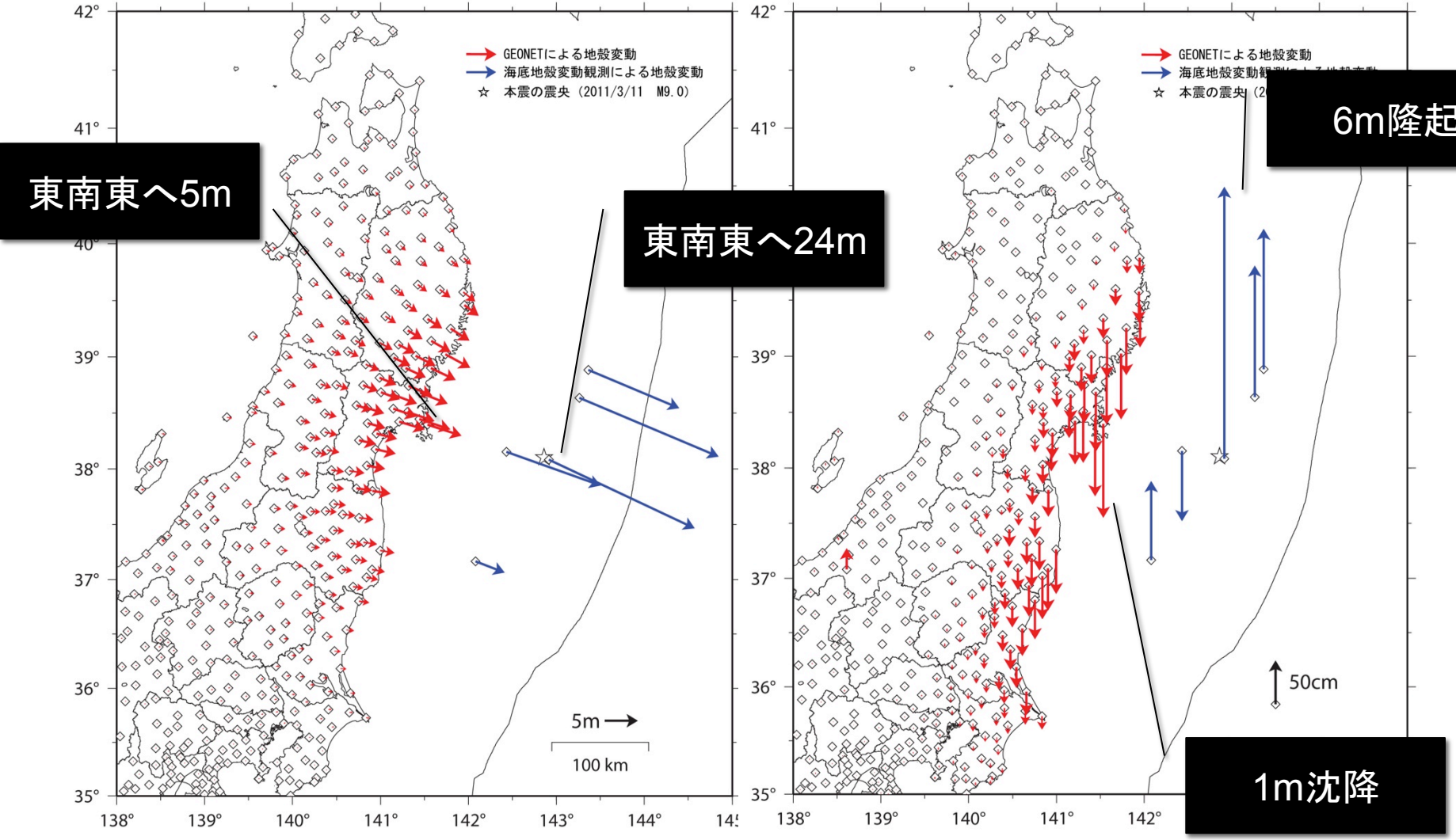
南海トラフの巨大地震と津波
－ 最新の研究成果と政府の考え方 －

京都大学防災研究所　橋本　学

この3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

GPSと海底地殻変動観測で捉えた地殻変動（国土地理院･海上保安庁）



2012年3月10日の女川

撮影時刻：15時38分頃
この日の満潮は17時10分（鮎川）
最高潮位は131cm
満月から2日後

（c）橋本学

東北沖地震前の固着域（Ozawa et al., 2011）

- 約15年間のGPS観測データから推定
- 宮城沖で，がっちりと固着
- 福島沖と海溝沿いで弱い固着
- 宮城沖が次の震源域という予測の根拠
- **しかし，実際に起きた地震で最も大きく破壊したのは，海溝沿い（国土地理院，2011）**
- **GPSでは，海溝沿いのひずみが捉えられていなかった！！**

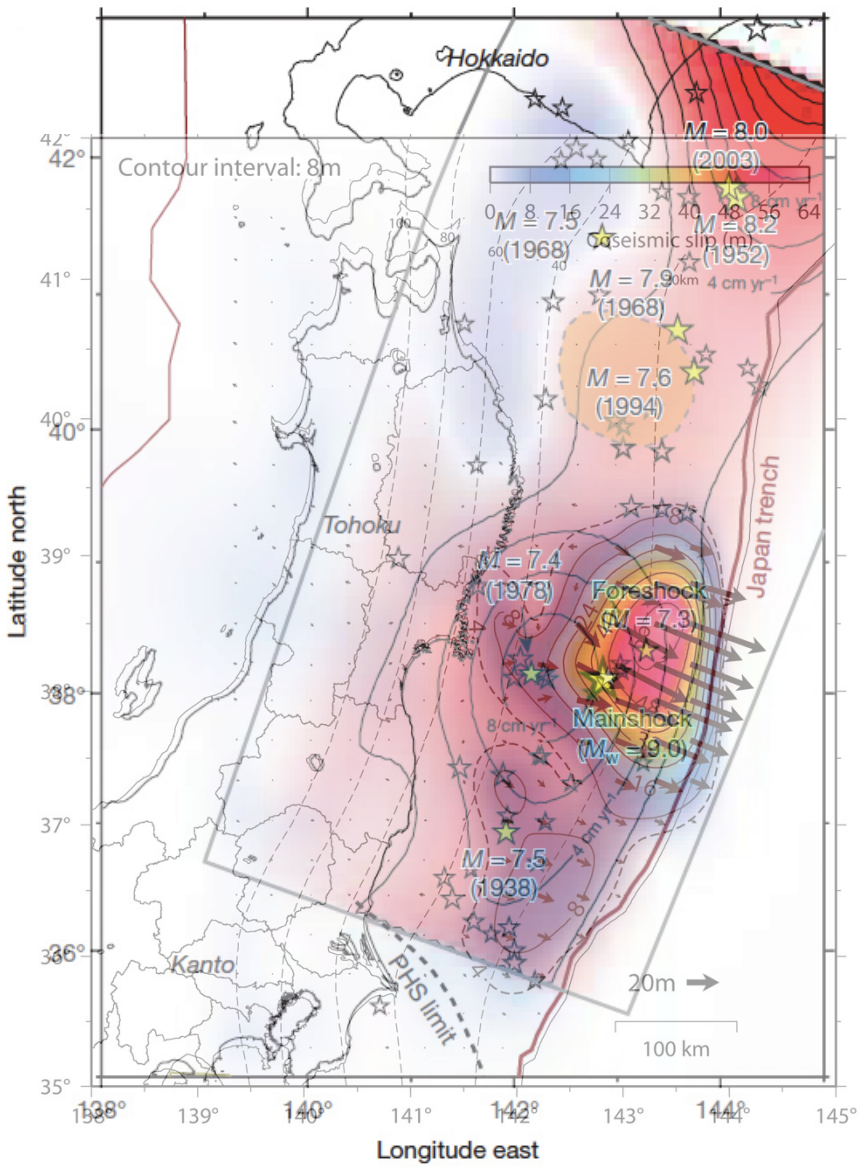
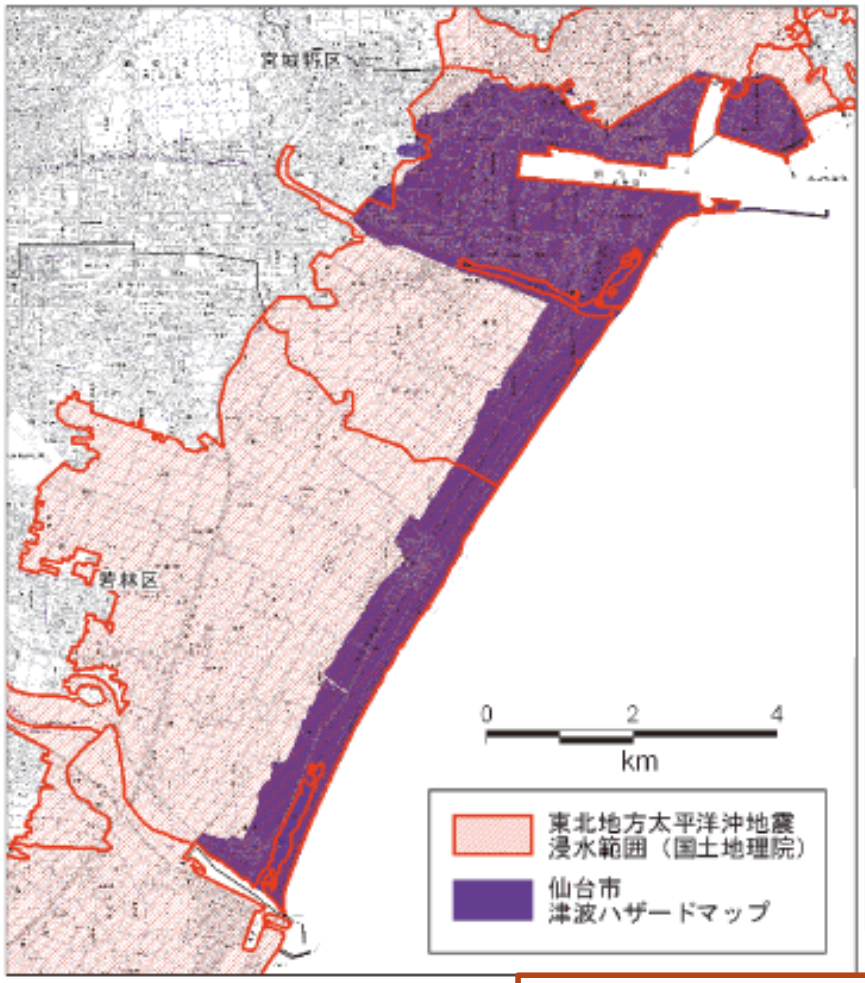
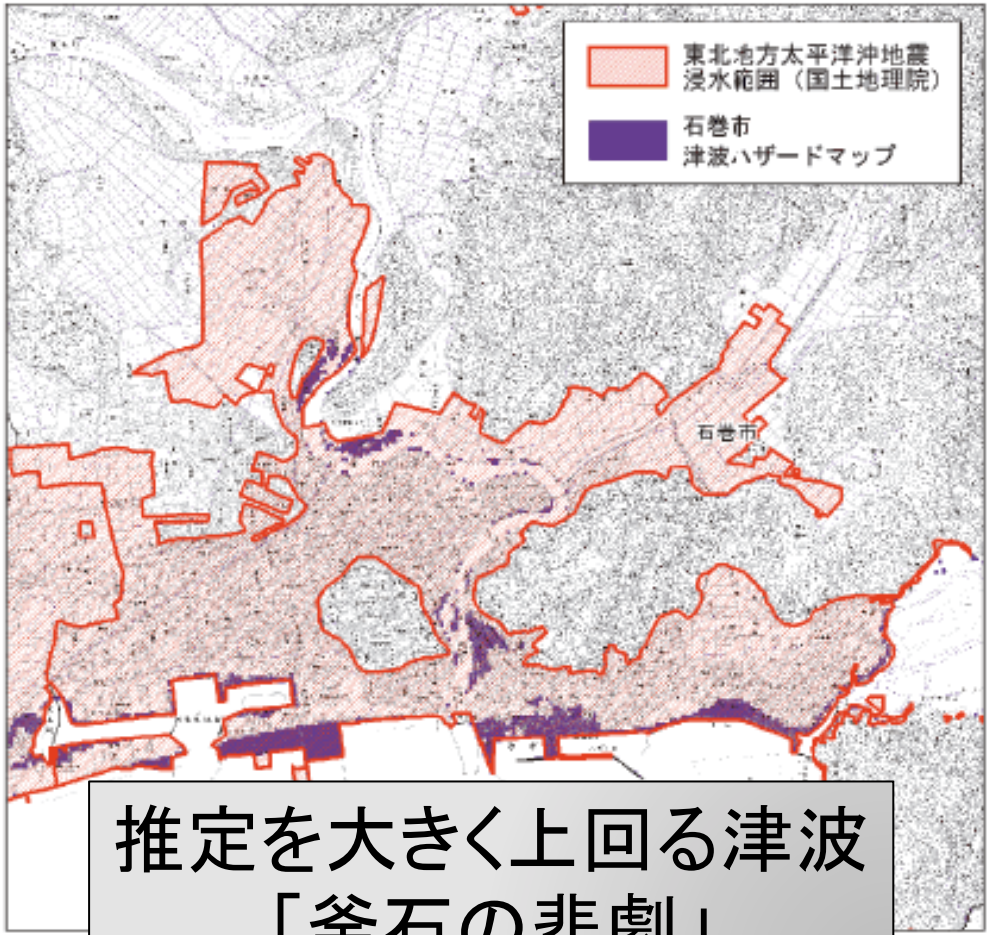


