

南海トラフの巨大地震モデル検討会
中間とりまとめ

参考資料集
(委員提供資料集)

平成23年12月27日

南海トラフの巨大地震モデル検討会

委員提供資料一覽

今村文彦 委員	p. 1
岡村眞 委員	p. 4
岡村行信 委員	p. 14
金田義行 委員	p. 25
橋本学 委員	p. 49
平川一臣 委員	p. 53
平原和朗 委員	p. 70
福和伸夫 委員	p. 73
古村孝志 委員	p. 75

有識者提供資料一覽

寒川旭 氏（産業技術総合研究所招聘研究員、理学博士）	p. 87
-------------------------------------	-------

南海トラフの巨大地震モデル検討会

今村委員提供資料

第1回会合

平成23年8月28日

南海トラフの巨大地震モデル検討会

- 東北大学・今村文彦
- 被害推定の向上
 - 津波の波源モデル(海溝型地震の場合)
 - 津波地震タイプ, 分岐断層タイプ
 - 海底地滑りなど
- より正確で多彩なハザードの評価
- 安全レベルの議論

ハザード・被害推定の向上

- 想定地震津波; 過去最大から可能最大
- 波源推定の向上
 - 津波の波源モデル(海溝型地震の場合)
 - 津波地震タイプ, 分岐断層タイプ
 - 海底地滑りなど
- より正確で多彩なハザードの評価
 - 浸水域(土地利用状態, 粗度, 津波先端条件) + 流速(図-1), 流体力, 継続時間(図-2), 最大波高出現時間
 - 来襲状況
 - 沿岸施設の役割(保全されるか? 被害されるか?)
 - 漂流物・土砂移動をどうするのか?

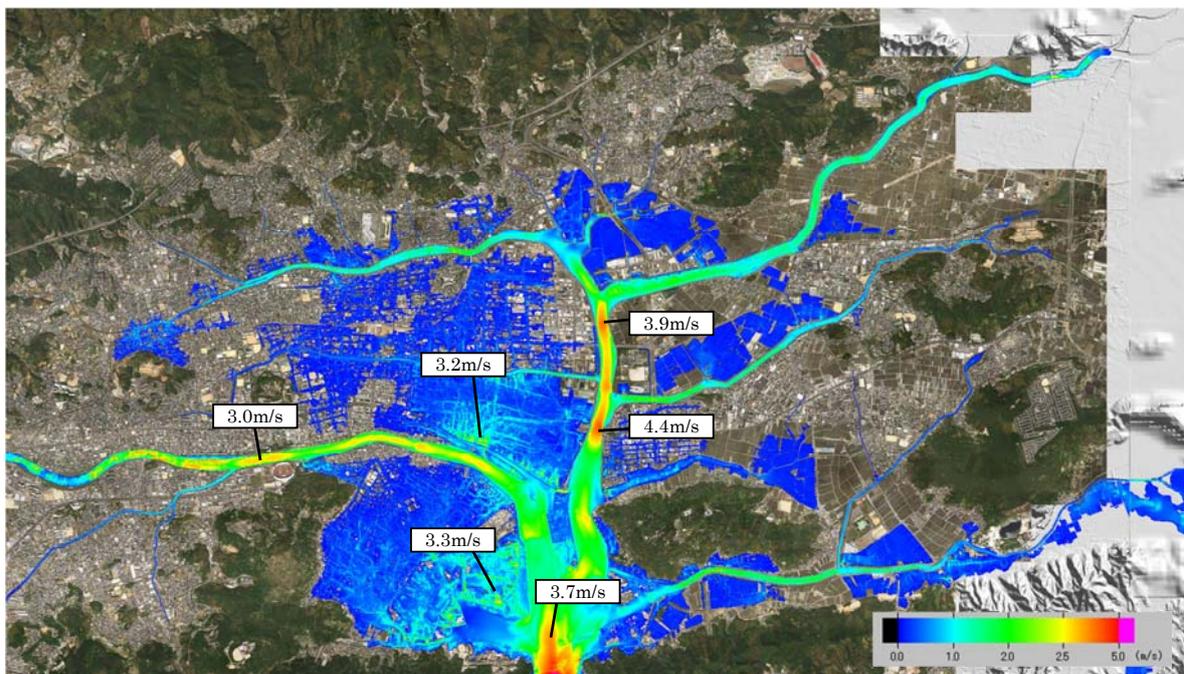


図-1 日向灘を含む宝永(1707)地震[CASE03](時間差を伴った地殻変動)
高知市詳細領域最大流速分布

※初期潮位はT.P. 0.91mとして地震発生から6時間目までの最大値を求めた。

津波波形結果

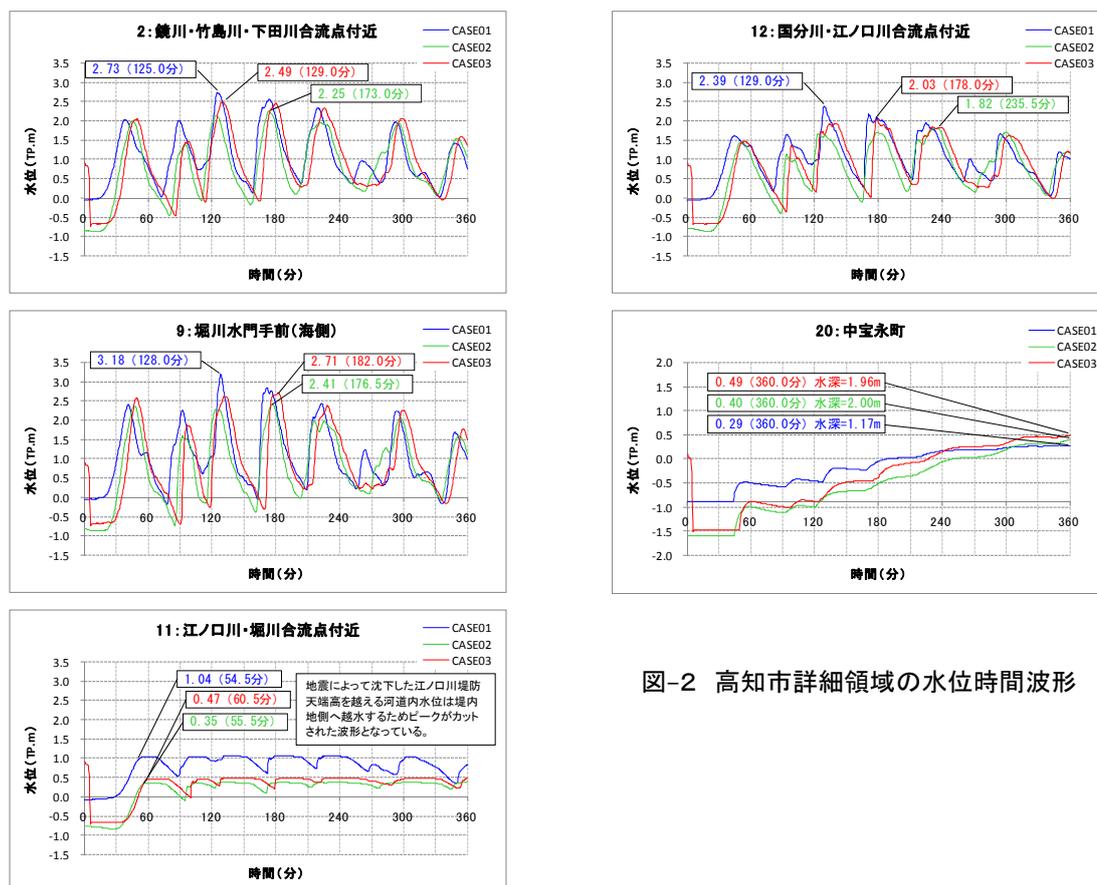


図-2 高知市詳細領域の水位時間波形

安全レベルの議論

- 安全レベルの議論
 - 何をどの程度まで守るのか？
 - 抑止力, 軽減力, 回復力の向上
 - という観点から, 目標レベルを議論する必要がある
- リスクの評価と認知
- 効果的な減災事業の展開

南海トラフの巨大地震モデル検討会

岡村真委員提供資料

第2回会合

平成23年10月3日

2-2 過去の地震発生履歴から見た地震サイクルの多様性の評価



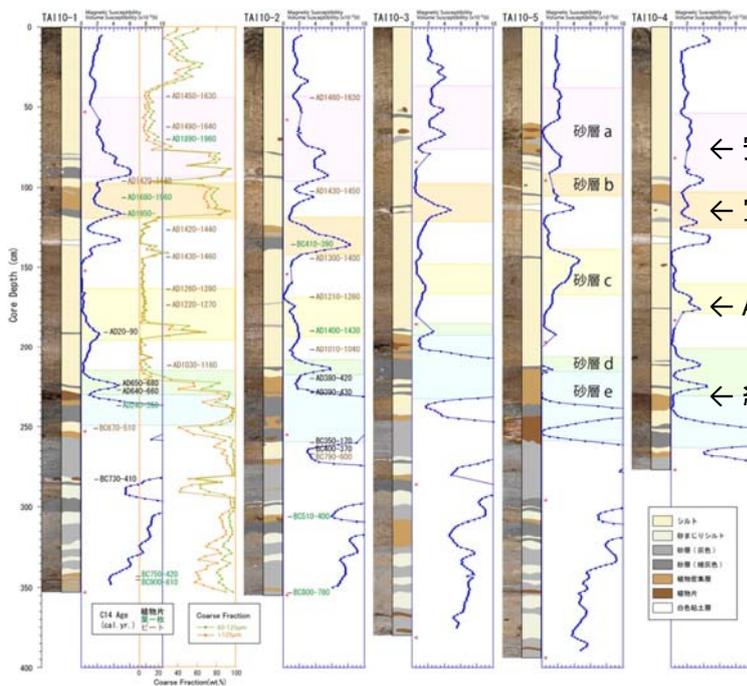
南海トラフ沿岸域の湖沼に残された津波堆積物から、過去の南海地震の履歴を明らかにする。

過去数千年間という時間間隔の中で、地震サイクルを検討

22年度の成果 (1) 調査地点



22年度の成果 (2) 四国東岸、田井ノ浜の池



田井ノ浜の池のコア試料

4~5回のイベントがあるが、年代は確定できていない。

← 安政?

← 宝永?

