年

前地震の規模（すべり量）と次地震までの時間間隔が比例
昭和の地震の規模が小さかったため、次の地震までの間隔は短いと予測される



正平地震以降の地震の発生間隔：約90～約150年

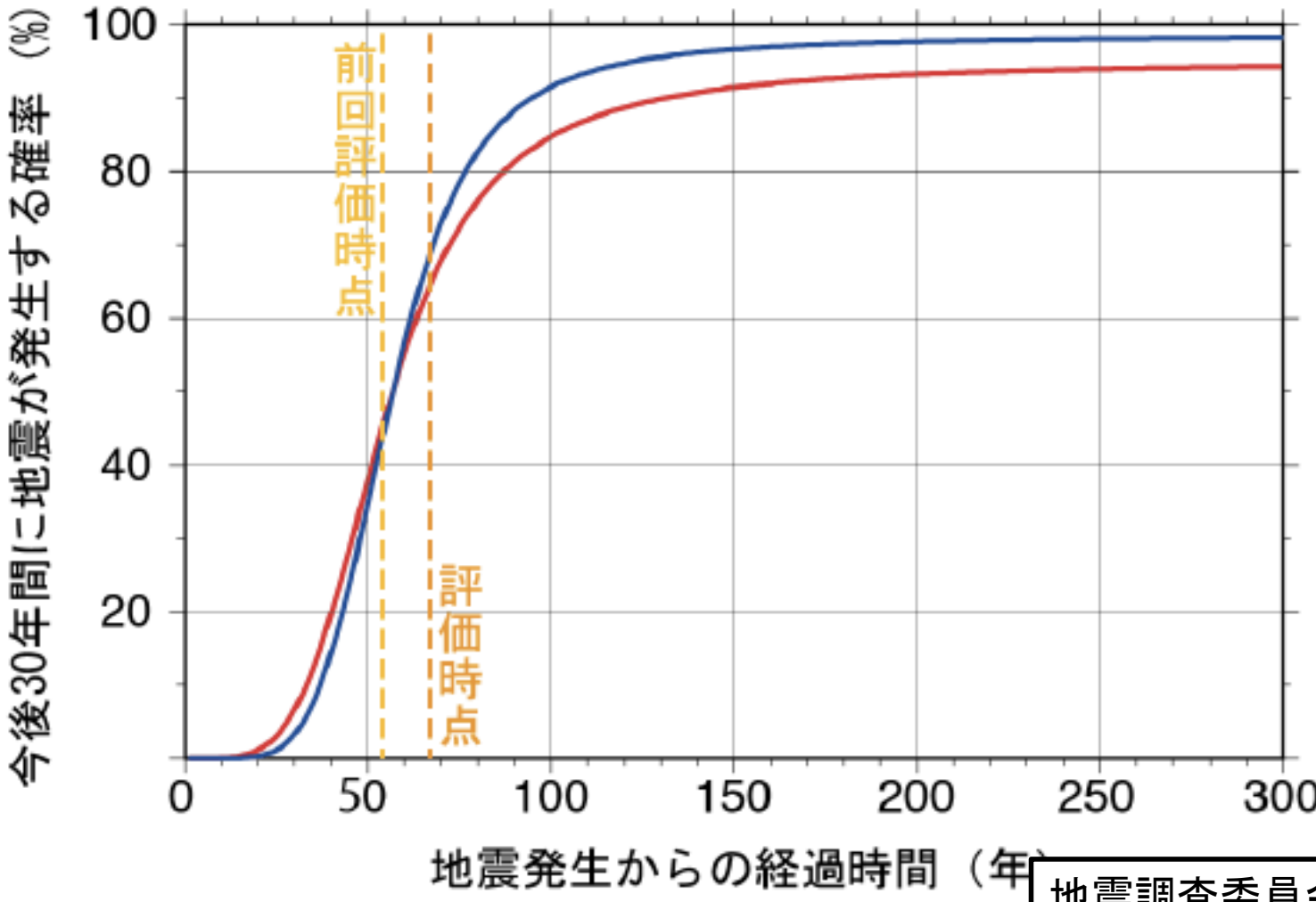