図1－1－9 津波ハザードマップの予測浸水範囲と実際の浸水範囲

東北地方太平洋沖地震の浸水範囲と仙台市津波ハザードマップの比較



東北地方太平洋沖地震の浸水範囲と石巻市津波ハザードマップの比較



推定を大きく上回る津波
「釜石の悲劇」

平成22年度版防災白書より

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」

これまでの地震・津波防災対策では、過去に繰り返し発生し、近い将来同様の地震が発生する可能性が高く切迫性の高い地震・津波を想定してきた。

しかしながら、今般の東北地方太平洋沖地震はこの想定を大きく上回り、甚大な被害を発生させた。

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。

なお、一度想定した地震・津波についても、最新の科学的知見を取り入れて適宜見直すことが不可欠である。

南海トラフの巨大地震モデル

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

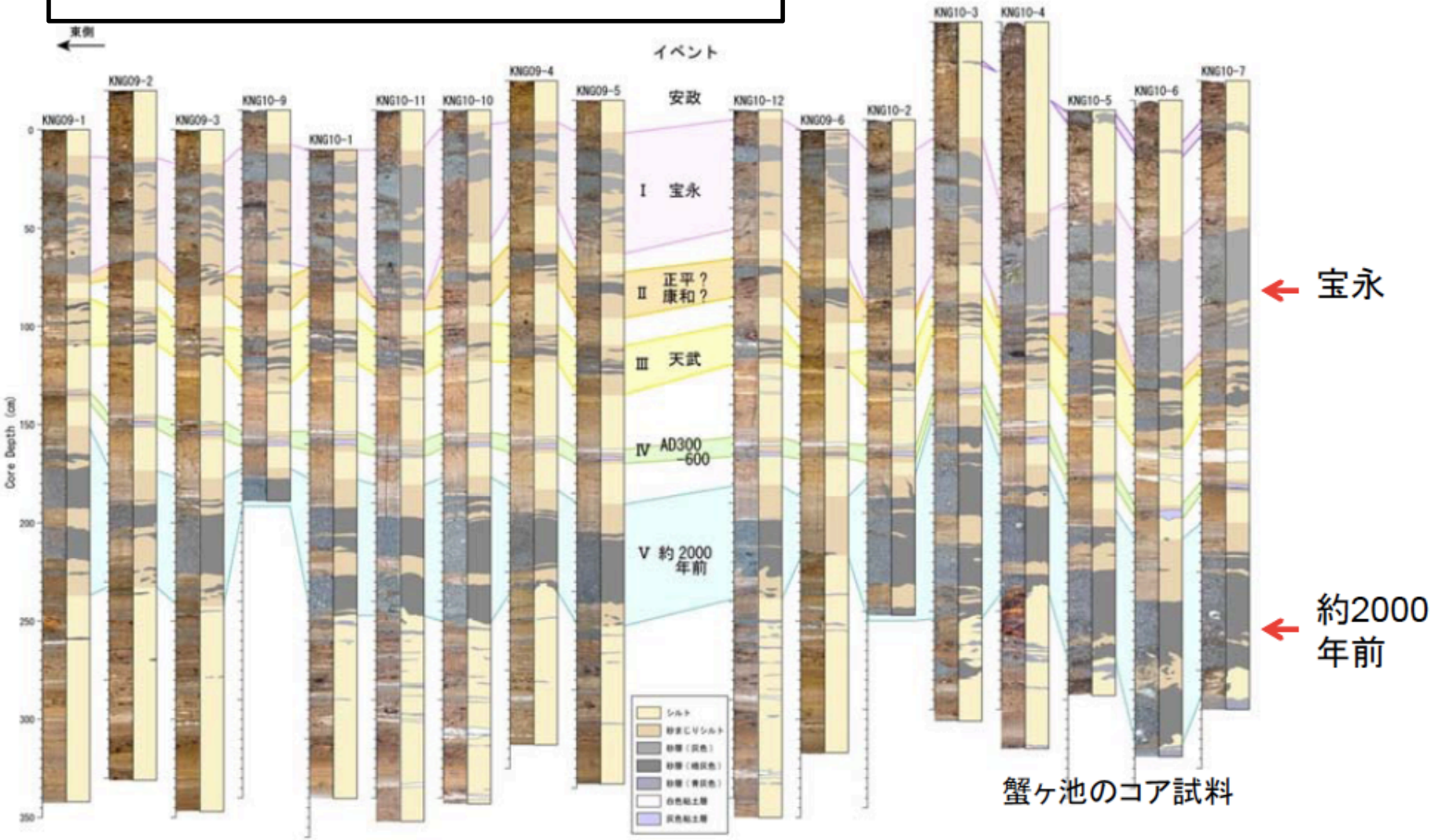
として、理学・工学等の研究者から 構成される検討会を設置する。

検討課題

- 東海・東南海・南海地震に係るこれまでの研究成果の整理
- 東北地方太平洋沖地震の研究成果の活用
- 東海・東南海・南海地震の新たな想定地震の設定方針
- 東海・東南海・南海地震の地震動・津波高さ等の推計