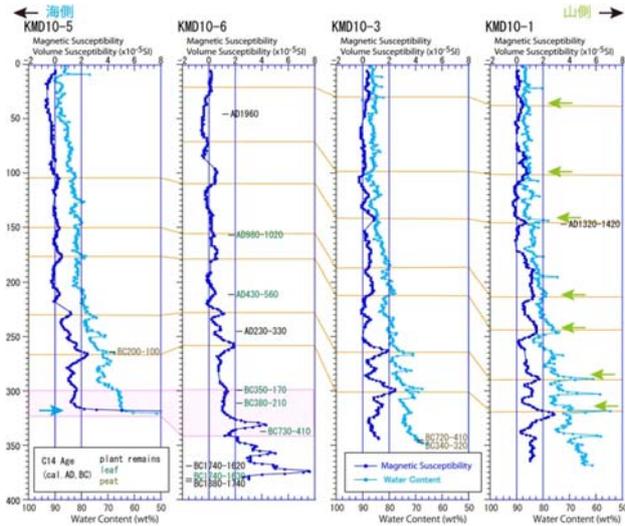
← AD1000年以降

← 約2000年前?

コア試料の上位2mは主に泥、下位1.5mは主に砂によって構成されている。

約2000年前を境界に、堆積環境が大きく変化

22年度の成果 (3) 四国東岸、蒲生田の池

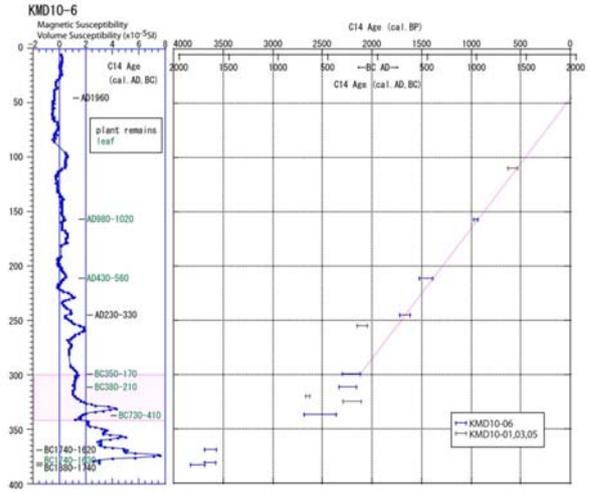


蒲生田の池のコア試料、帯磁率と含水率

約2000~2500年前に一回のイベント。
このイベントにより、約1000年分の下位の地層が削り込まれ欠落している。

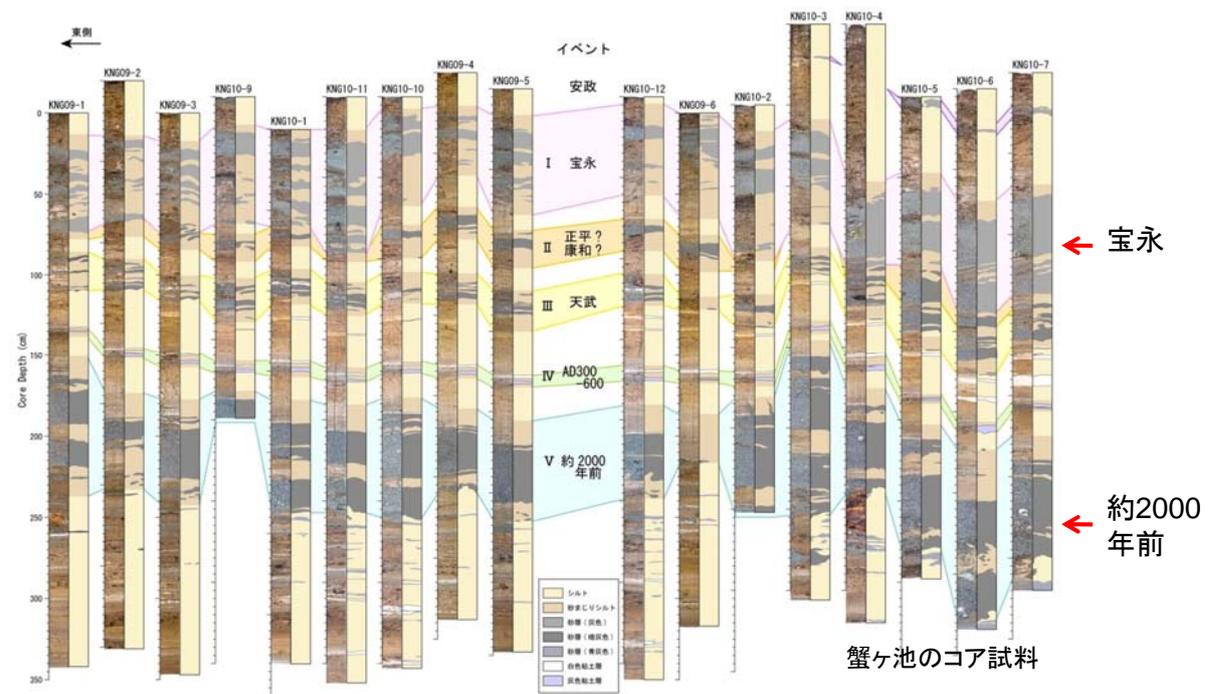
約2000~2500年前にイベント一回

過去2000年間はイベントなし。
山側からの小さい洪水は見られるが、静かに堆積作用が継続している。



蒲生田の池のコア試料、年代測定結果

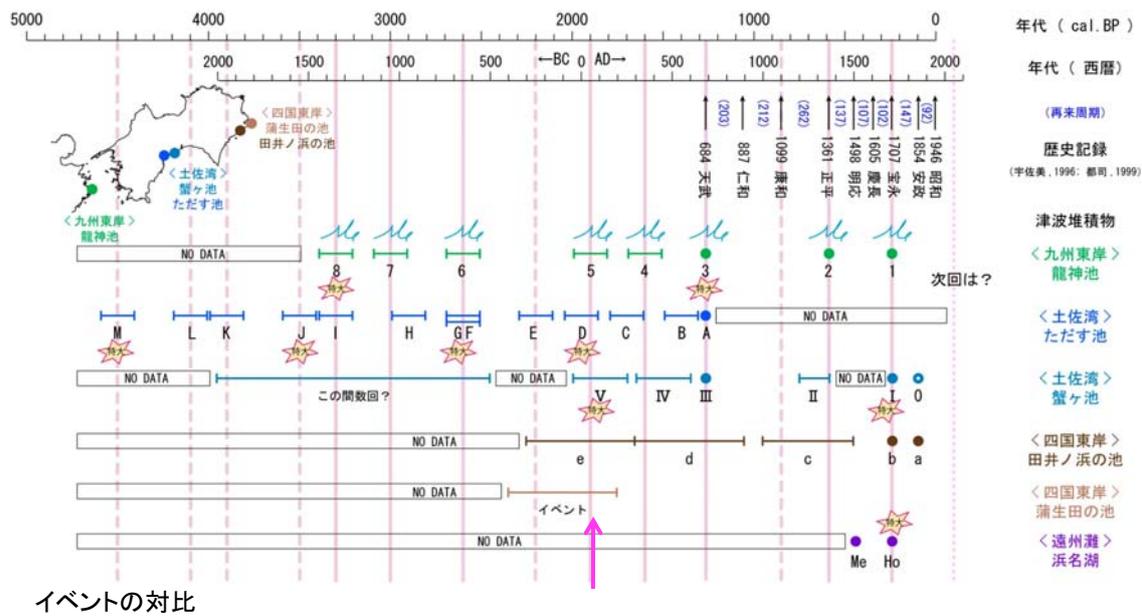
22年度の成果 (4) 土佐湾、蟹ヶ池



蟹ヶ池のコア試料

約2000年前のイベントは宝永地震津波よりも一回り大きい可能性

22年度の成果 (5) 過去約4000年間の南海地震履歴



イベントの対比

約2000年前に土佐湾では巨大津波、
四国東岸では大きな堆積環境の変化が見られる

平成23年度の計画 (1) 四国東岸の津波堆積物調査



四国東岸の蒲生田の池においてより深いコア試料を採取し分析。

2000年前よりも古い時代の履歴を明らかにする。



蒲生田の池とコアリング風景

約2000年前のイベントを詳細に検討

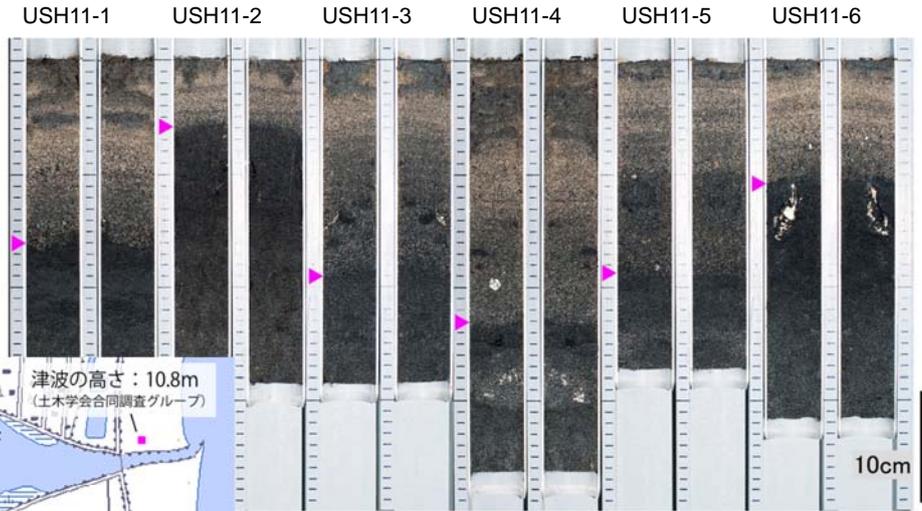
平成23年度の計画 (2) 東北地方太平洋沖地震の津波堆積物調査

仙台平野南部、亶理町牛橋河口

津波砂層の厚さと
津波高の関係を調査

今回の
津波堆積物

コア試料の採取地点



コア試料の写真

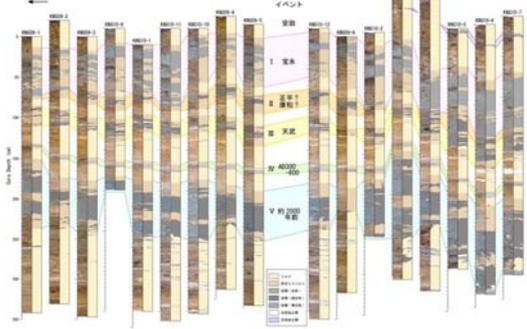
津波堆積物の層厚から、
過去の津波高の復元を目指す！

2-2 過去の地震発生履歴から見た地震サイクルの多様性の評価



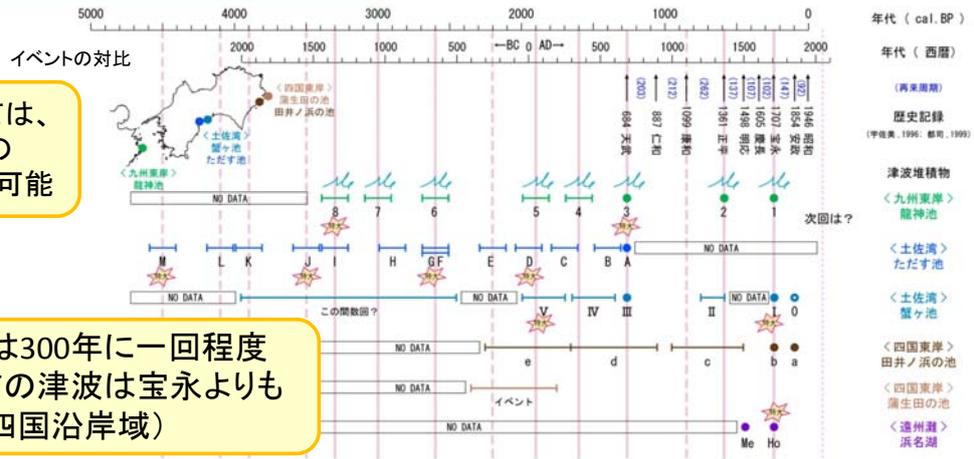
南海トラフ沿岸の湖沼に
残された津波の記録

蟹ヶ池のコア試料中の津波堆積物



南海地震については、
過去4000年程度の
履歴を読むことが可能

- ・宝永クラスは300年に一回程度
- ・約2000年前の津波は宝永よりも大きい？(四国沿岸域)