これまで最短で約90年で発生
昭和の地震以降、現時点で既に約70年経過している



23

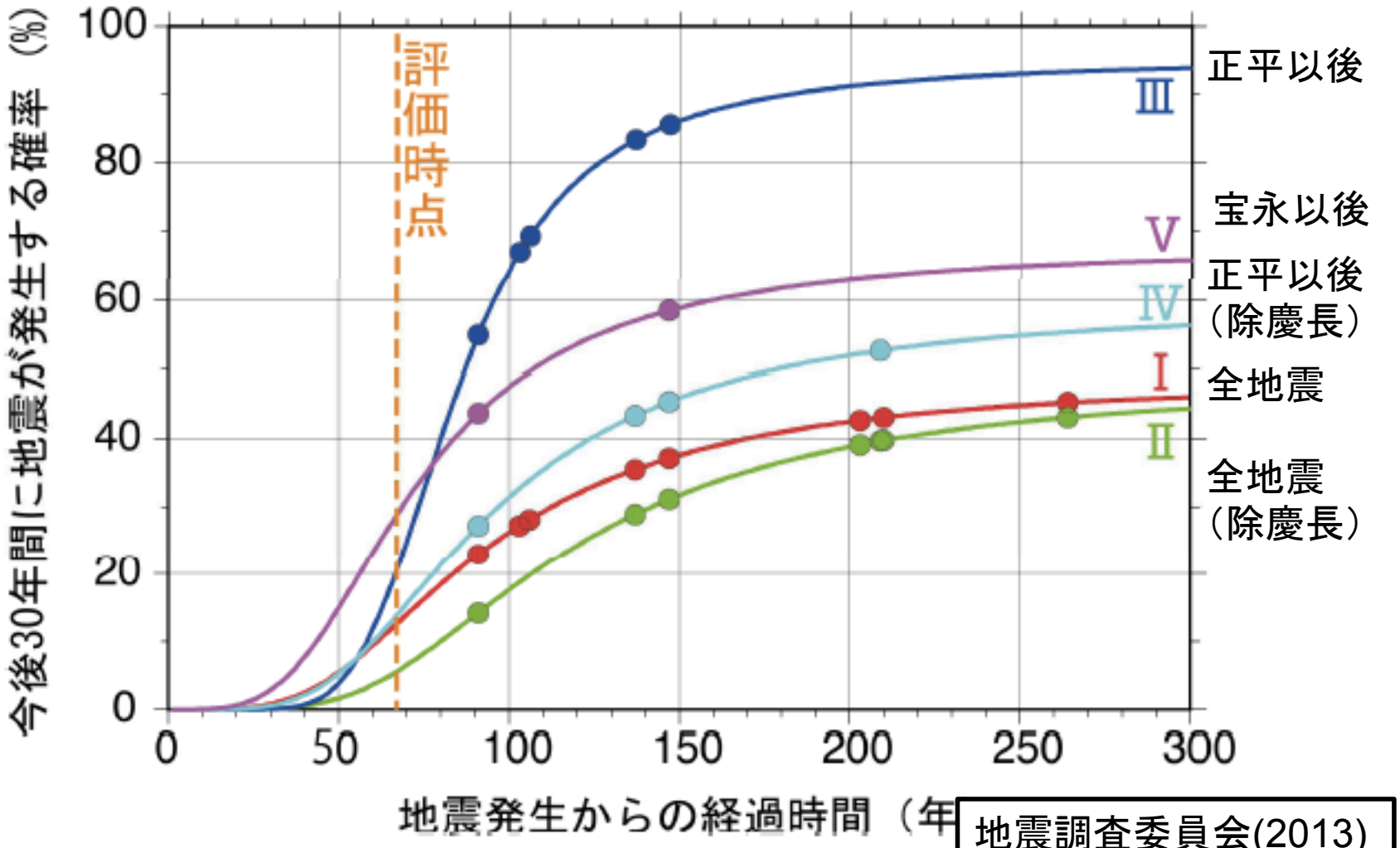
地震調査委員会(2013)