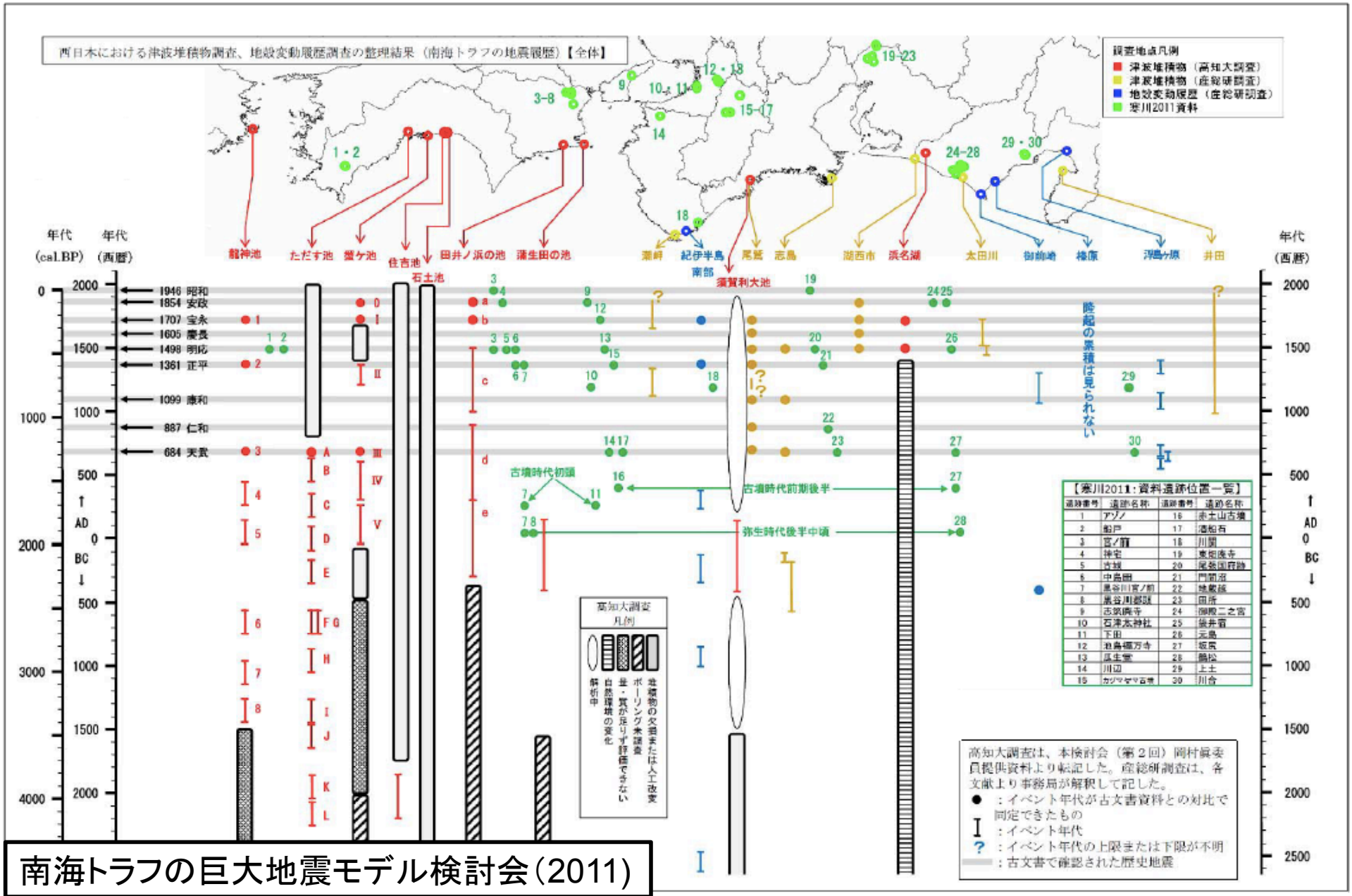
過去地震･津波の資料の収集･評価

高知県蟹ヶ池の津波堆積物
（岡村眞高知大学教授提供資料）



南海トラフの巨大地震モデル検討会（2011）

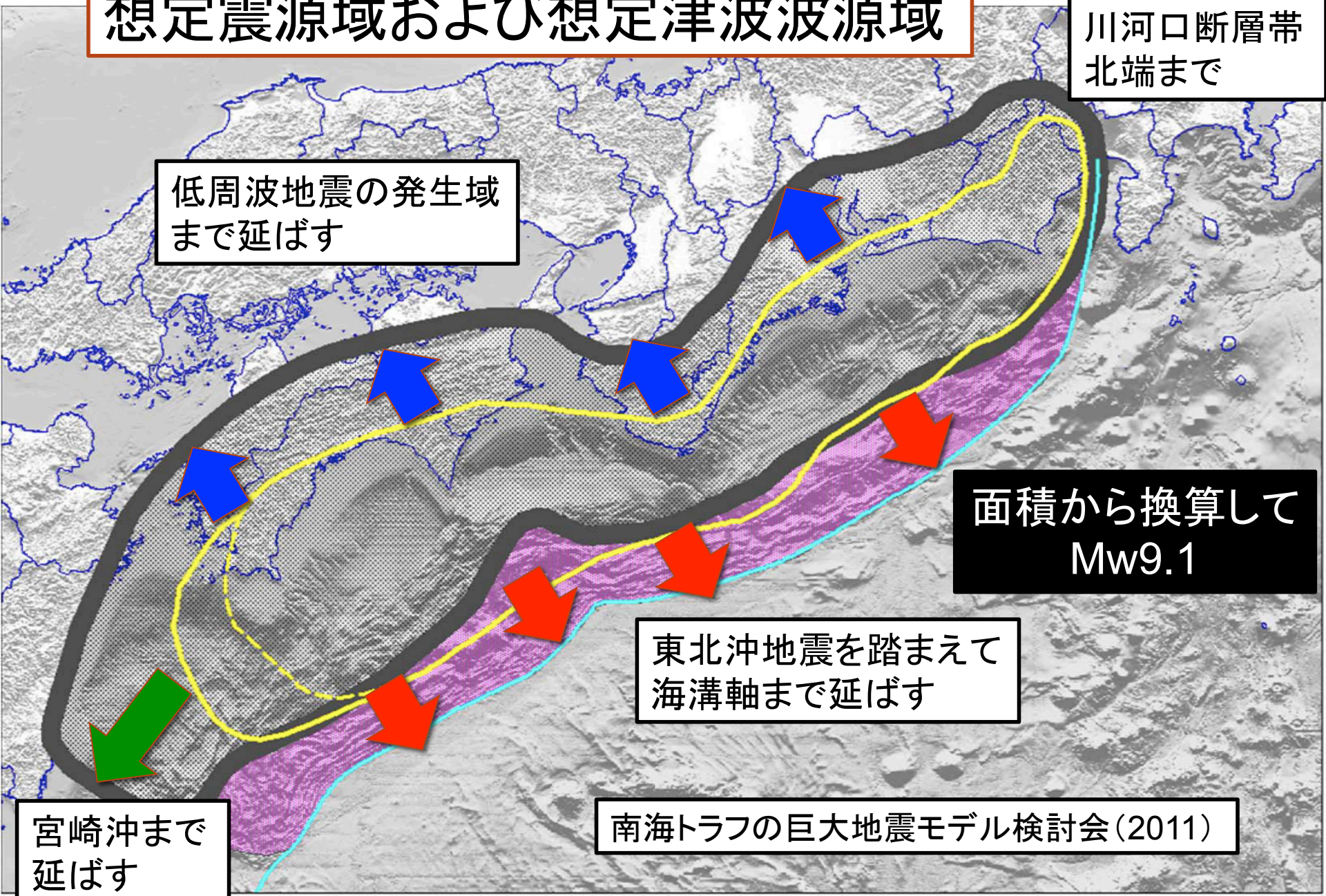
津波堆積物・地殻変動痕跡調査結果のまとめ



南海トラフの巨大地震モデル検討会(2011)