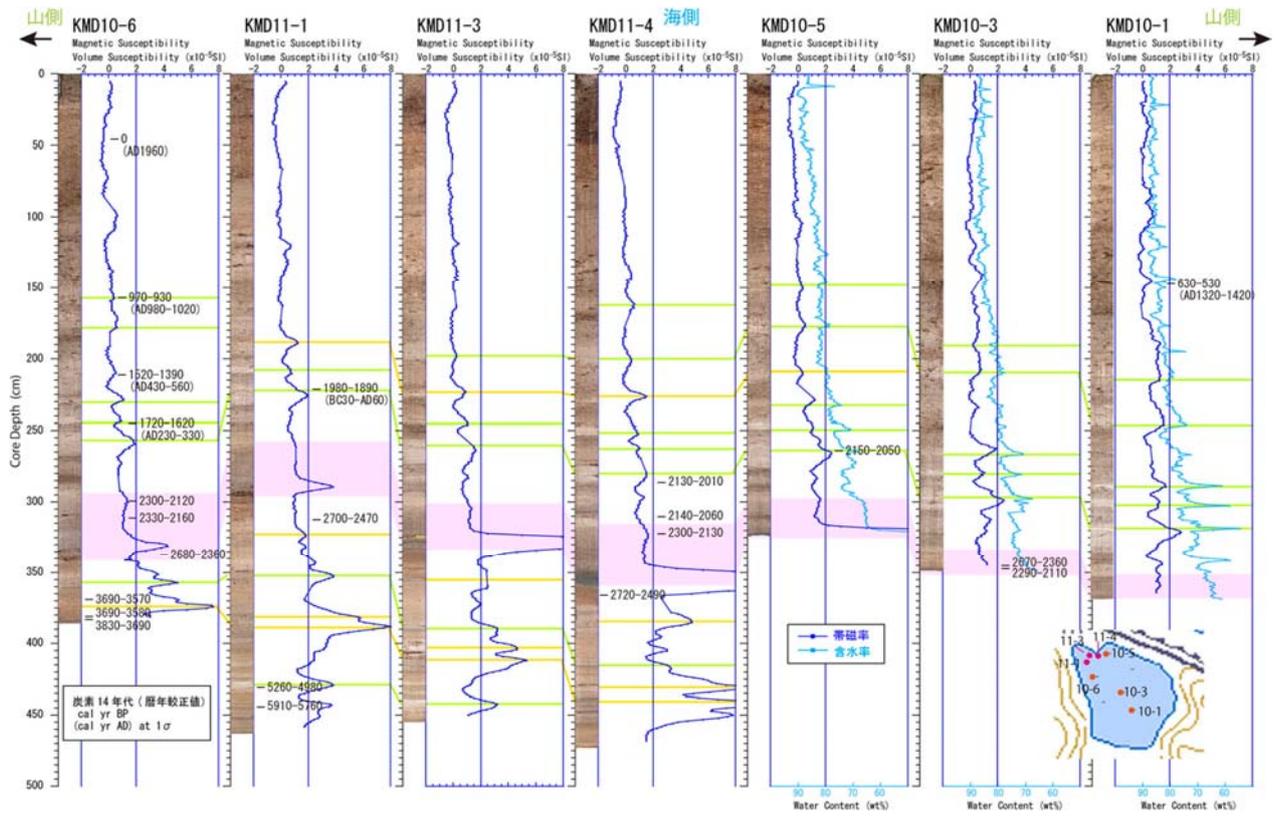
南海トラフの巨大地震モデル検討会

岡村真委員提供資料

第5回会合

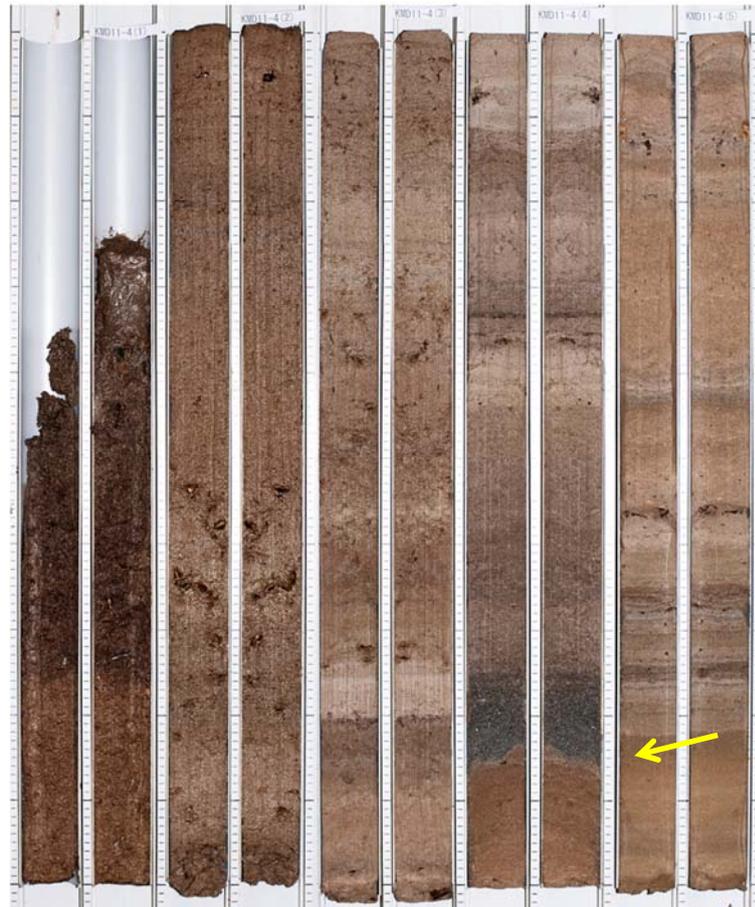
平成23年11月24日



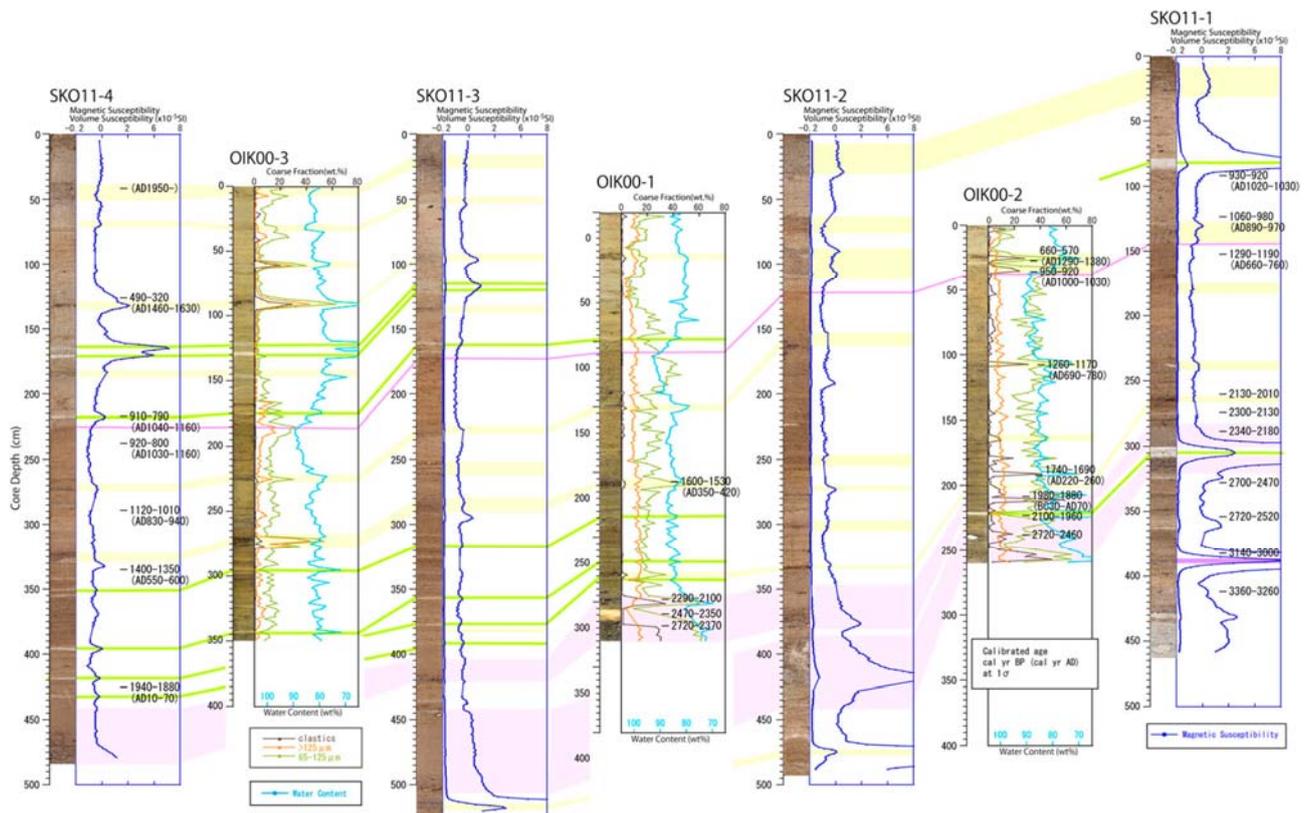


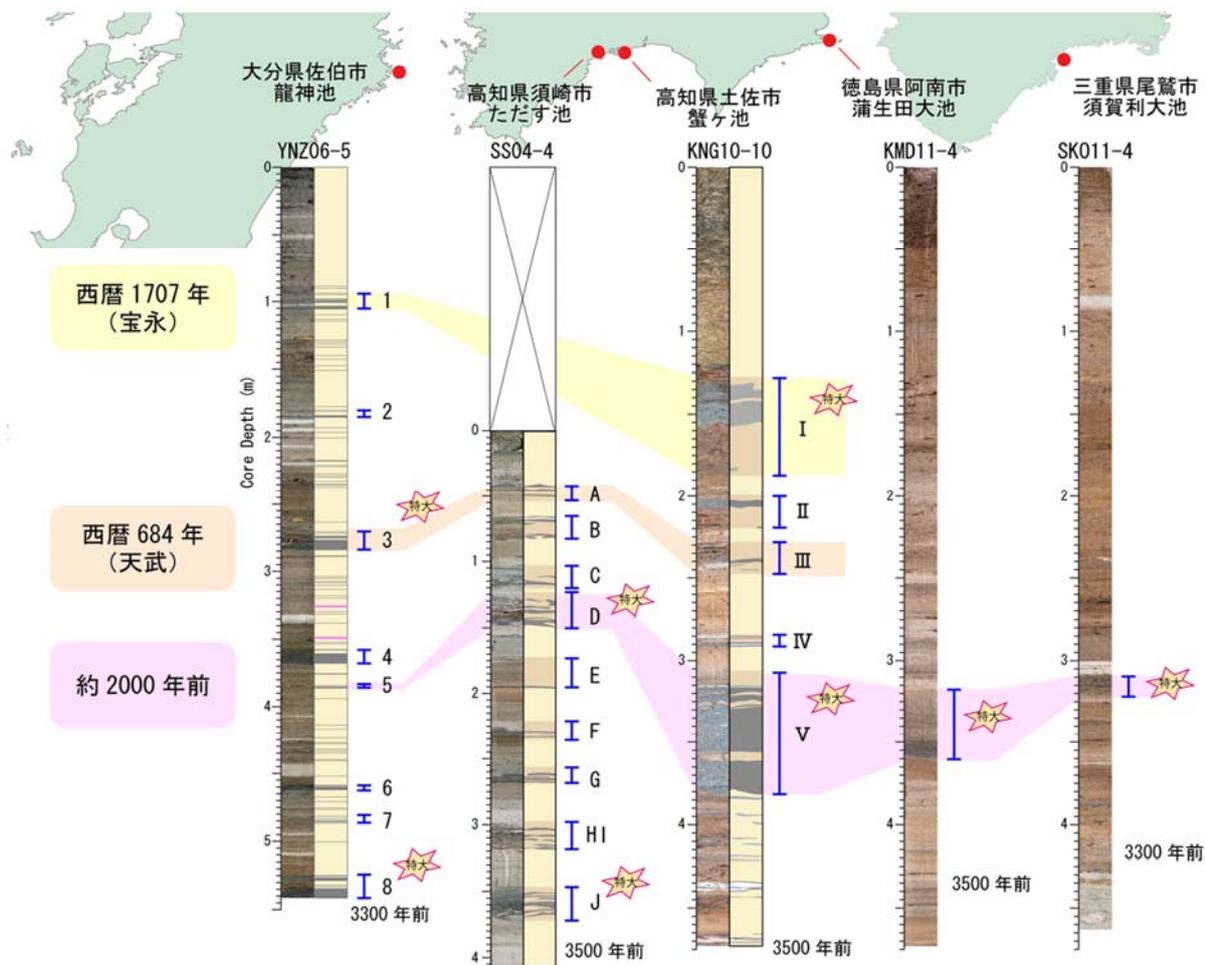
蒲生田大池のコア
KMD11-4の写真

約3500年間で
唯一のイベント

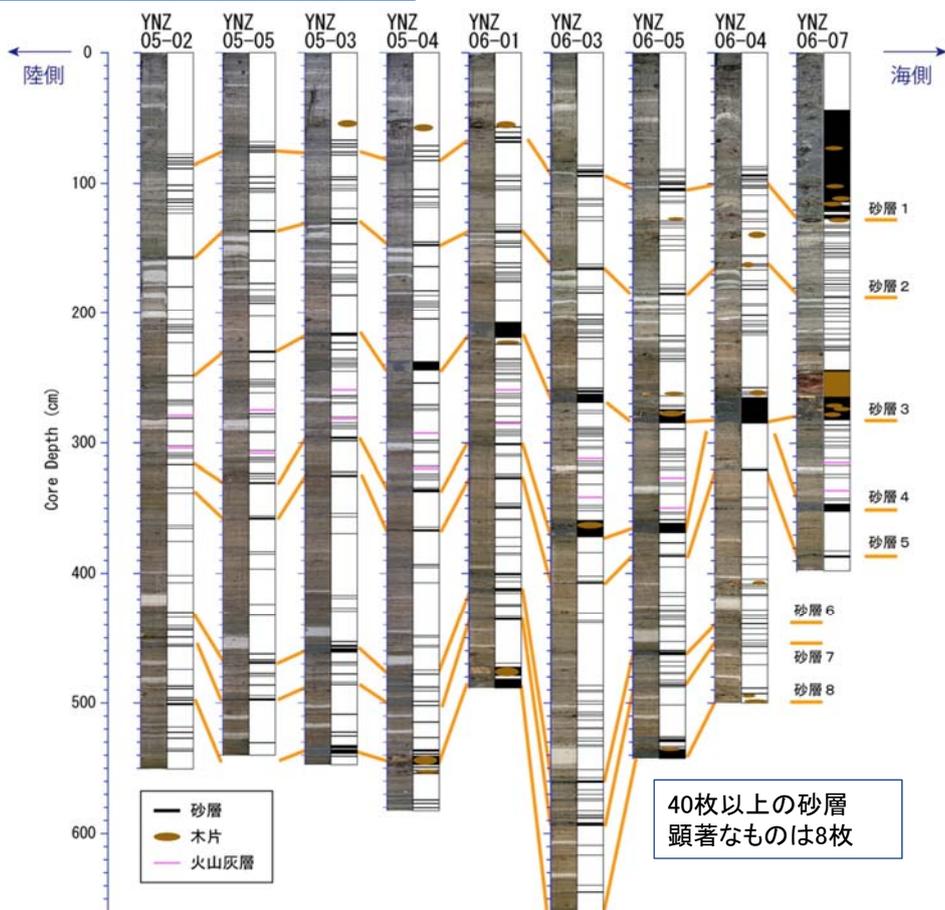


三重県尾鷲市、須賀利大池のサンプリング位置

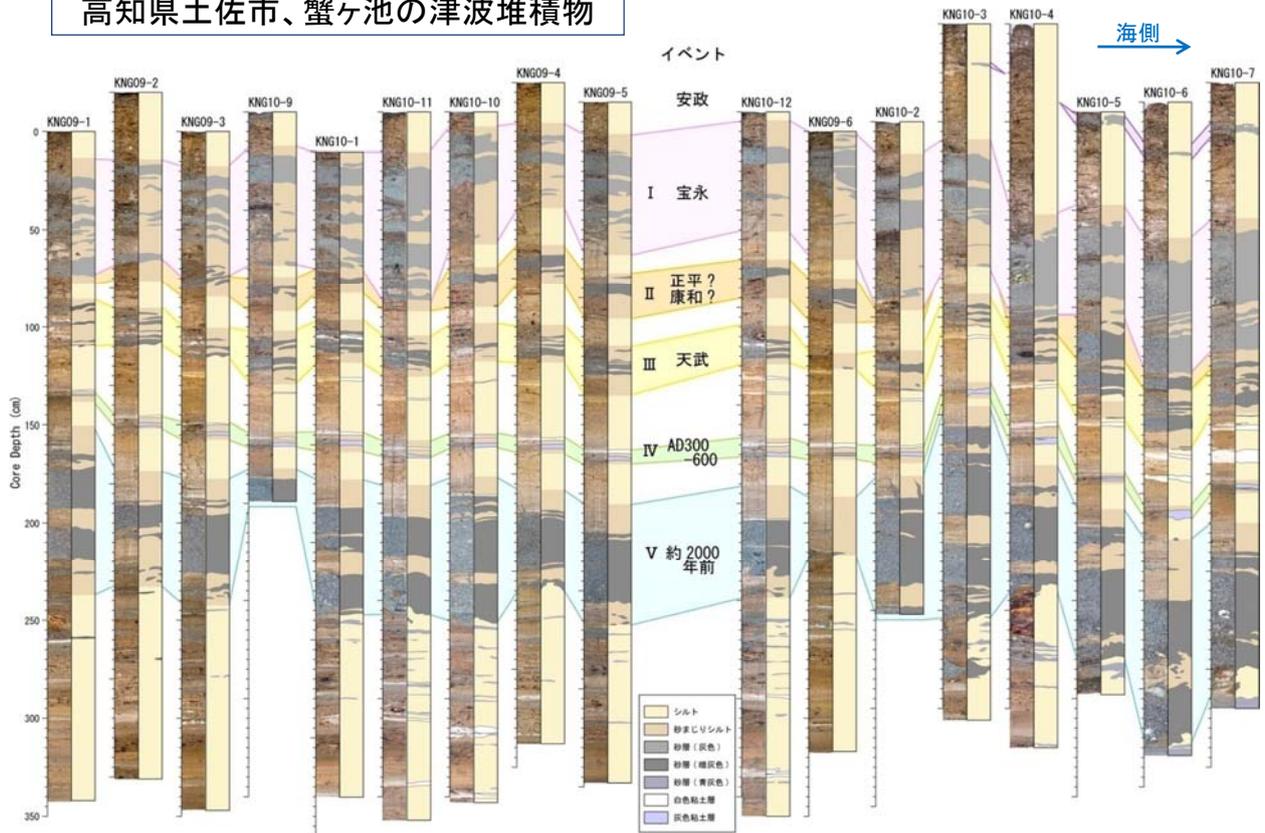




大分県佐伯市、龍神池 津波堆積物



高知県土佐市、蟹ヶ池の津波堆積物



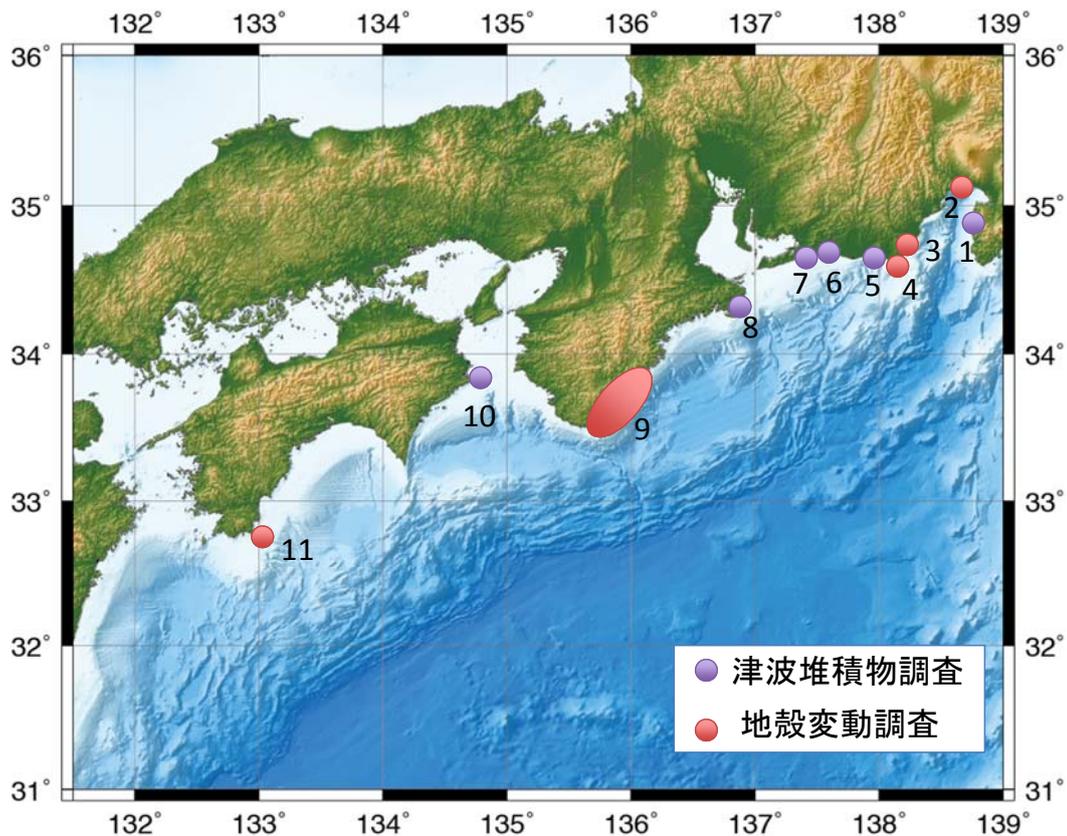
南海トラフの巨大地震モデル検討会