時間予測モデルを用いた確率評価



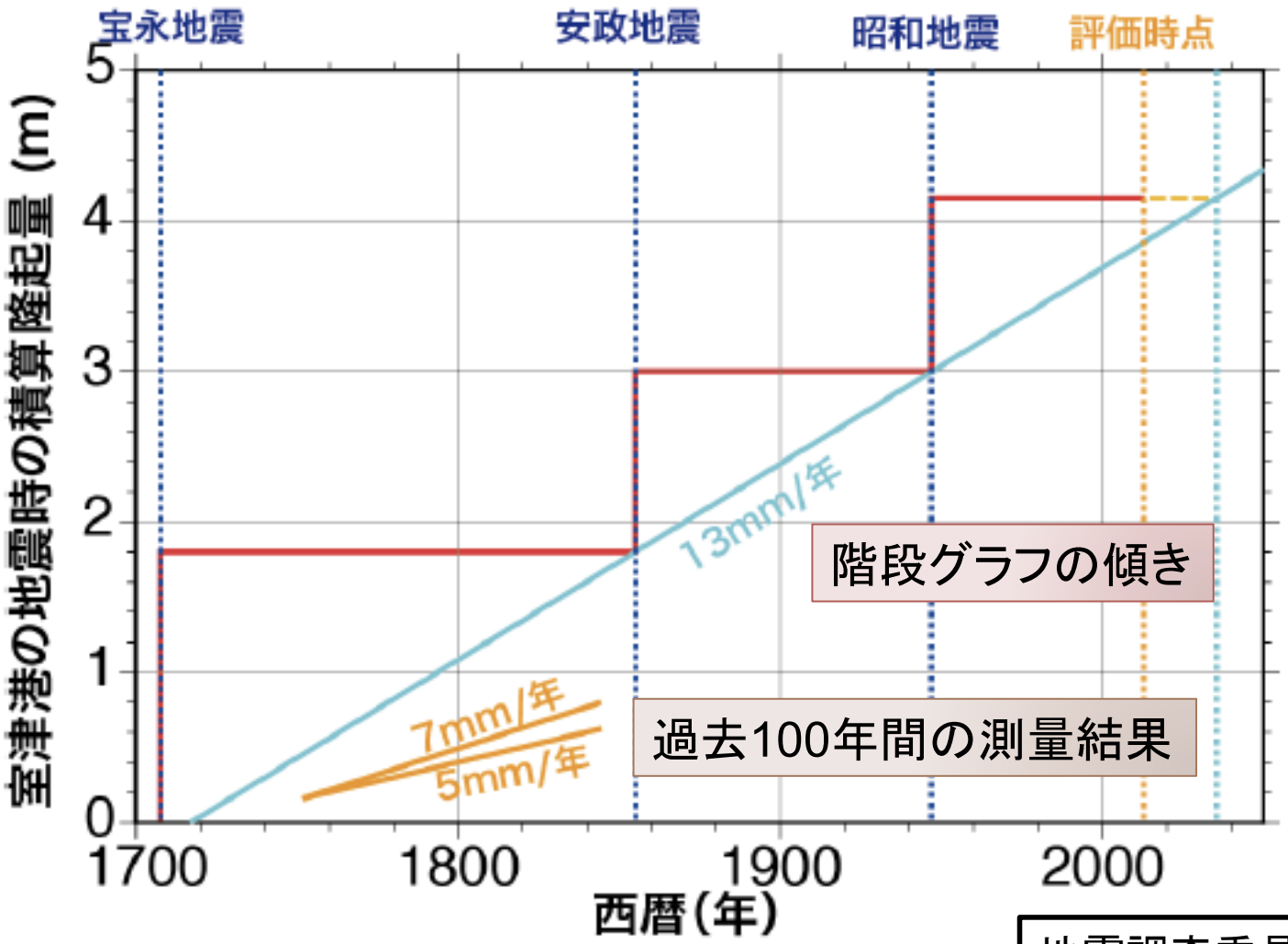
地震調査委員会(2013)