震源域の設定

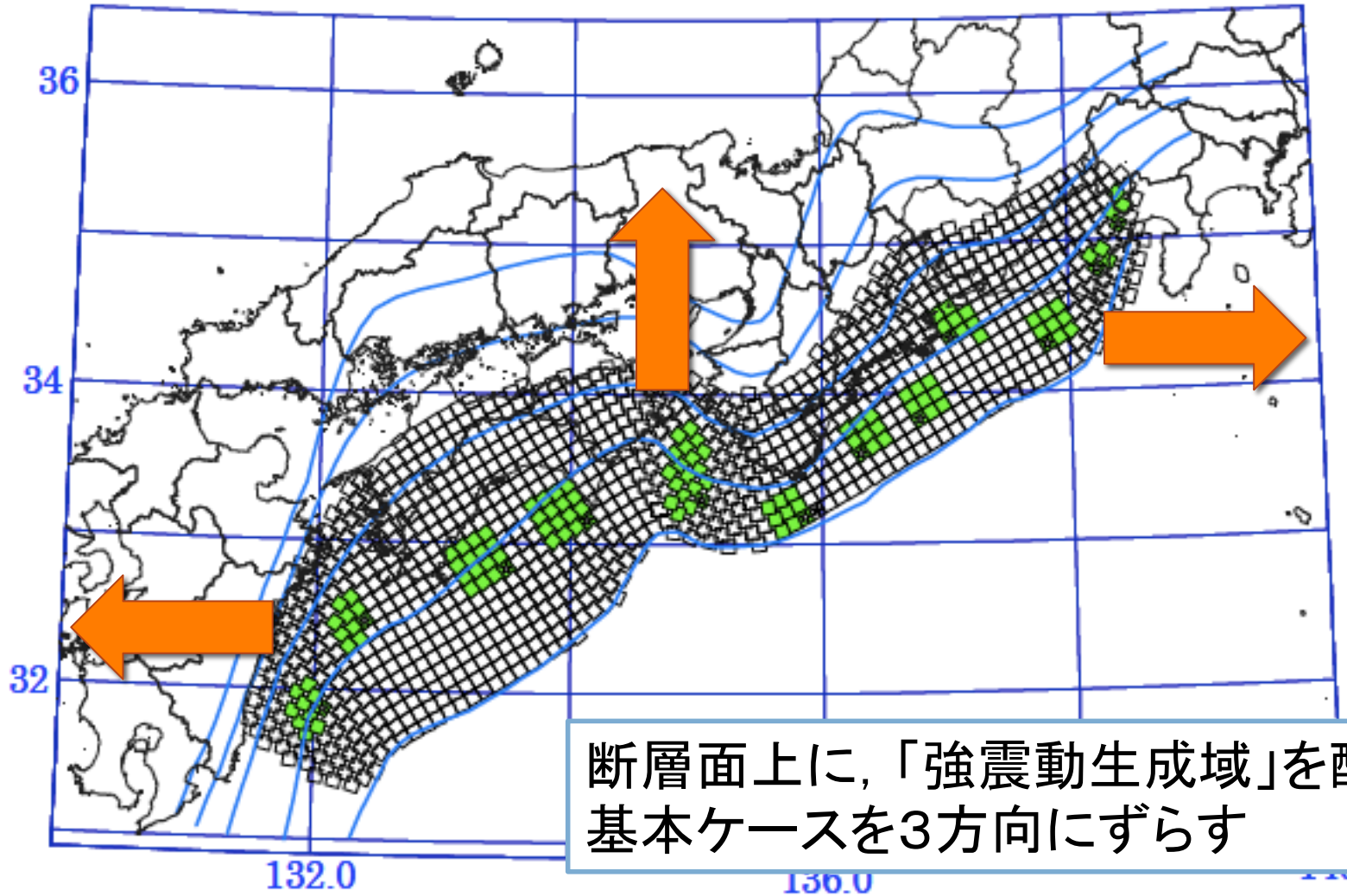
想定震源域および想定津波波源域



強震動計算

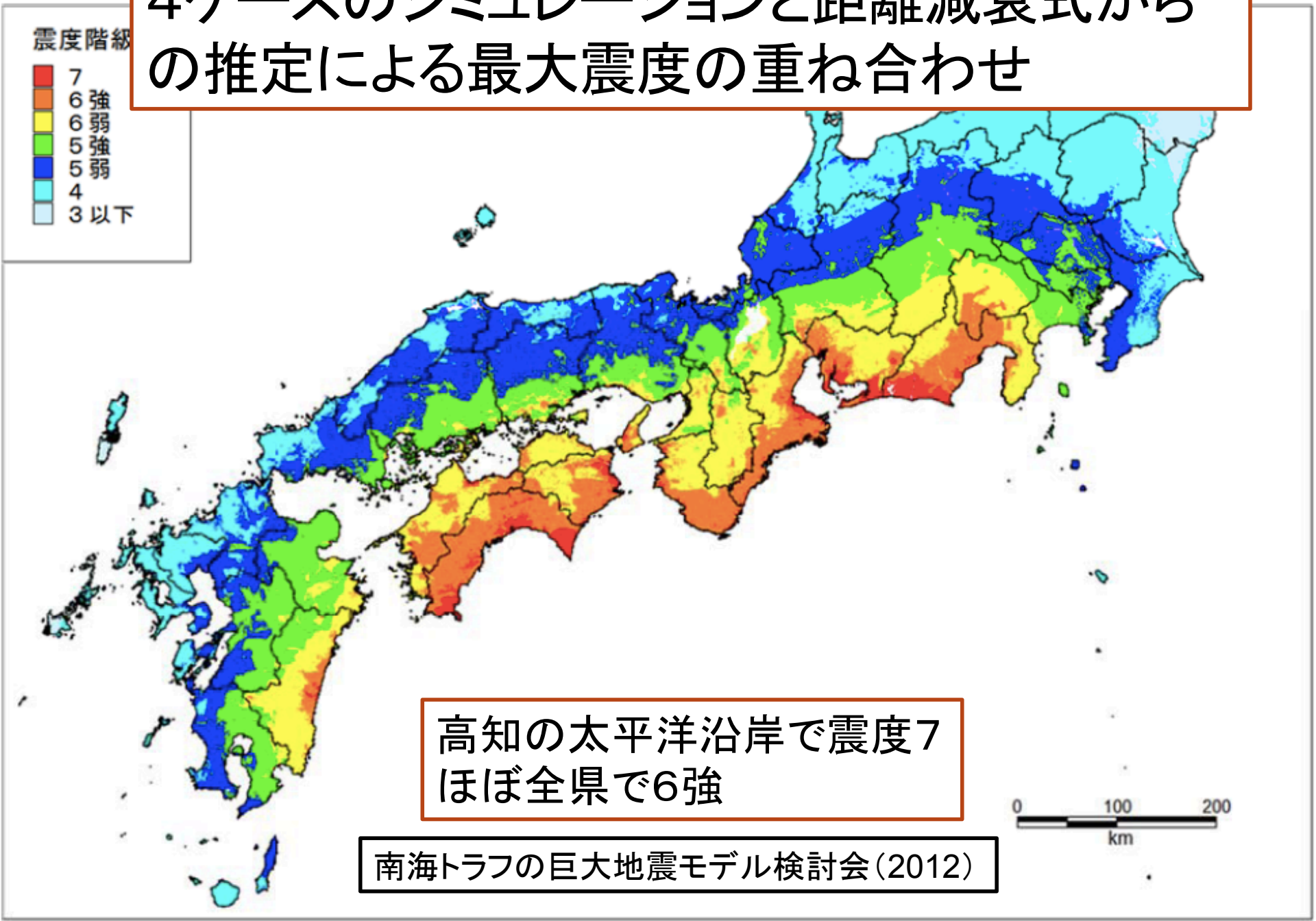
強震動計算のための震源モデル（標準モデル）

南海トラフの巨大地震モデル検討会（2012）



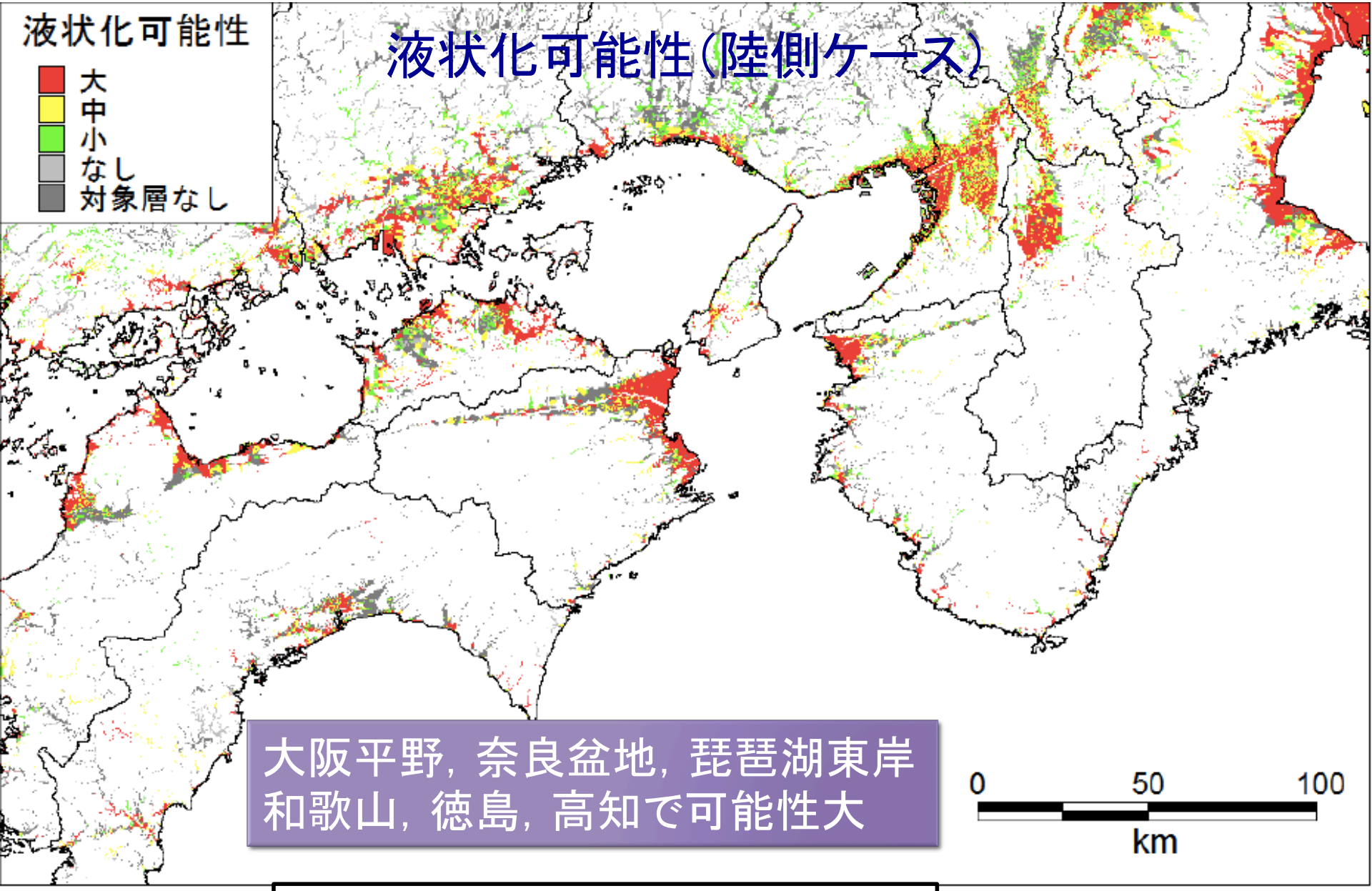
断層面上に，「強震動生成域」を配置
基本ケースを3方向にずらす

4ケースのシミュレーションと距離減衰式からの推定による最大震度の重ね合わせ



高知の太平洋沿岸で震度7
ほぼ全県で6強

南海トラフの巨大地震モデル検討会（2012）

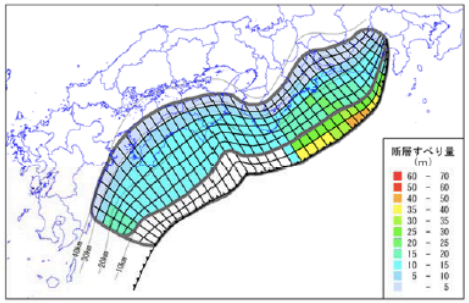


南海トラフの巨大地震モデル検討会（2012）

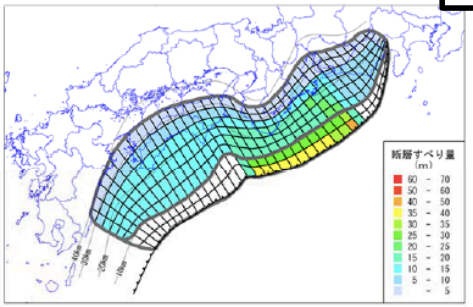
津波高計算

津波断層モデル：全11ケース

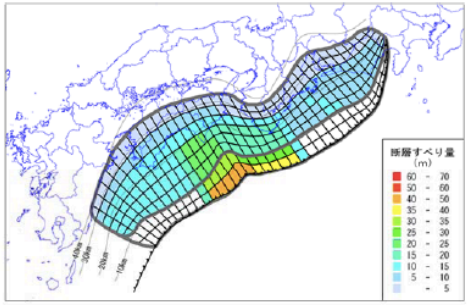
南海トラフの巨大地震モデル検討会（2012）



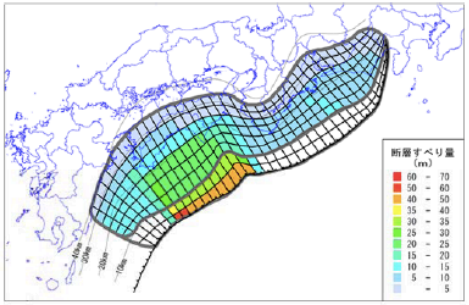
【ケース① 駿河湾～紀伊半島沖に大すべり域を設定】



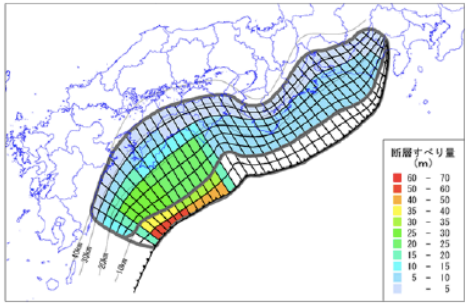
【ケース② 紀伊半島沖に大すべり域を設定】



【ケース③ 紀伊半島沖～四国沖に大すべり域を設定】

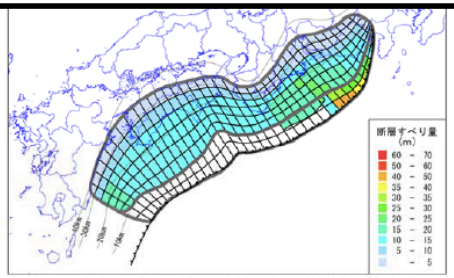


【パターン④ 四国沖に大すべり域を設定】

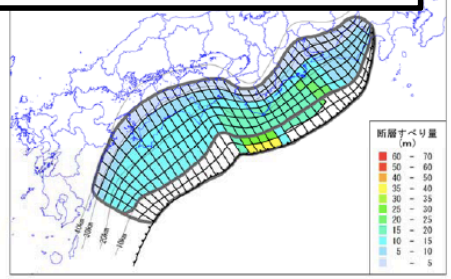


【パターン⑤ 四国沖～九州沖に大すべり域を設定】