岡村行信委員提供資料

第1回会合

平成23年8月28日

産総研による古地震調査



	地名	津波堆積物	地殻変動
1.	伊豆半島	900年前以降に1層(予察調査)	
2	浮島が原	7500年前頃に1層	過去1500年間に5回の沈降イベント
3	榛原低地	なし	地殻変動もほとんどなし
4	御前崎		過去5000年間に3回の隆起
5	大田川低地	2層(11-15世紀)	宝永で隆起?
6	浜名湖	調査中、約3400年前に1層	
7	湖西市	1498, 1605, 1707, 1854年の4層	
8	志摩半島	4500-500年前に8層	
9	潮岬	津波石: 宝永と12-14世紀	宝永で隆起 400-600年間隔の隆起イベント
10	阿南市	2000-3500年前の間に5層	
11	足摺岬		安政と昭和で隆起(予察調査)

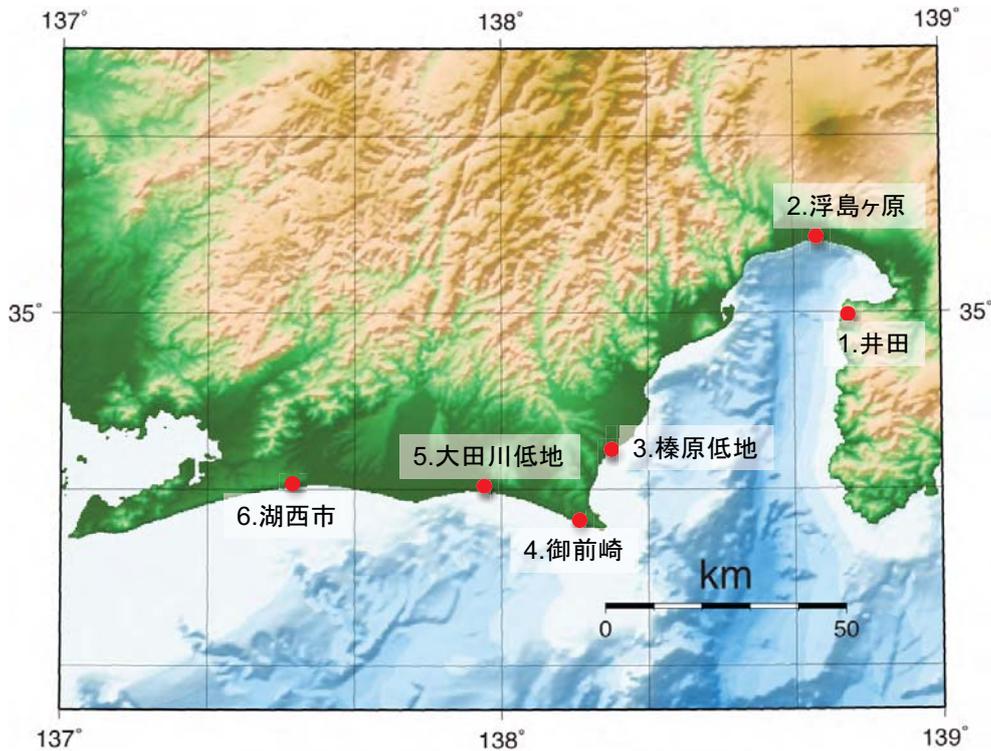
南海トラフの巨大地震モデル検討会

岡村行信委員提供資料

第2回会合

平成23年10月3日

南海トラフ東部調査地点