平均繰り返し間隔を用いた確率評価



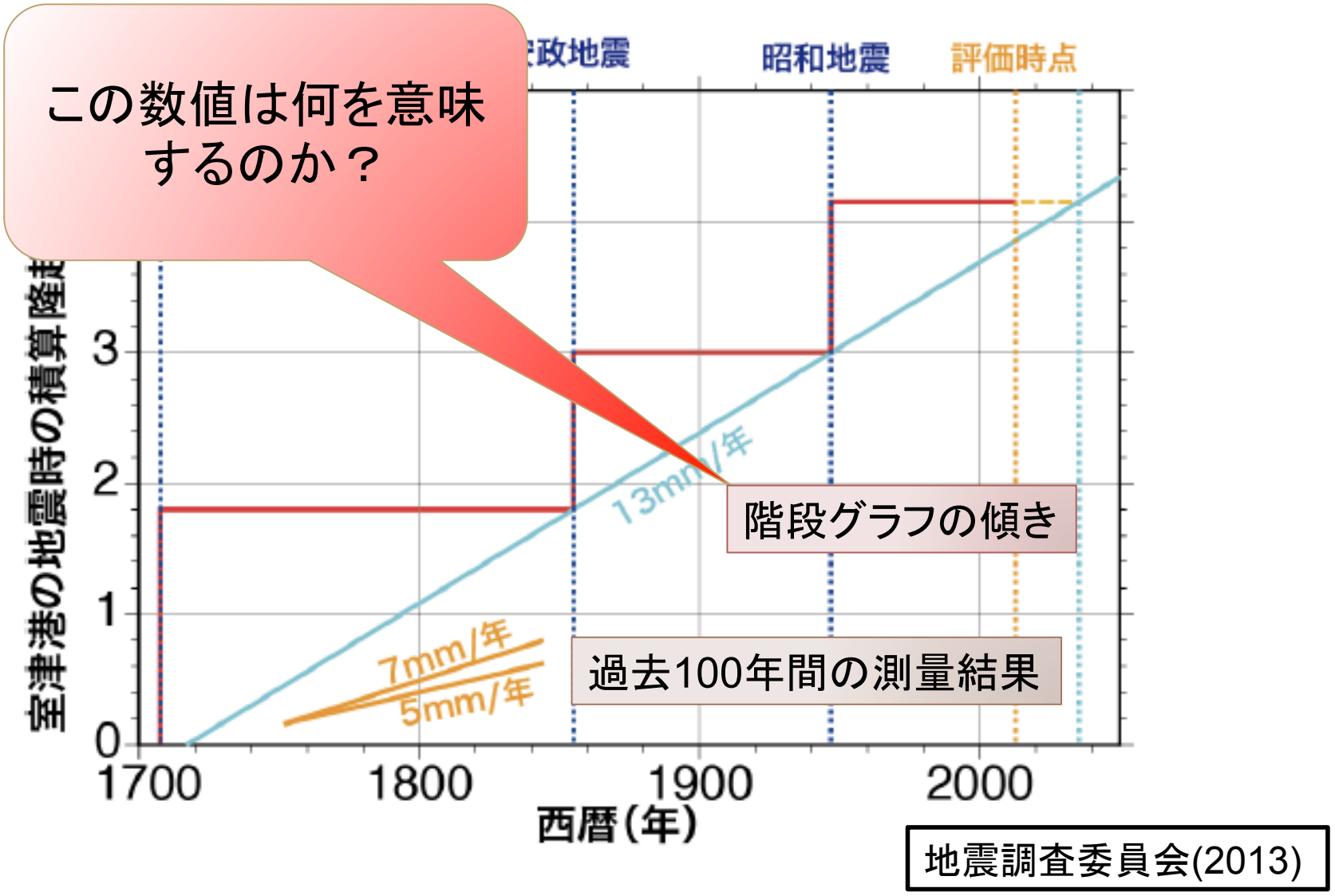
地震調査委員会(2013)

時間予測モデルの問題点の一つ



地震調査委員会(2013)

時間予測モデルの問題点の一つ



地震調査委員会(2013)

南海トラフの長期評価

- 過去のデータを見直し，多様性を重視し，南海トラフ全域を対象
- 前回を踏襲した確率評価
- 最大クラスの地震発生確率は不明

- ２年も掛かった理由
  - 「そもそも」論：何をすべきか？すべきでないか？
  - 「確率評価を出すべきでない」との議論

社会の反響

- 多様性　→　消えた「東海地震」
- 確率の問題
  - 時間予測モデルによる評価のみ報道
  - 平均再来間隔による評価は，ほとんど無視

- *2年間の議論は？？？*

まとめ

- 東日本大震災後，想定や長期評価を改訂
  - 「最大クラス」は，社会に大きな反響
- しかし，地震科学は「未熟な科学」
- この認識の下，議論が必要
  - 【科学の観点】新想定等は科学として妥当か？
  - 【社会の観点】いかに防災に活用すべきか？