オレンジ～赤のところが「大すべり域

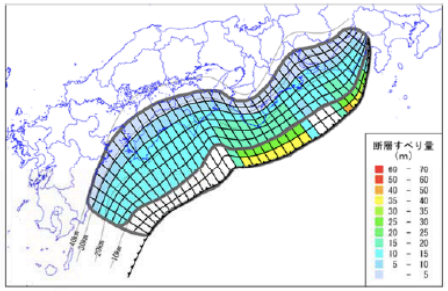


【ケース⑥ 駿河湾～紀伊半島沖に大すべり域＋分岐断層】

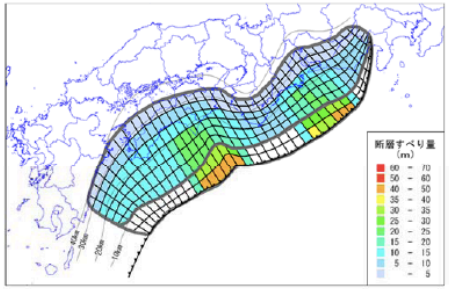


【ケース⑦ 紀伊半島沖に大すべり域＋分岐断層】

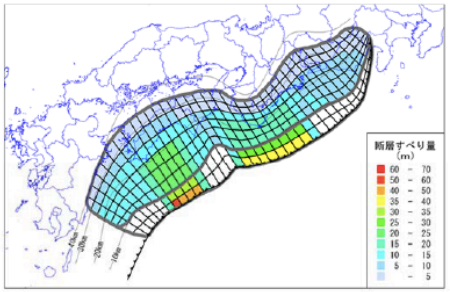
図2.11.3 （3）大すべり域が2箇所のパターン【4ケース】



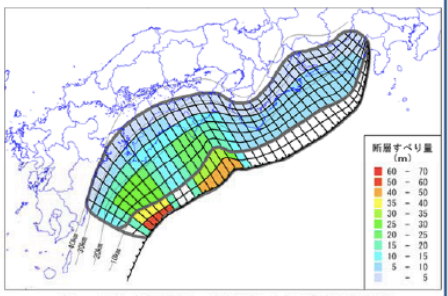
【ケース⑧ 駿河湾～愛知県東部沖、
三重県南部沖～徳島県沖に大すべり域を設定】



【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】

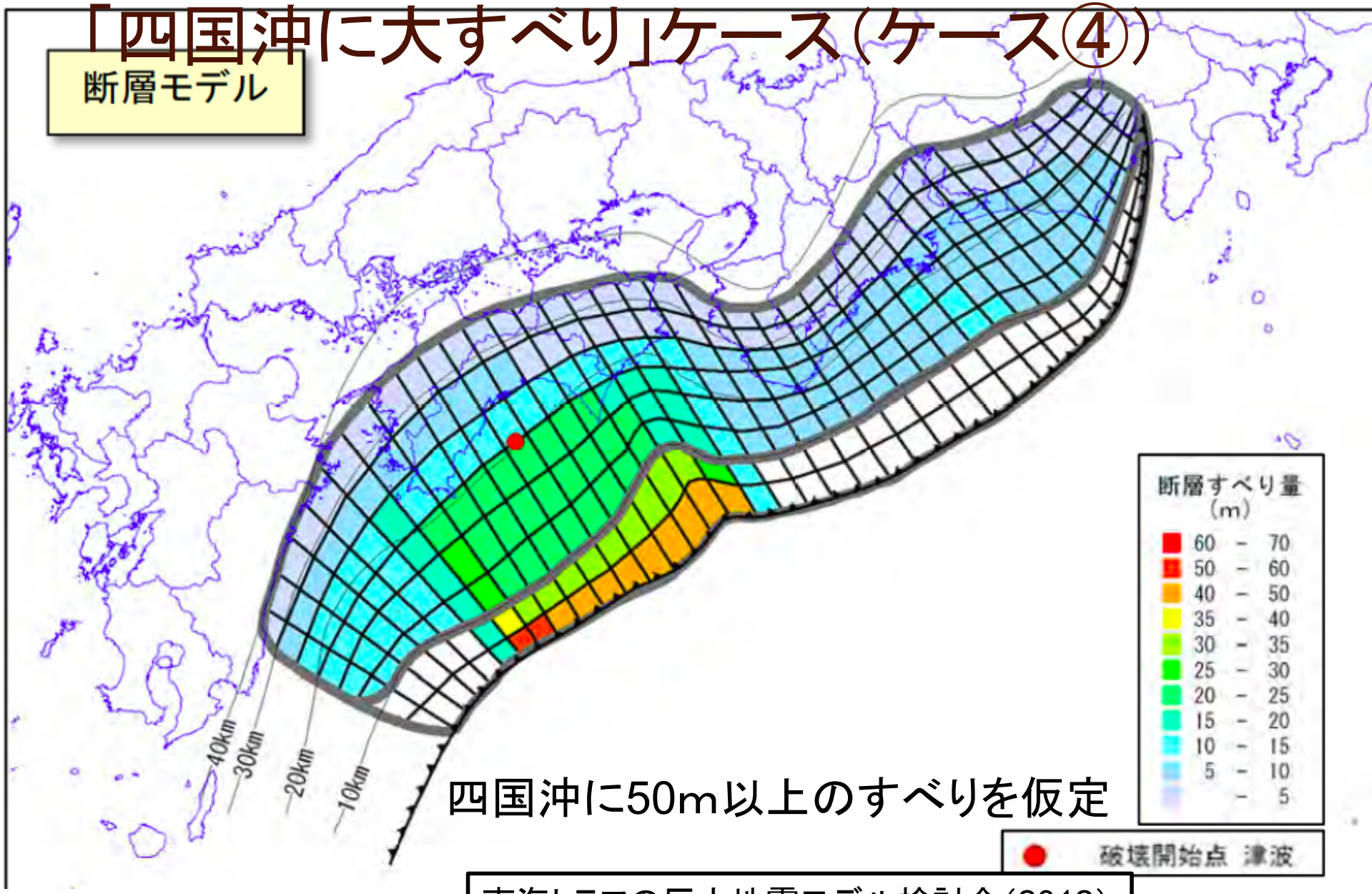


【ケース⑩ 三重県南部沖～徳島県沖、足摺岬沖に大すべり域を設定】



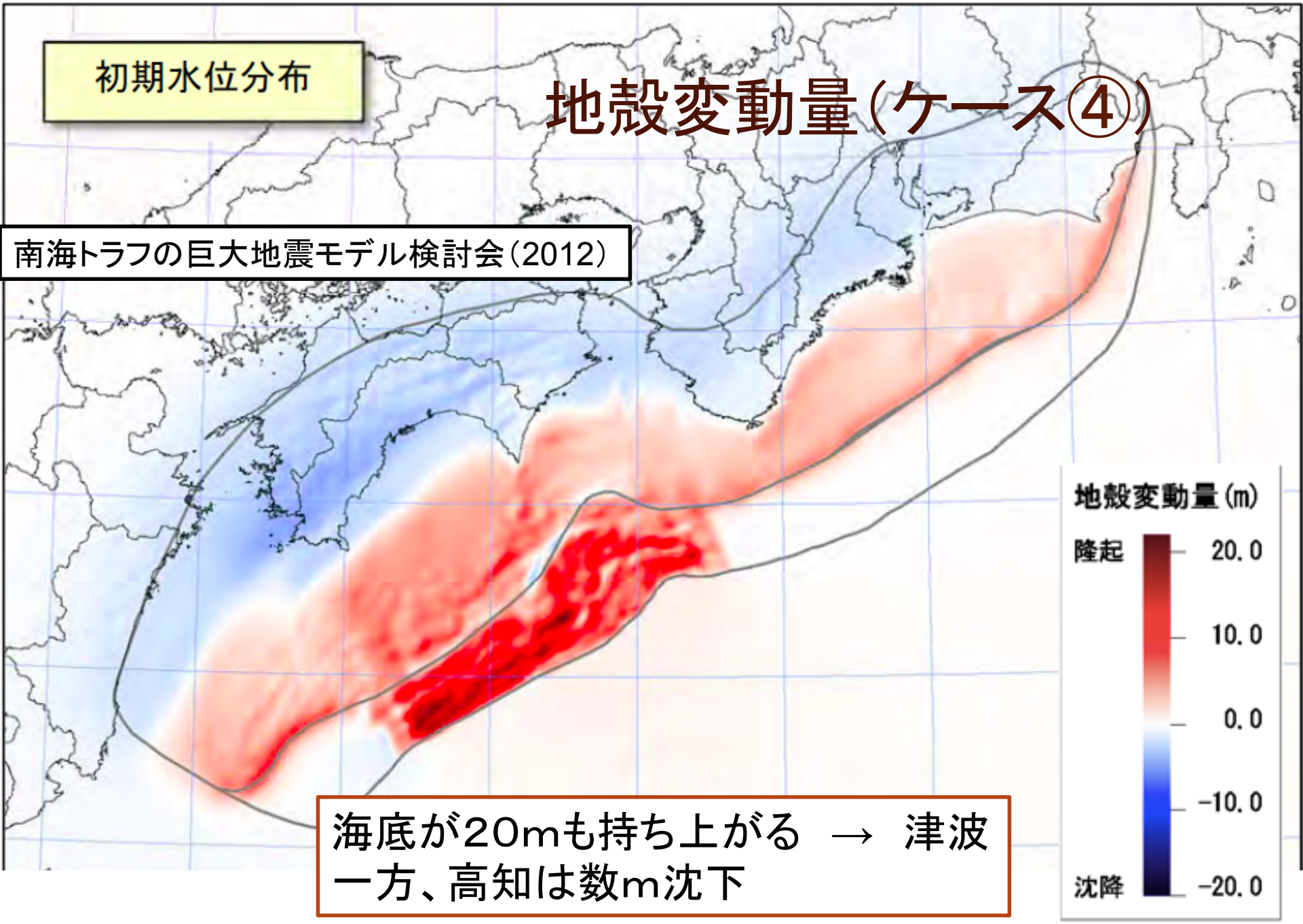
【ケース⑪ 室戸岬沖、日向灘に大すべり域を設定】

「四国沖に大すべり」ケース（ケース④）



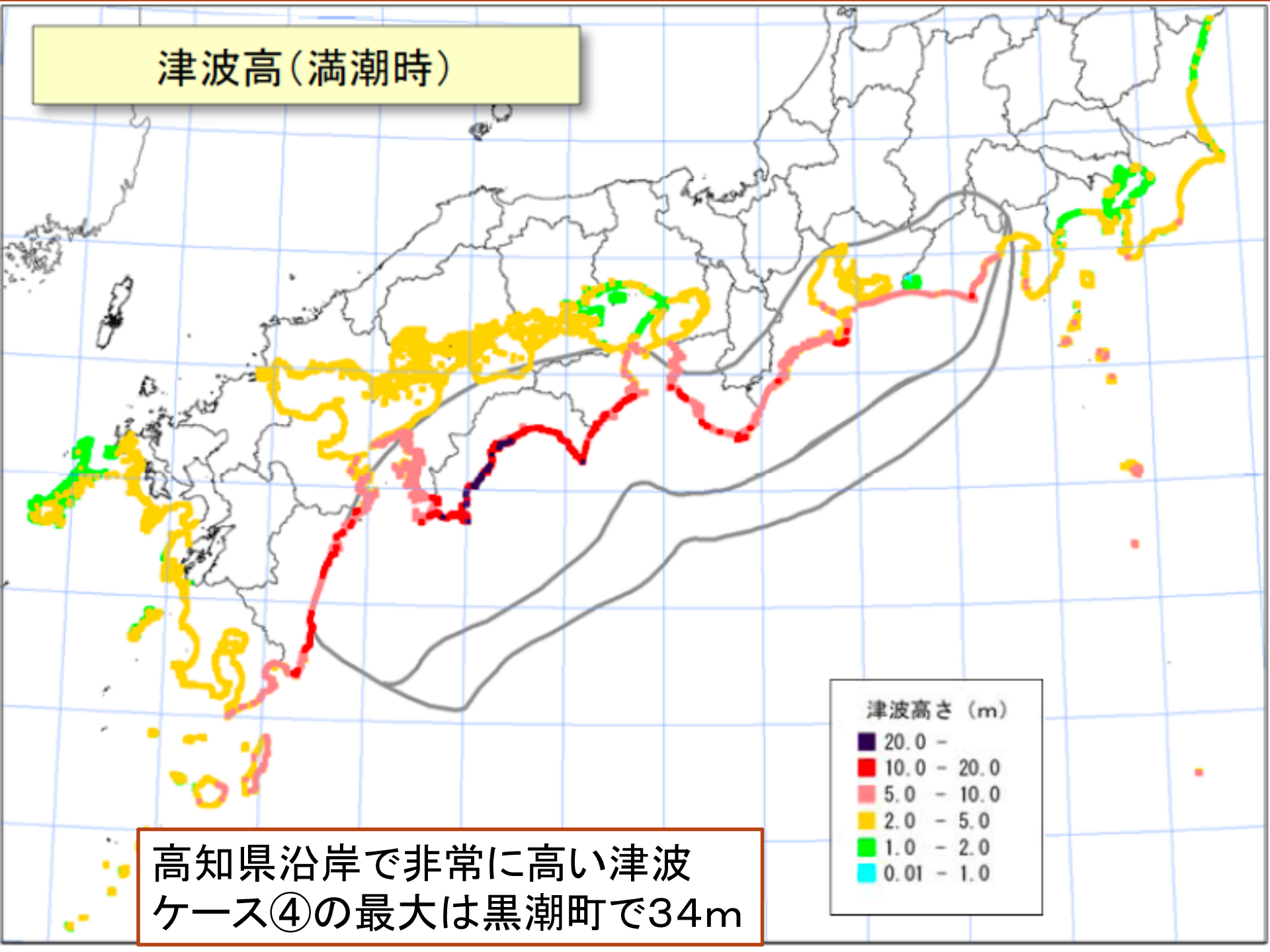
四国沖に50m以上のすべりを仮定

南海トラフの巨大地震モデル検討会（2012）



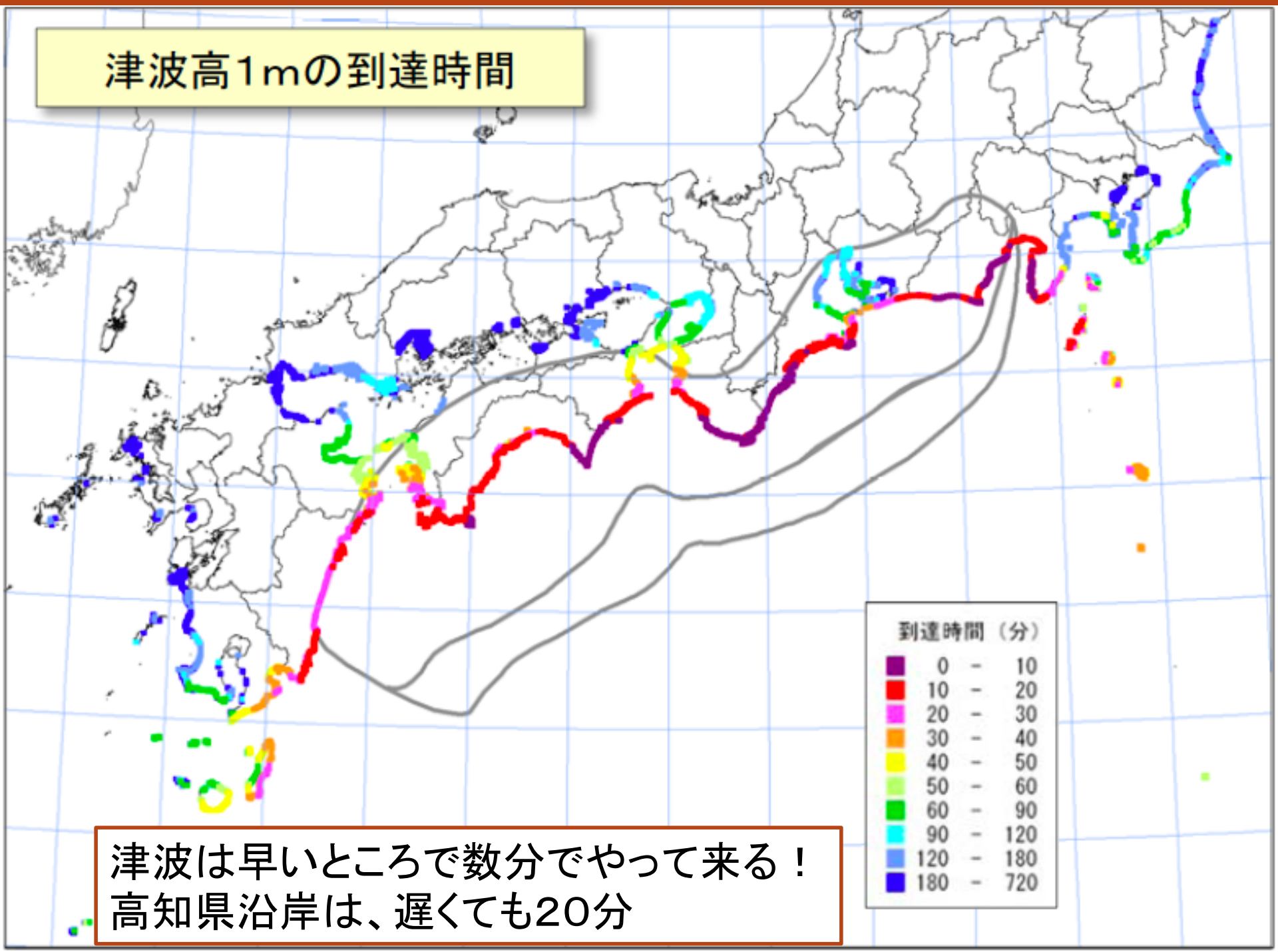
海底が20mも持ち上がる → 津波
一方、高知は数m沈下

津波高（満潮時）



高知県沿岸で非常に高い津波
ケース④の最大は黒潮町で34m

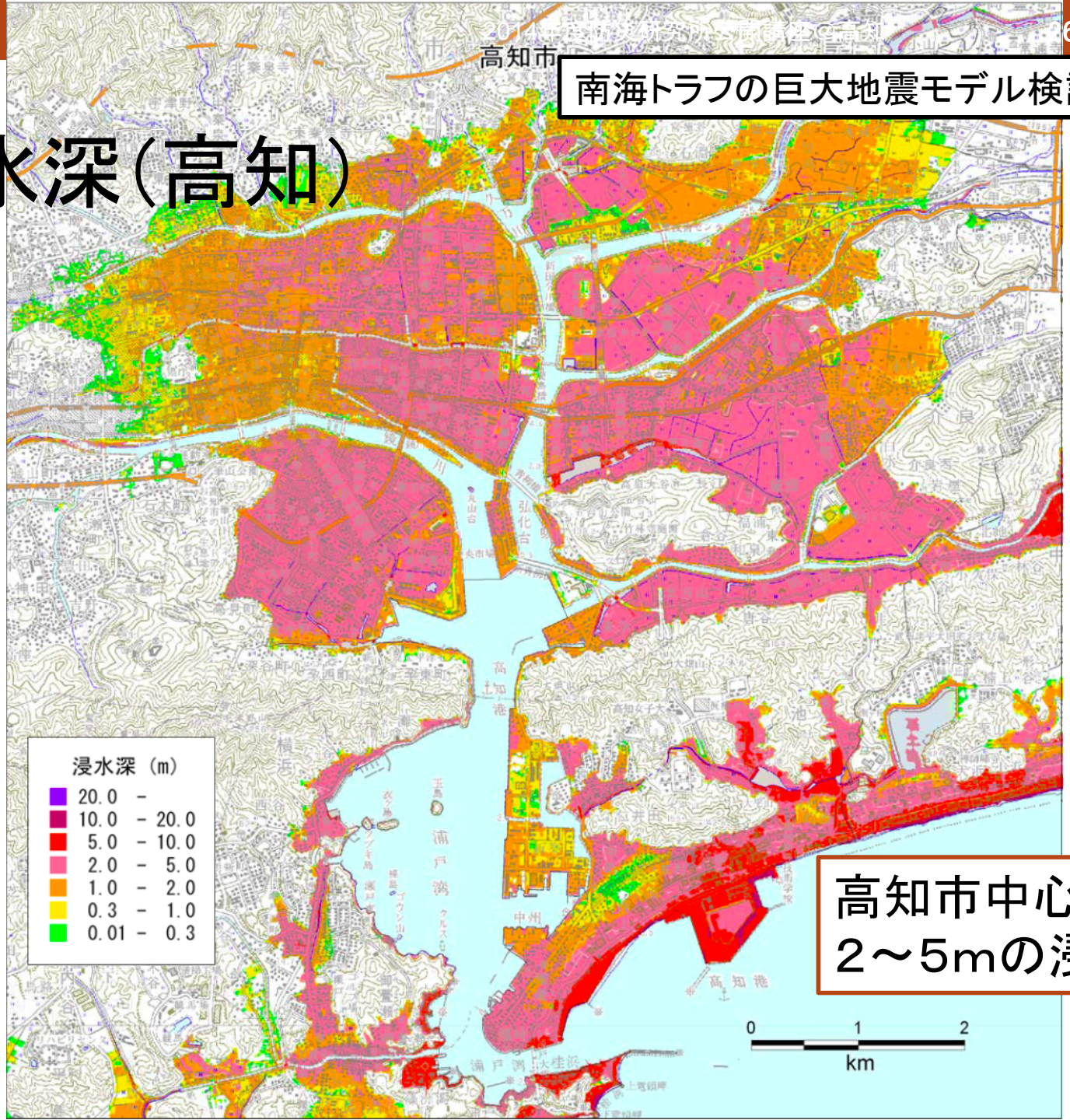
津波高1mの到達時間