独立行政法人 産業技術総合研究所

1. 井田地区津波堆積物



独立行政法人 産業技術総合研究所

2. 浮島ヶ原



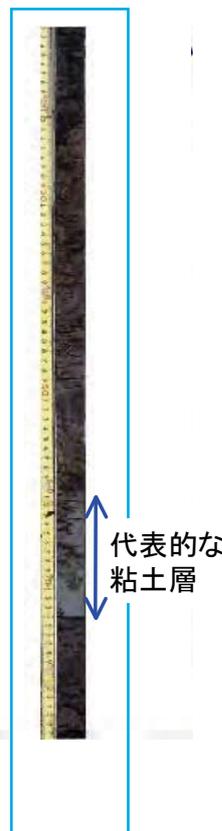
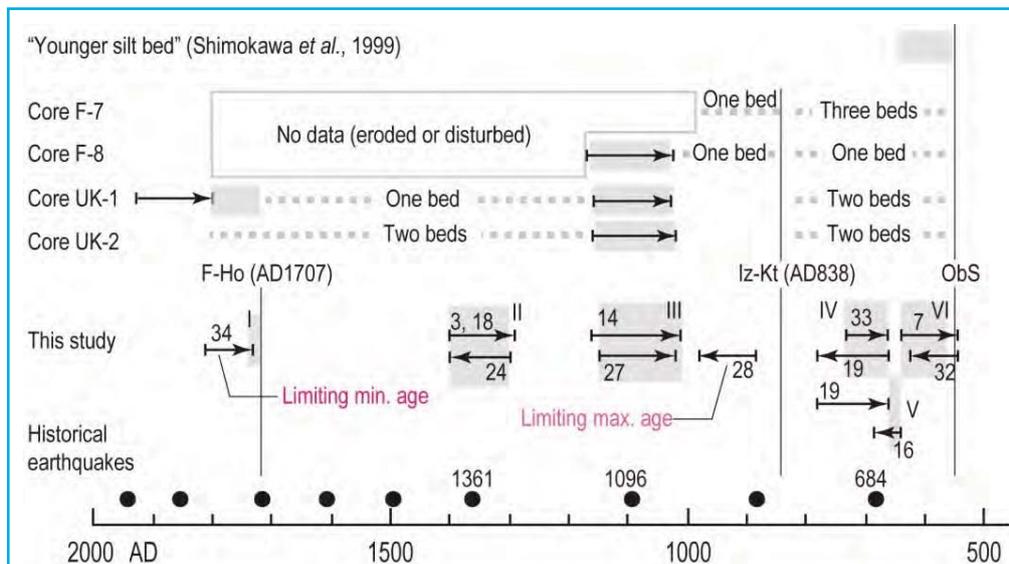
浮島ヶ原：富士川の東側に広がる低地。過去数千年間で大きく沈降し、泥炭層が厚く堆積。

海岸沿いには標高10-15mの浜堤(砂丘)が発達し、その内側の浮島ヶ原には確実な津波堆積物は未確認。

砂丘には弥生期以降の遺跡(松原, 2000; 沼津市教育委員会, 1990)や東海道があるが、津波が砂丘を越えた痕跡は知られていない。

2. 浮島ヶ原の堆積物が示す沈降イベント

浮島ヶ原の泥炭層中に時々粘土層が発達し、急激な沈降イベントと解釈できる。

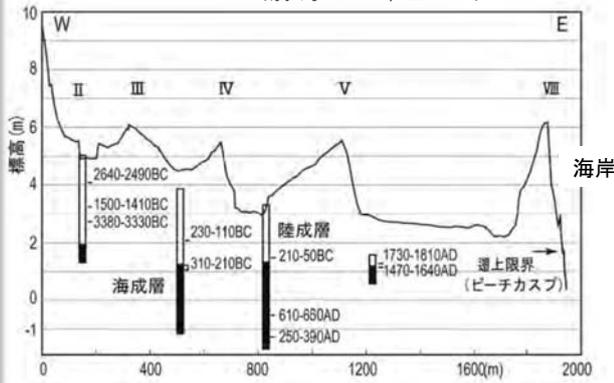


粘土層の形成時期(I~VI)と歴史地震との対応(F-Ho, Iz-Kt, Obsは火山灰)

富士川河口断層帯の活動と解釈

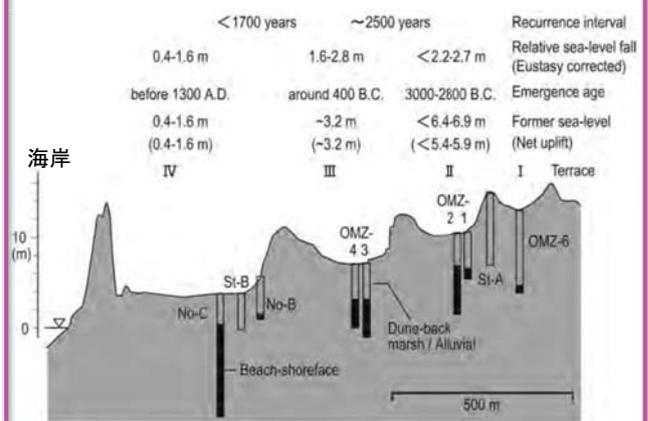
(Fujiwara et al., in prep)

3. 榛原低地 (藤原ほか, 2009)



- ▶8列の浜堤が発達 (I~VIII)
- ▶安政東海地震では0.9m程度の隆起 (羽鳥, 1976; 石橋, 1984)。
- ▶海成層上限高度は, 過去 5000年程度を通じて標高1-1.5 m付近にある
- ▶現海面変動を補正すると隆起の累積がほとんど認められない。

4. 御前崎 (Fujiwara et al., 2010)



- 4段の完新世海成段丘 (I~IV)
- 安政東海地震の隆起の痕跡は残っていない
- ボーリングで段丘I~IIIの旧海面高度を解明
- 過去5000年間に1.6-2.8m程度の隆起が3回

隆起は御前崎周辺に限定される

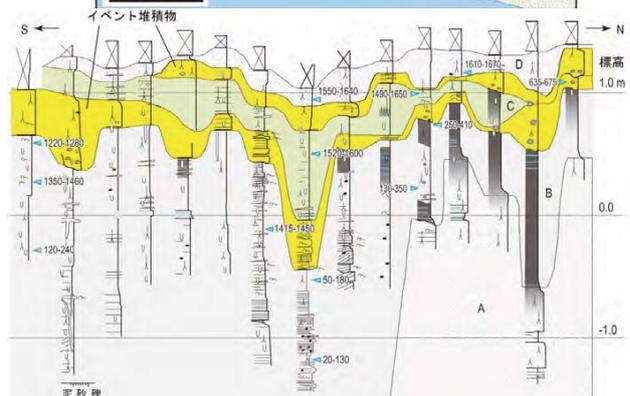
5. 太田川低地(横須賀湊)

絵図や文書の解析から, 宝永地震で横須賀城前の湊が隆起したとされる

1640年代の絵図を元に, 宝永地震前の水域(左下の図で水色の範囲)を復元

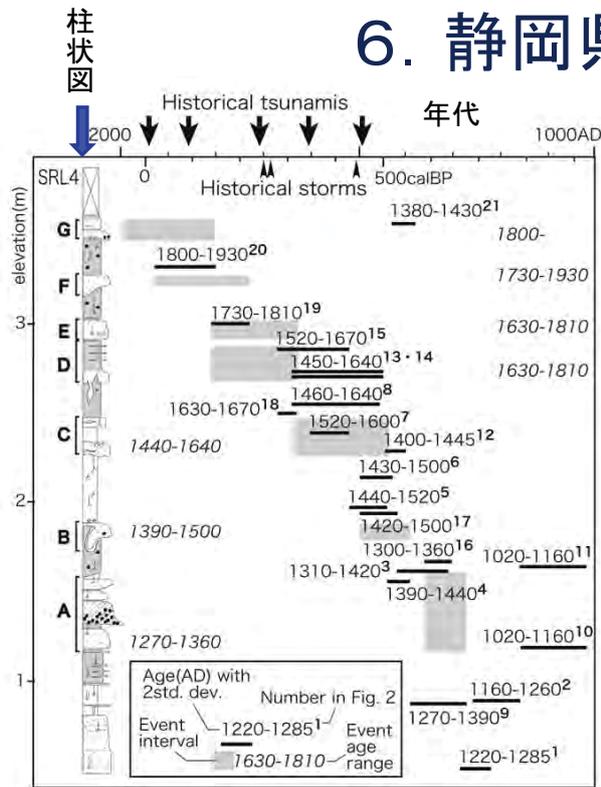
ジオスライサーなどで掘削調査

宝永地震による隆起と, 15世以降に2層の津波あるいは洪水の堆積物を検出



藤原ほか(2009)

6. 静岡県湖西市

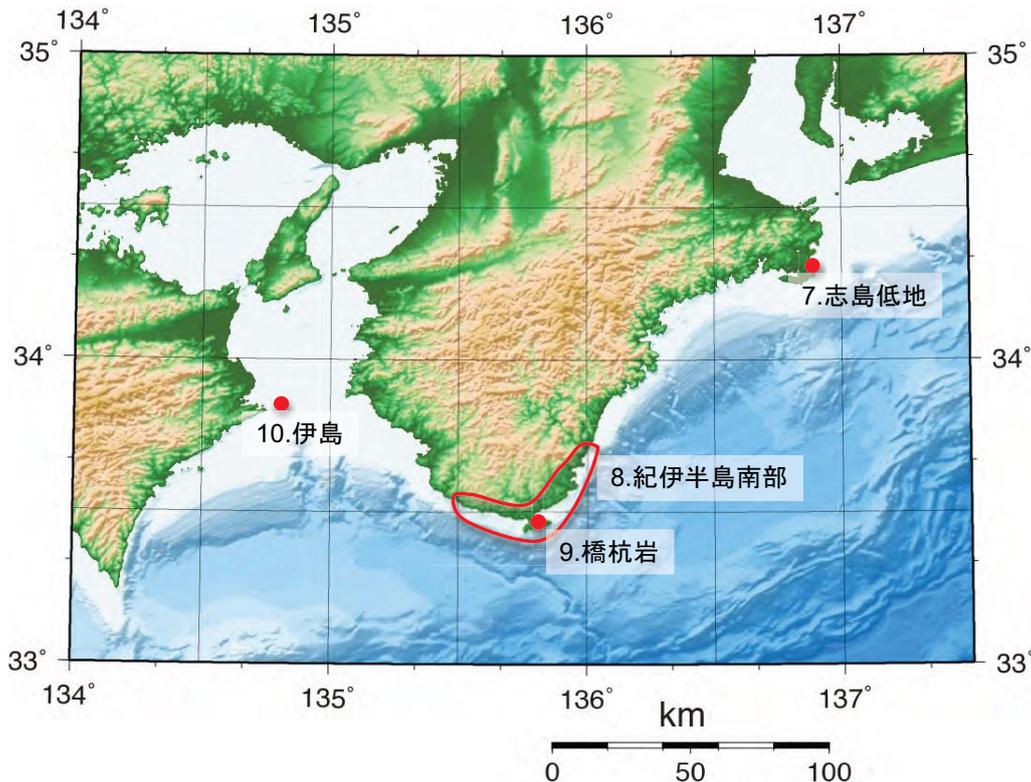


Komatsubara et al. (2008)

- 標高5m前後の砂丘で遠州灘から隔離された湿地
- 近隣にある長谷元屋敷遺跡や白須賀宿は、1707年宝永地震に伴う津波で被害を受け、背後の台地上に移転
- Aは1361正平地震かもしれないが、未確定
- 津波堆積物は1498明応 (B), 1605慶長 (C), 1707宝永 (E), 1854安政東海地震 (F) に対比
- 堆積物 (D)は1680または1699年の高潮による

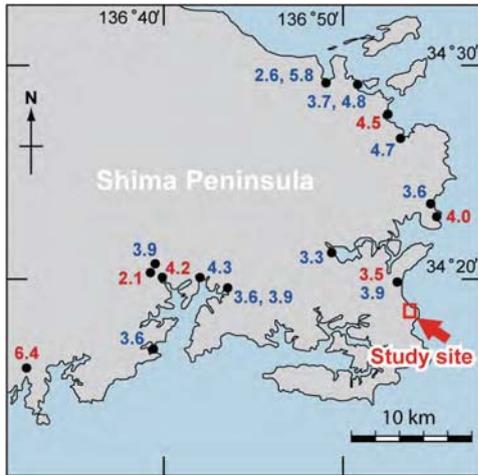


南海トラフ西部調査地点

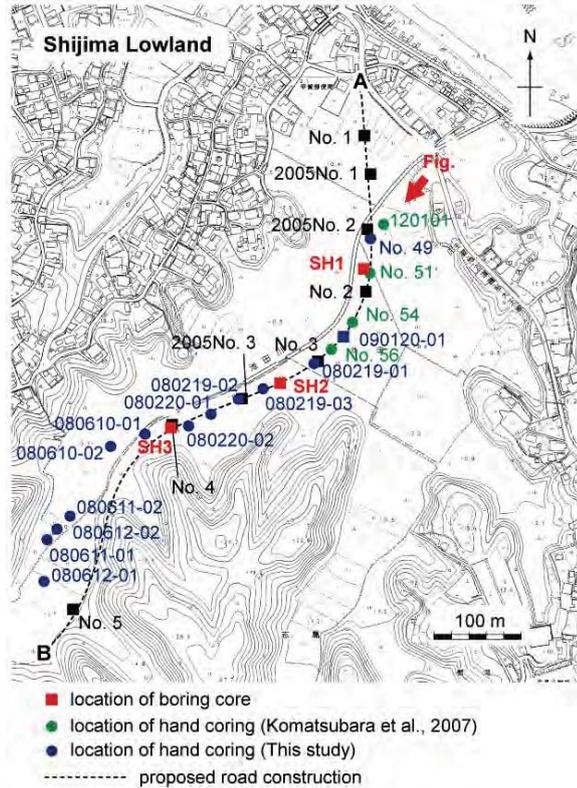


7. 志摩半島志島低地の津波堆積物

赤字: 宝永
青字: 安政東海

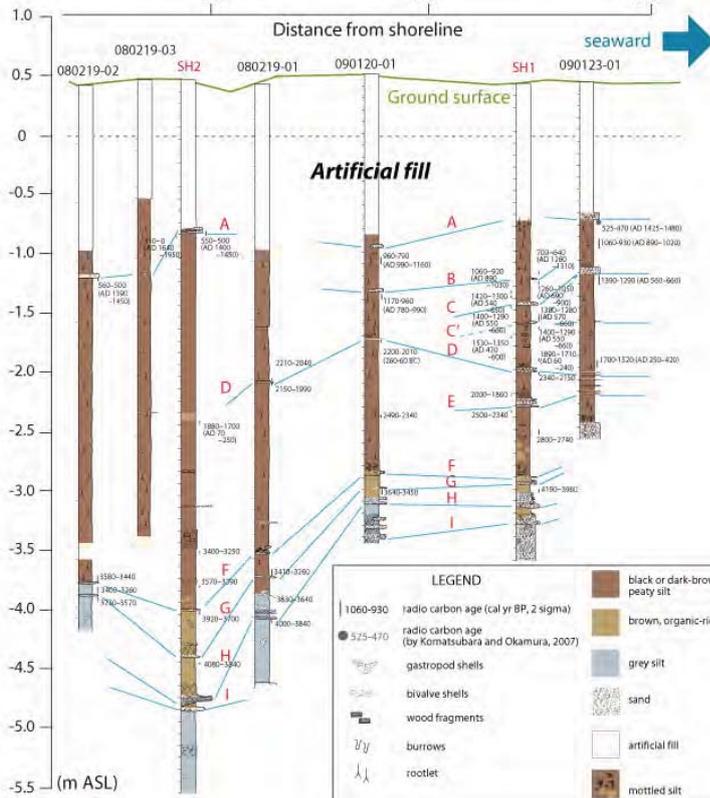


歴史記録に基づく津波高(m)
(行谷・都司, 2005)