津波は早いところで数分でやって来る！
高知県沿岸は、遅くても20分

浸水深（高知）

南海トラフの巨大地震モデル検討会（2012）



高知市中心部でも
2～5mの浸水

モデル検討会報告のまとめ

- 過去のデータの収集・整理
  - 過去極めて大きい地震が発生（約2000年前と1707年）

南海トラフでの最大級の地震の震源モデルの提案

- M9の地震が発生した場合の揺れと津波を推定
  - 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

- 残された課題　→　長周期地震動

予測可能性調査部会報告

ミッション

- 想定する巨大地震の発生時期が予測できるか否か
- 想定東海地震の前兆すべりが検出された場合に，連動して地震が発生する範囲の考え方
- 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、科学的知見を収集、整理

部会での主なトピック

- 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

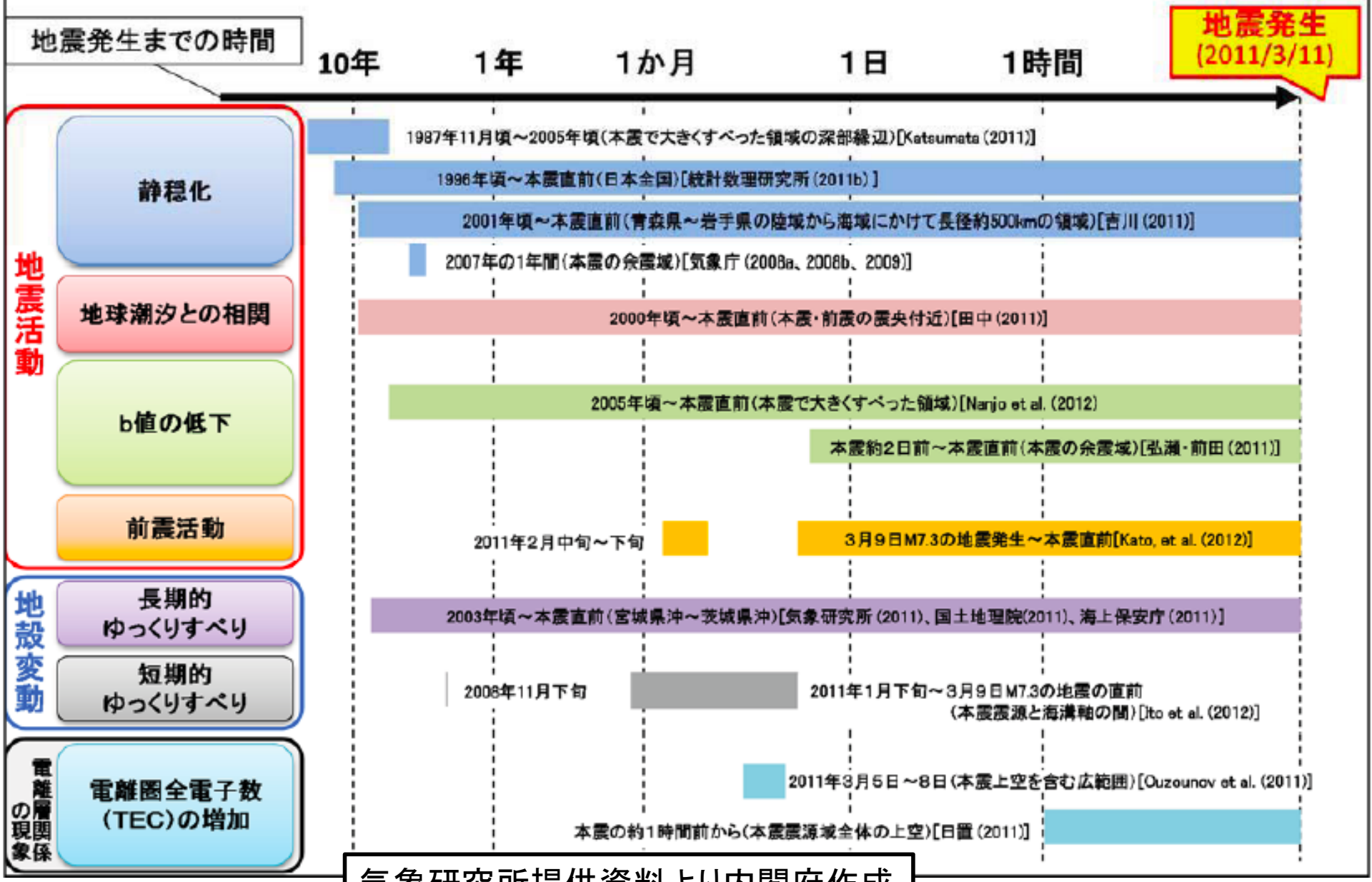
30 May 2011

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

ICEFの「提案」の考え方（抜粋）

- 予知と予測を定義する
  - Prediction（予知）＝決定論的
  - Forecast（予測）＝確率的
- 予測は確率が用いられるべきである
  - 決定論的予知は困難である
    - 信頼できる診断的前兆現象(Diagnostic Precursor)は見つかっていない
    - それでも基礎的研究は継続すべきである
    - 「ゆっくりとした動き」に注目すべき

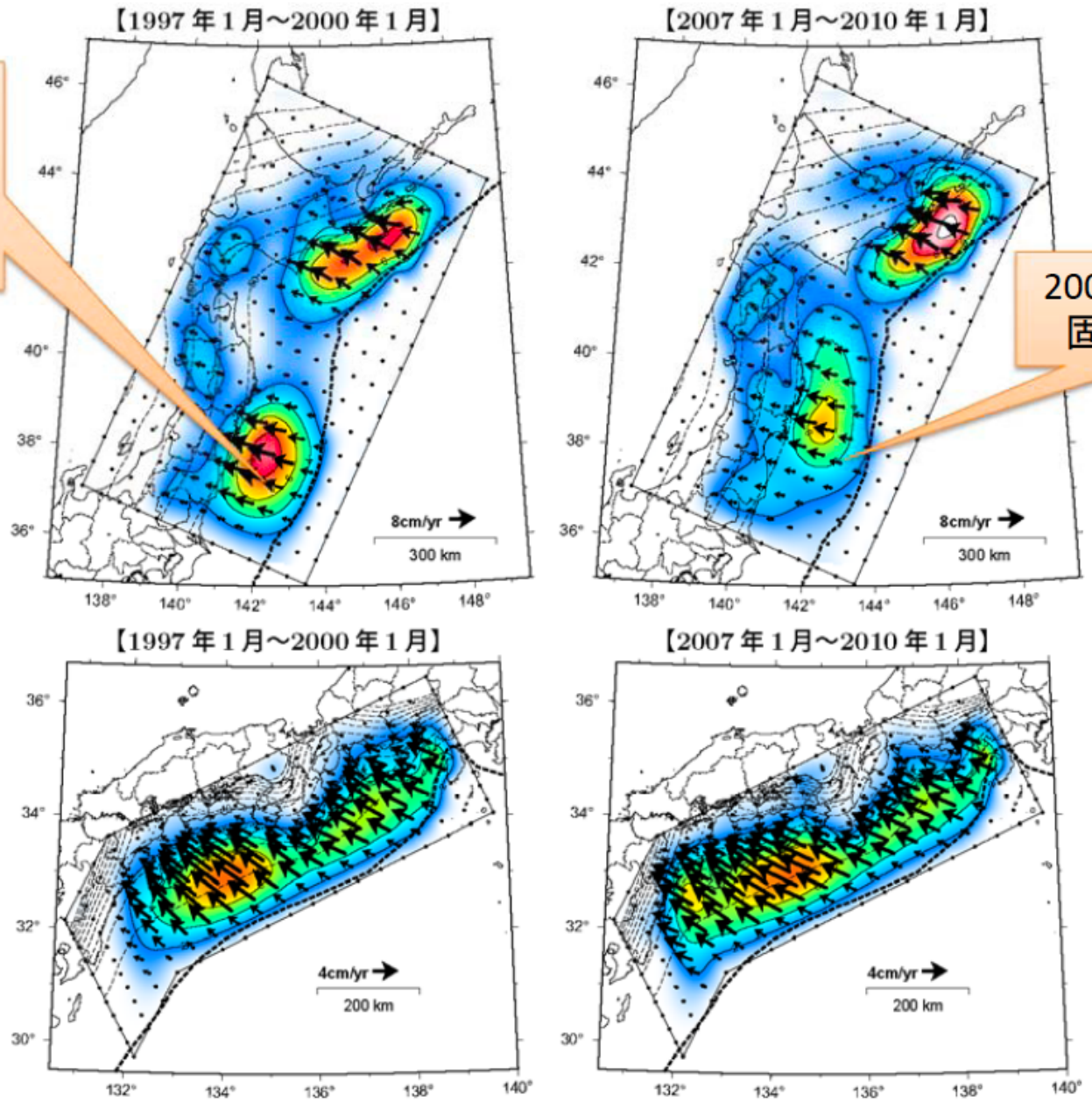
平成23年東北地方太平洋沖地震に先行して観測された現象の発現期間



気象研究所提供資料より内閣府作成

1990年代末～2000年代初頭にかけては固着が強い

東北日本および西南日本のすべり欠損分布（国土地理院，2011）



2000年代末は固着が弱い

松澤委員資料

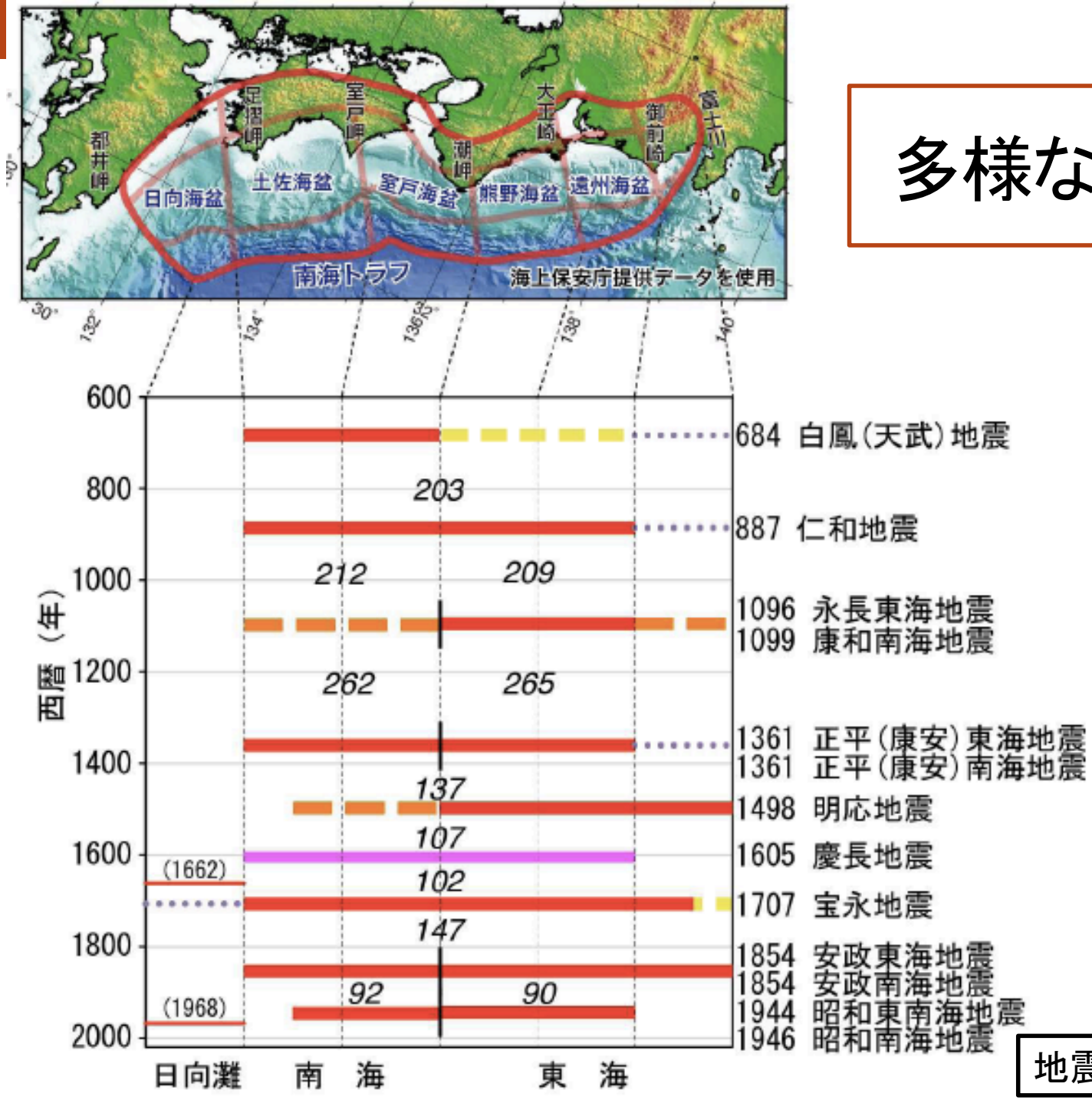
・それぞれの期間の 3 年間の平均変動速度からすべり欠損を推定している。
・2007 年 1 月～2010 年 1 月は、この期間内に発生した 2008 年 5 月 9 日茨城県沖の地震、2008 年 7 月 19 日福島県沖の地震の影響は取り除いてすべり欠損を推定している。ただし余効変動の影響は取り除いていない。

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。

多様な地震活動



地震調査委員会(2013)

予測可能性調査部会の結論

新しい概念はない！
近年の考え方をまとめたもの

- 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

最近の進展

地震・津波観測監視システム（DONET）

JAMSTEC資料

-先端技術を用いた地震津波の常時監視-

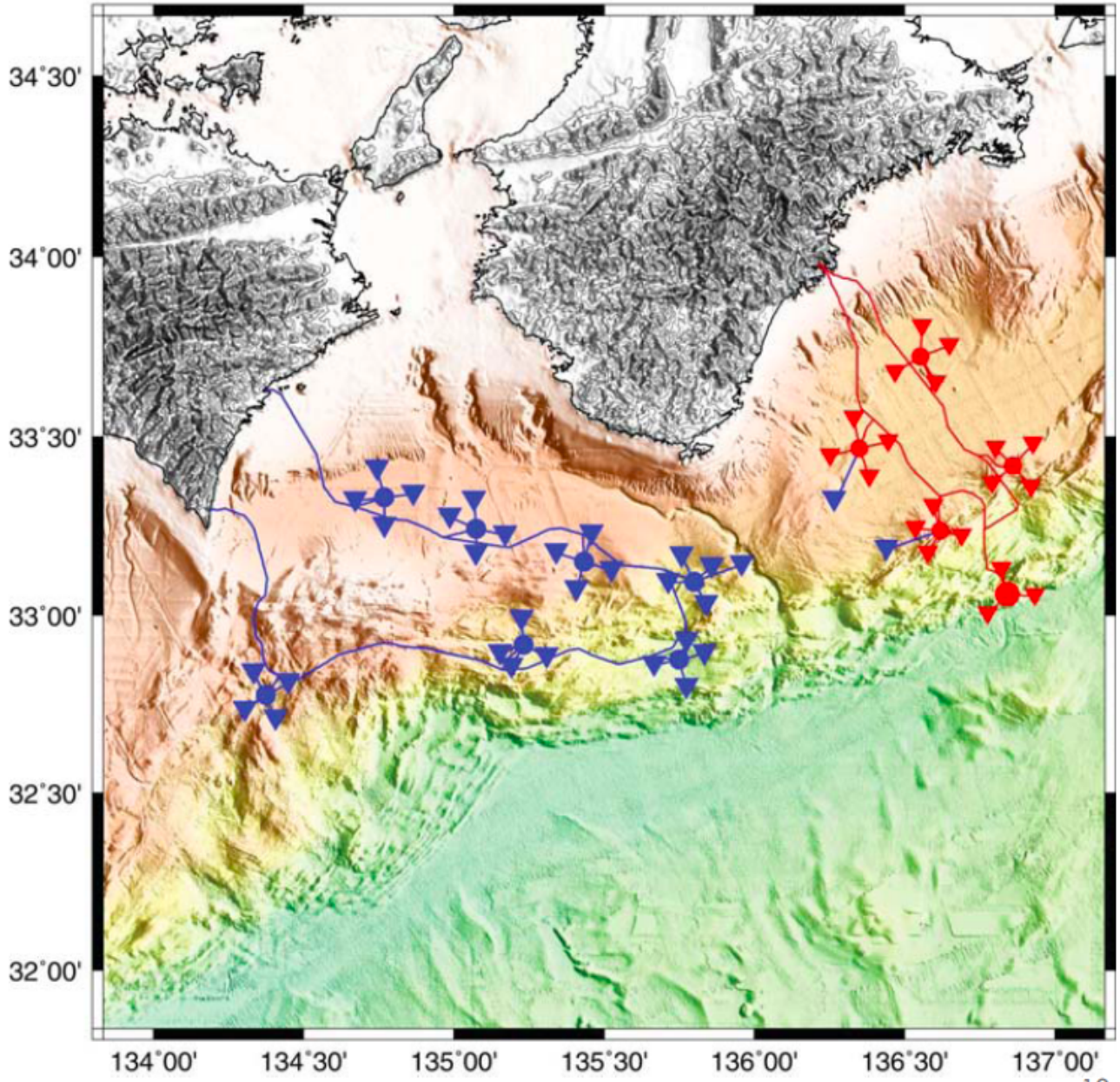
新しい地震・津波観測監視システム（DONET2）

システム構想
（カッコ内はDONET1）

- 基幹ケーブル長：
  約350km（約250km）
- 分岐装置：
  7式（5式）
- ノード：
  7式（5式）
- 観測装置：
  29式（20式+2式）