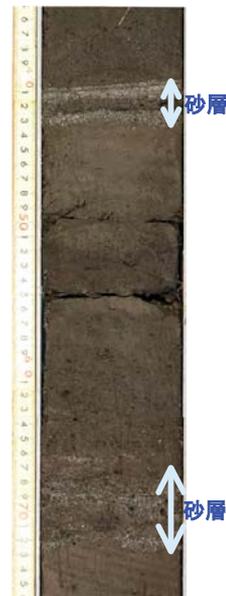


独立行政法人 産業技術総合研究所

7. 志島低地の津波堆積物



一部は藤野ほか(2011)が地質学会で発表

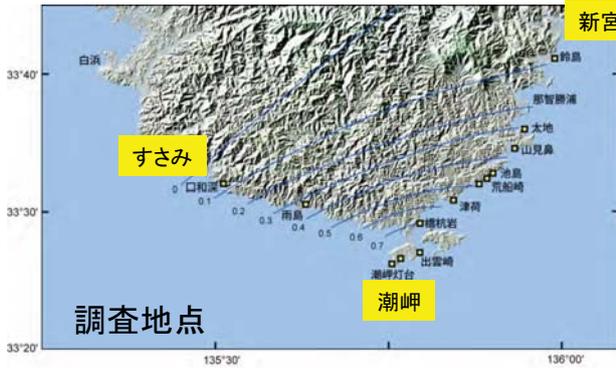


4500年前以降, 9枚の砂層
(500年前以降は人工改変によって消)

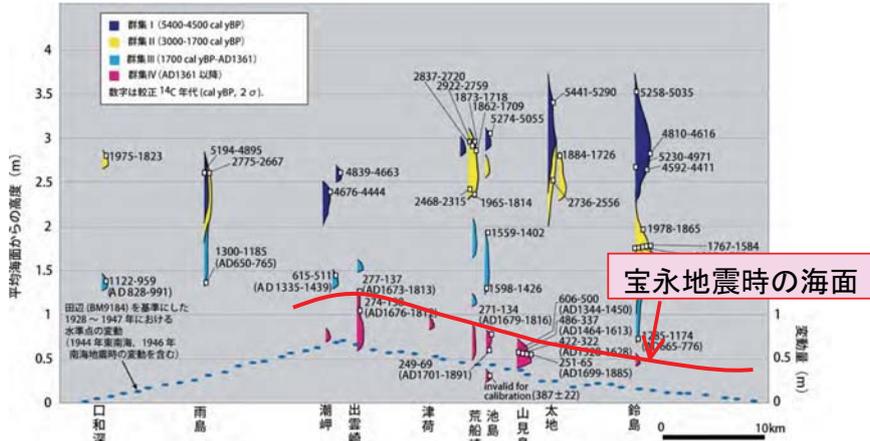
上位の3層は1498年明応(A), 1094年嘉保(永長)(B), 684年白鳳(C)の各歴史地震に対応する可能性. 平均すると400~500年間隔で砂層が堆積している.

独立行政法人 産業技術総合研究所

8. 紀伊半島南部における隆起イベント



- 紀伊半島南部は1946年昭和南海地震で最大1m程度隆起
- 新宮市からすさみ町にかけての海岸の標高4 m以下に約5400年前以降の固着生物による隆起痕跡が分布.
- 累積性のある大きな隆起と、累積性のない小さな隆起イベントを認定.



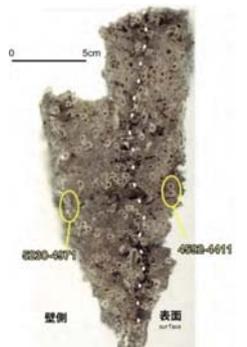
海岸沿いに投影した隆起生物遺骸群集の高度分布

穴倉ほか(2008)

独立行政法人 産業技術総合研究所

8. 大きい隆起イベントは400~600年程度の間隔で発生

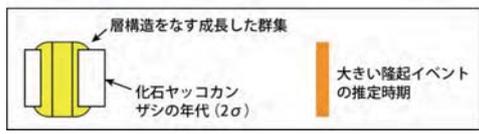
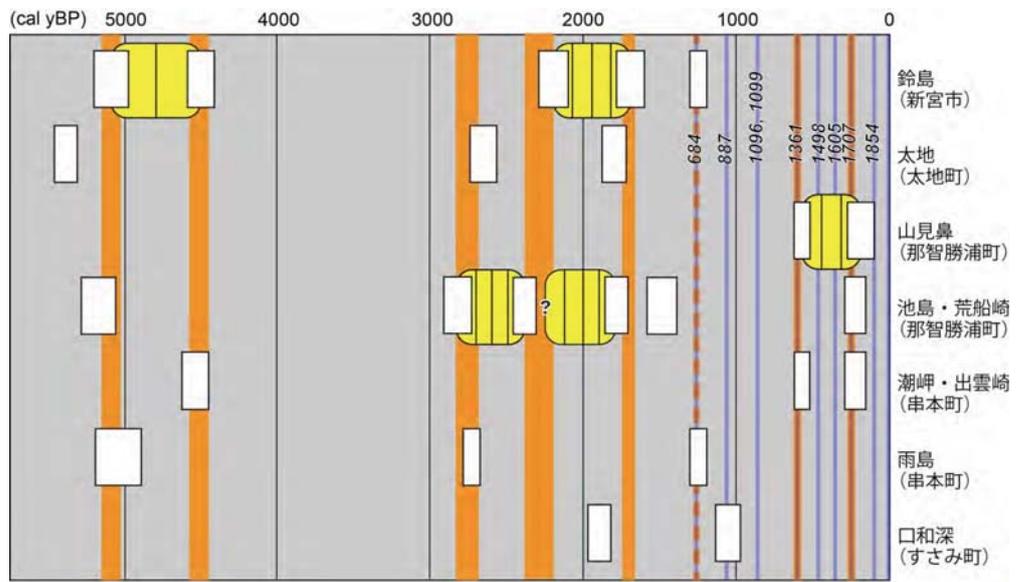
生物遺骸群集の年代と隆起イベントとの関係



4500~5200年前に発達した群集



1700~2200年前に発達した群集



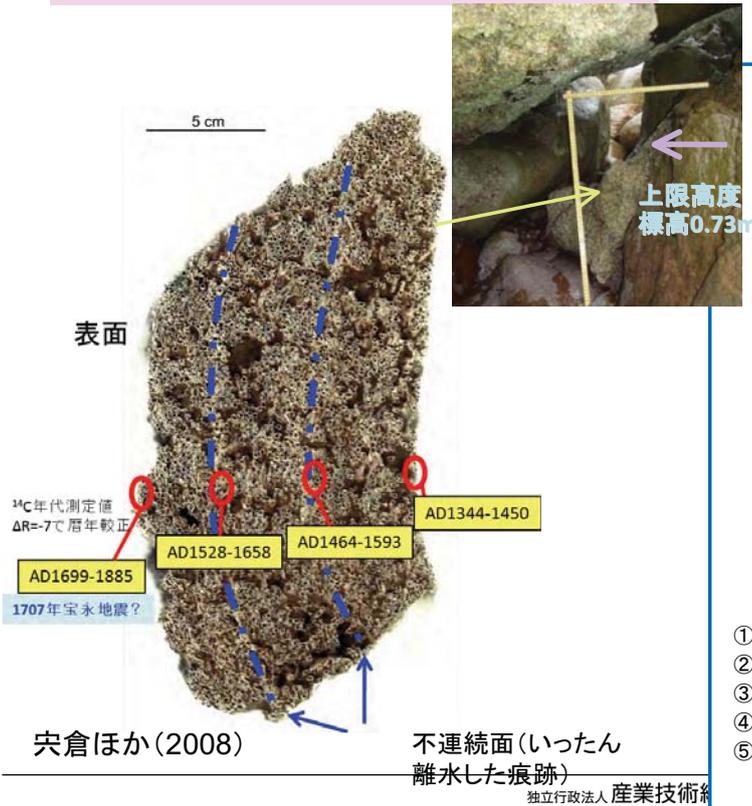
大きい隆起イベントの判断基準
 ・層構造をなす群集の成長期間
 ・広域での対比

穴倉(未公表資料)

独立行政法人 産業技術総合研究所

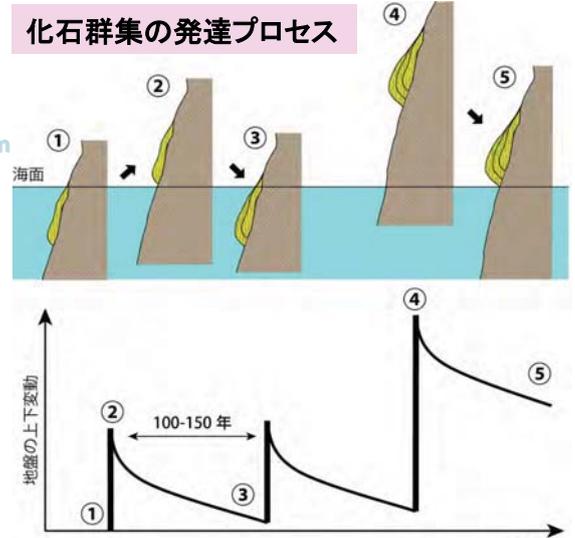
8. 小さな隆起イベントを記録した隆起生物遺骸群集

大きく成長した隆起ヤッコカンザシの断面



3~4層構造をなし、各層が100~150年毎に形成。400~600年かけて成長し、離水する。

化石群集の発達プロセス



- ①: 平均海面付近の岩盤にヤッコカンザシ群集が成長
 - ②: 地震時の隆起で干上がり、化石化
 - ③: 地震間の沈降で元の高さに戻り、新たな群集が化石を覆って成長
 - ④: 通常よりも大きな隆起で干上がる
 - ⑤: 地震間の沈降でも元の高さに戻らず、全体が完全に化石化
- 独立行政法人 産業技術総合研究所 中央倉庫 (2008)