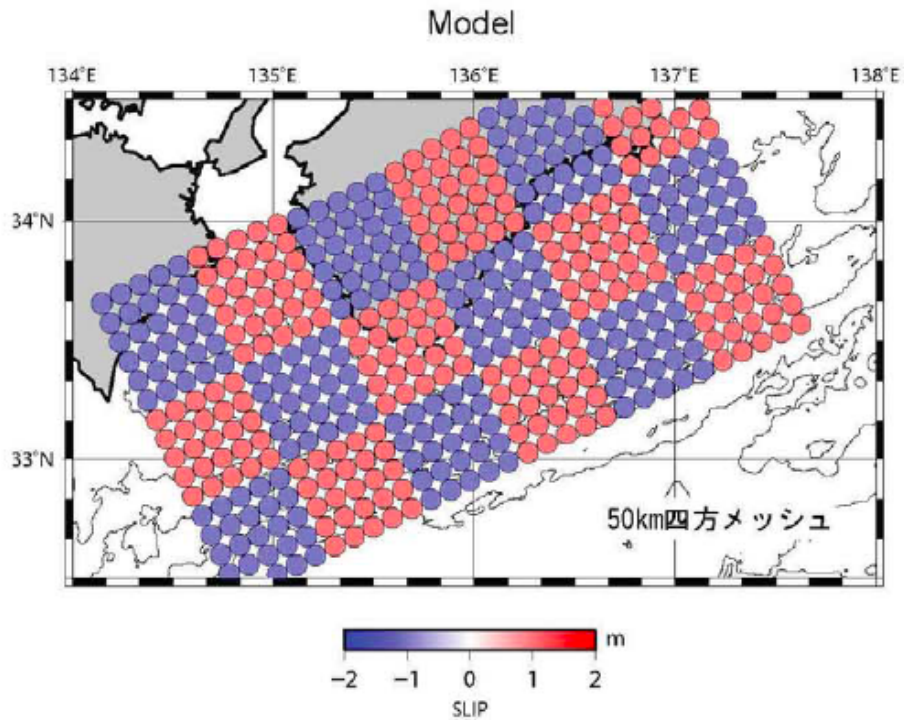
H27年度中に設置完了の計画

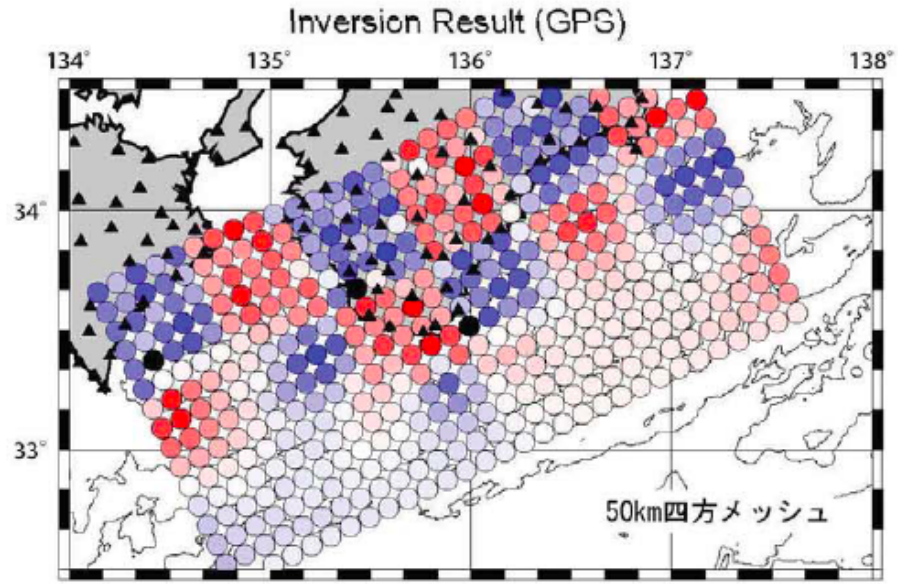
※現在、最終ルート決定のための

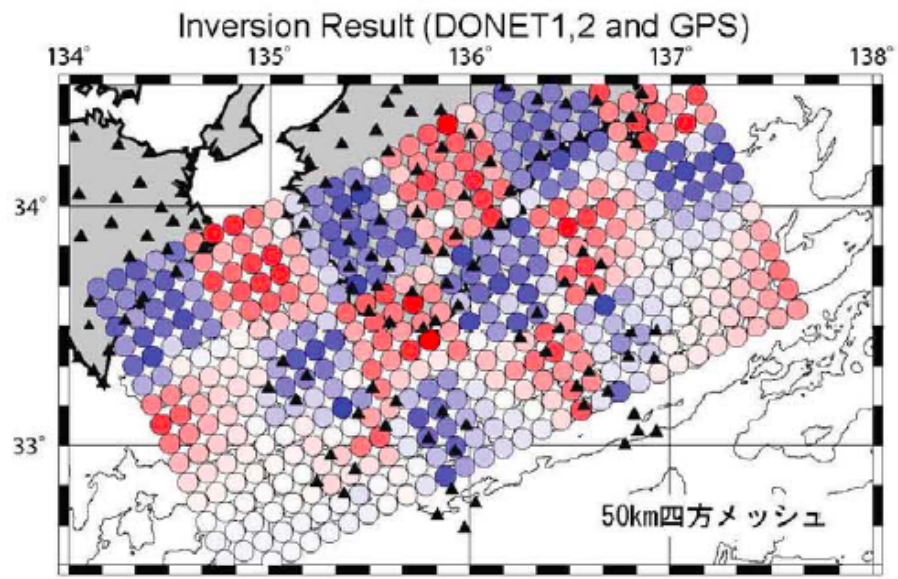


JAMSTEC資料

プレート境界でのすべりの検知能力





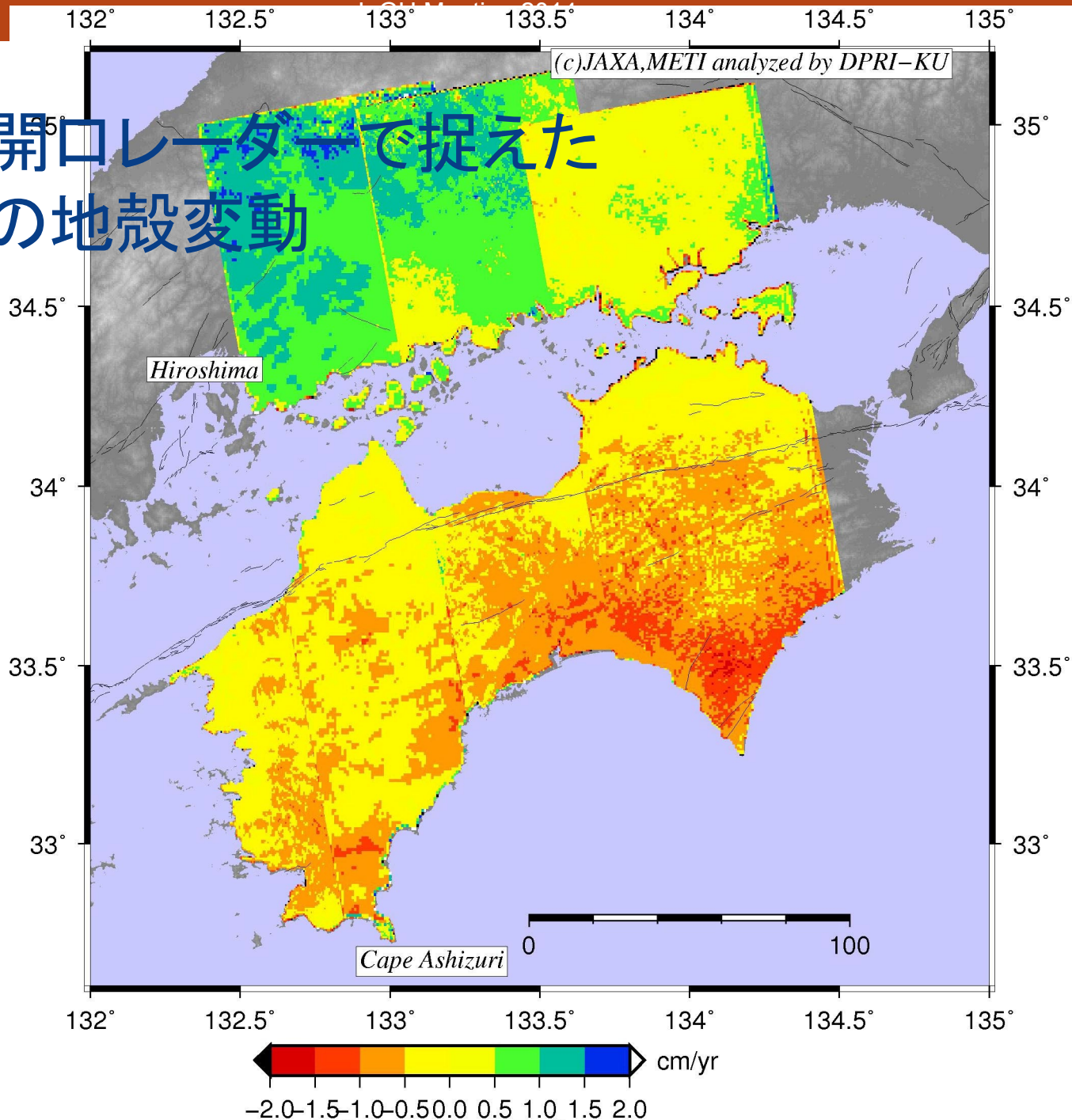


プレート境界面上に±１mのすべり分布から得られる観測点での理論的な地殻変動量に、ＧＰＳ水平成分：１σ=１mm、ＧＰＳ鉛直成分：１σ=３mm、ＰＧ鉛直成分：１σ=１０mmのガウス分布のノイズを与え、それを観測データとしてインバージョン

JAMSTEC資料

「だいち」合成開口レーダーで捉えた四国の4年間の地殻変動

- 4年間のデータを解析し、重ね合わせ
- 平均的な速度を計算
- 西南西上空の衛星との距離変化
- GPSデータで補正
- 局所的な変動検出に期待



HIIAロケット24号機打ち上げ：2014年5月24日

だいち２号に期待

（c）橋本学

地震の科学は役に立つか？

地震学と防災行政の乖離

- 地震学のジレンマ
  - 検証に長い時間と資源が必要
  - 防災に貢献したい地震学
- 防災行政の問題点
  - 科学としての検証を待てない防災行政
  - 「無謬性神話」

- 「検証不十分な科学に立脚した防災」の認識を！

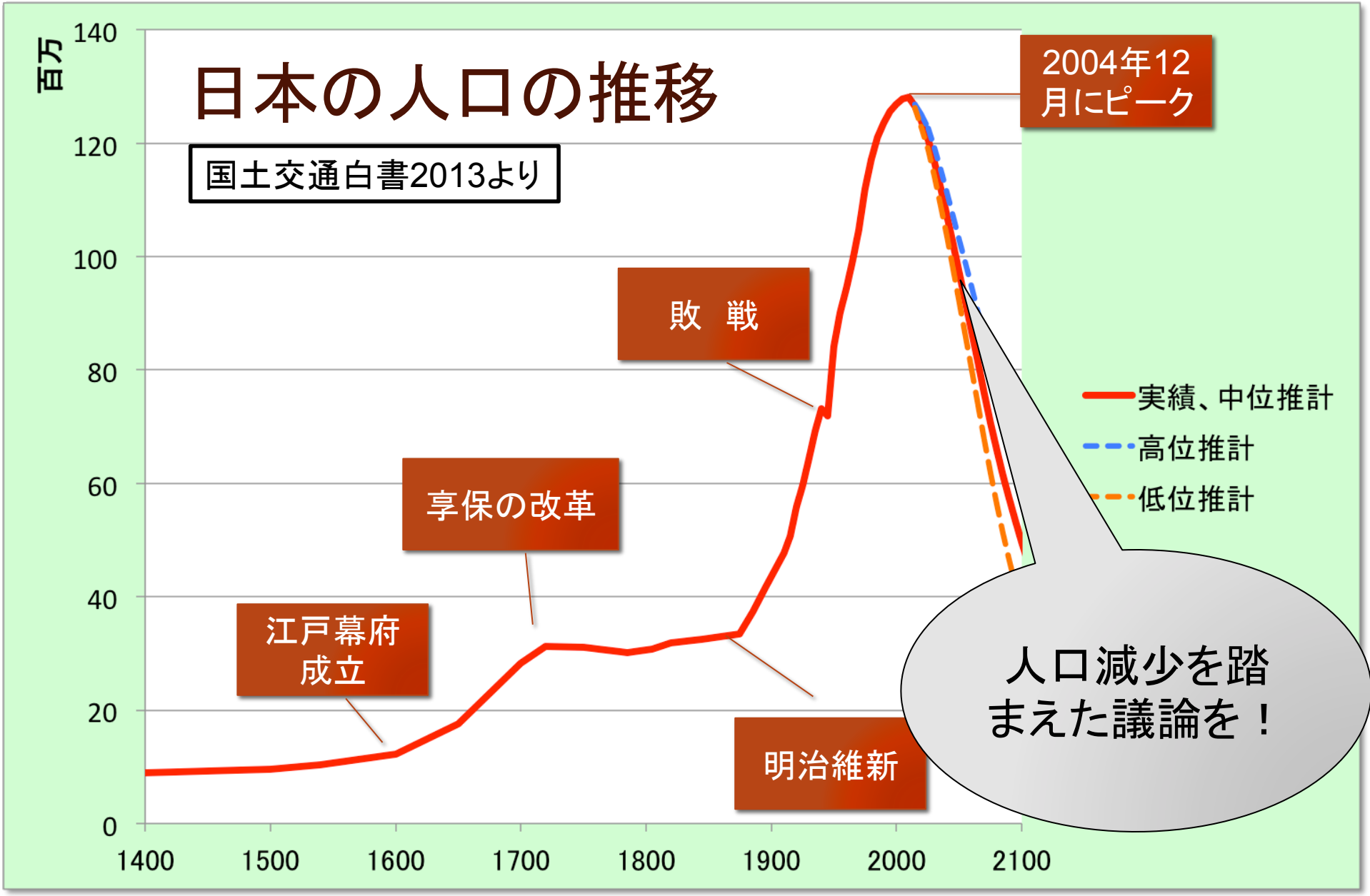
東日本大震災の教訓

- 科学技術に完全は無い

- 自分で判断する能力が生死を分ける

まとめ

- 進みつつあること
  - 陸・海域の観測網の充実
  - ゆっくりすべりの観測・研究の進展
  - 構造の高分解能・高精度の解明
- 次の地震で新しい現象を観測する期待大
- しかし、「予知」には道遠し
- *「科学」で人を泣かせてはいけない！*
  - *「釜石の悲劇」を繰り返さない！*
- 「予知」に頼らず、地道な対策を　さらに→


日本の人口の推移
国土交通白書2013より
百万
140
120
100
80
60
40
20
0
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000
2100
2004年12月にピーク
敗　戦
享保の改革
江戸幕府成立
明治維新
実績、中位推計
高位推計
低位推計
人口減少を踏まえた議論を！