9. 潮岬・橋杭岩の津波石 (巨礫の移動時期)



巨礫は宝永クラスの津波の時にのみ動いている可能性

行谷ほか(2011)で連合大会で発表

32年間に何度も台風の直撃に遭っているが、変化はない



昭和の地震・津波を経験してもあまり変化はない



現地での摩擦係数を測定。計算上、宝永津波クラスの流速が必要



9. 潮岬・橋杭岩の津波石（巨礫の移動時期）

礫の上面に固着したフジツボ・ヤッコカンザシ等の生物化石（礫の移動時期を示す）の年代を測定



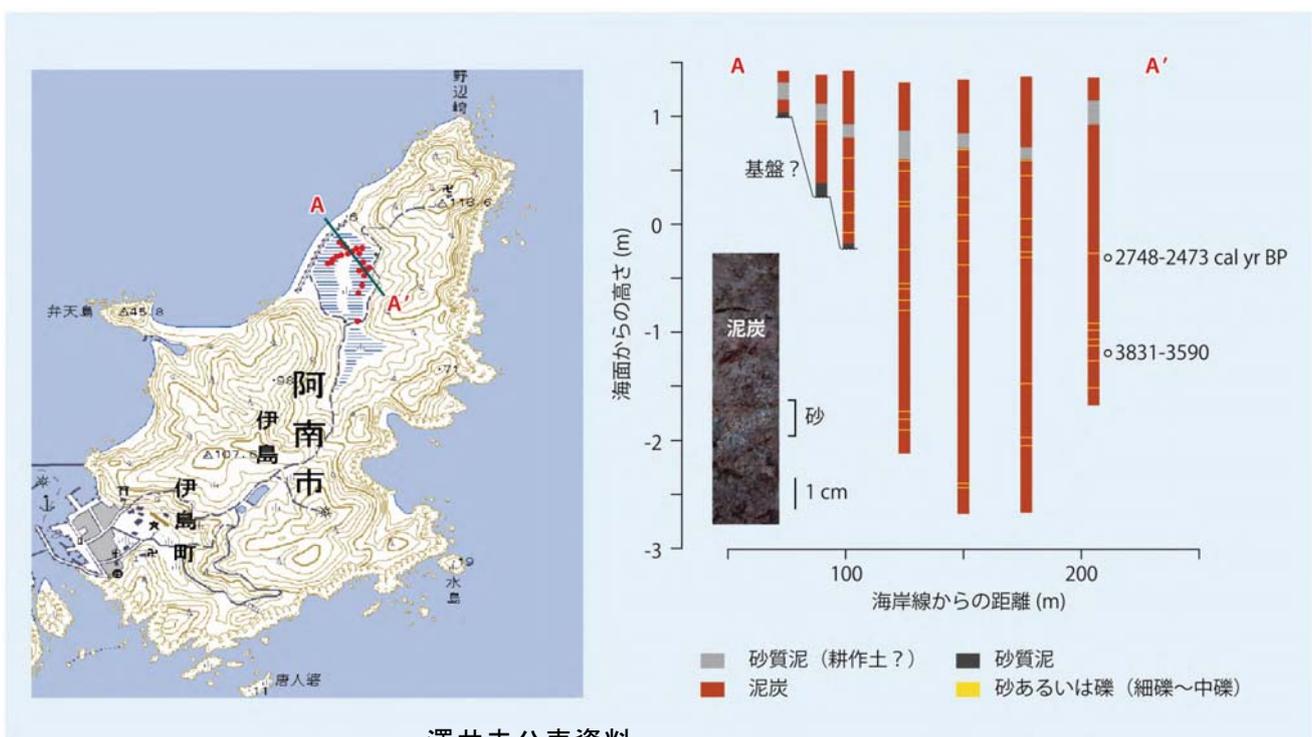
おもにヤッコカンザシ (*Pomatoleios kraussii*) を用いた年代。
海洋リザーバー年代のΔRはYoneda et al. (2001)による-7を使用

津波石の移動年代は12-14世紀と17-18世紀（おそらく1707年宝永地震）と推定。400-600年間隔

央倉ほか(2011)で連合大会で発表

独立行政法人 産業技術総合研究所

10. 伊島における津波堆積物調査



独立行政法人 産業技術総合研究所

参考資料

2011年3月11日の
津波堆積物と
浸水域との比較



南海トラフの巨大地震モデル検討会

金田委員提供資料

第1回会合

平成23年8月28日

「東海・東南海・南海地震の連動性評価」
東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究

独立行政法人海洋研究開発機構
地震津波・防災研究プロジェクト
金田義行

東海・東南海・南海地震の連動性評価

サブプロジェクト1

東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究

①稠密海底地震・津波・地殻変動観測

(独)海洋研究開発機構、東北大学、東京大学地震研究所、(独)防災科学技術研究所、東京大学

②物理モデル構築及び地震発生シミュレーション研究

名古屋大学、高知大学、京都大学、東京大学地震研究所、(独)海洋研究開発機構

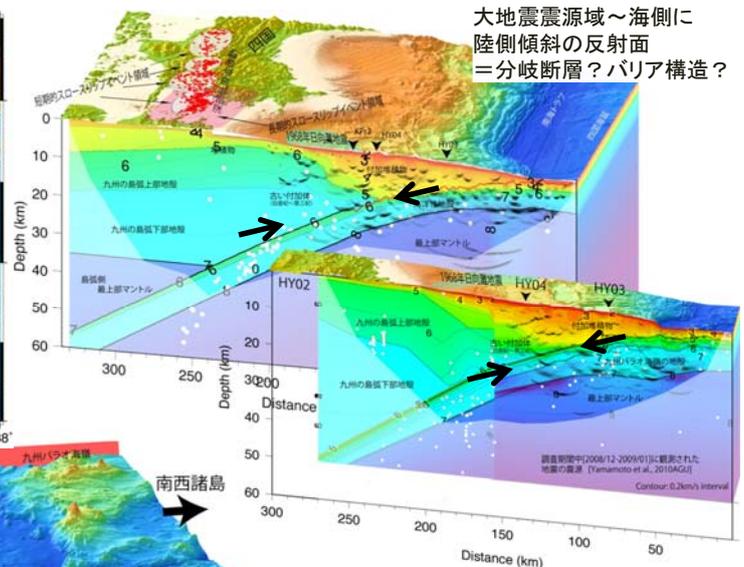
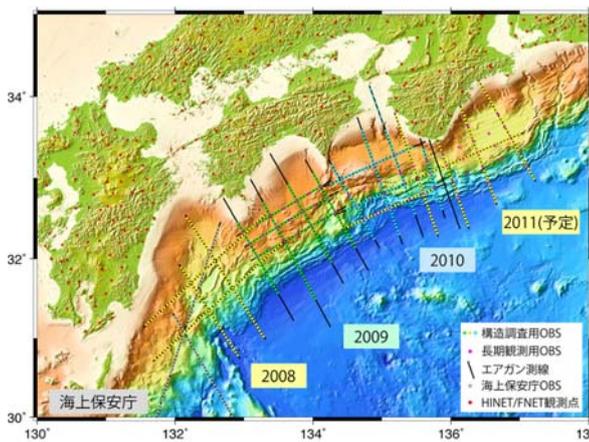
サブプロジェクト2

連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究

東京大学、東北大学、名古屋大学、京都大学防災研究所、(独)海洋研究開発機構

日向灘での地殻構造探査

[海洋研究開発機構]



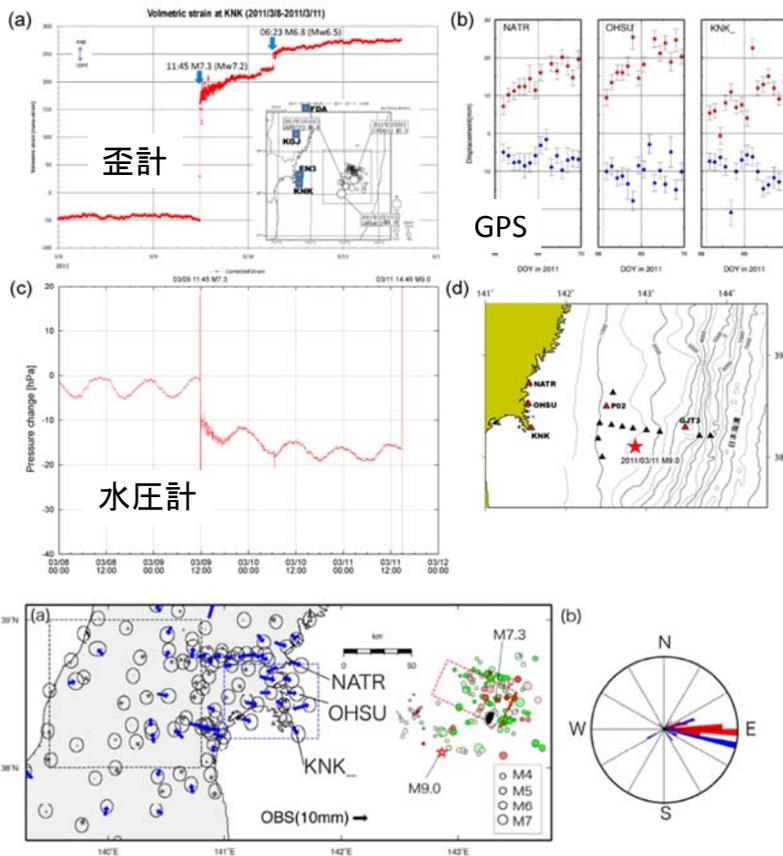
大地震震源域～海側に
陸側傾斜の反射面
＝分岐断層? パリア構造?

- 日向灘域の地殻は北東側で薄く、南西側で厚い → 四国海盆地殻～九州パラオ海嶺地殻への構造境界を特定(地形から予想されるより北東に位置)
- 1968年日向灘地震は遷移帯に位置
- 1662年日向・大隅地震は九州パラオ海嶺域に位置

- 陸側平行測線HY04では5km/s以上の上盤の下にフィリピン海プレートが沈み込んでいる
- プレート上面直上の上盤の構造変化
遷移帯から九州パラオ海嶺側では上盤の低速の堆積物が厚くなっている

3/9の前震に伴う余効変動

[東北大学]



3/9の前震の発生後、
複数の観測で共通して
顕著な余効変動を観測

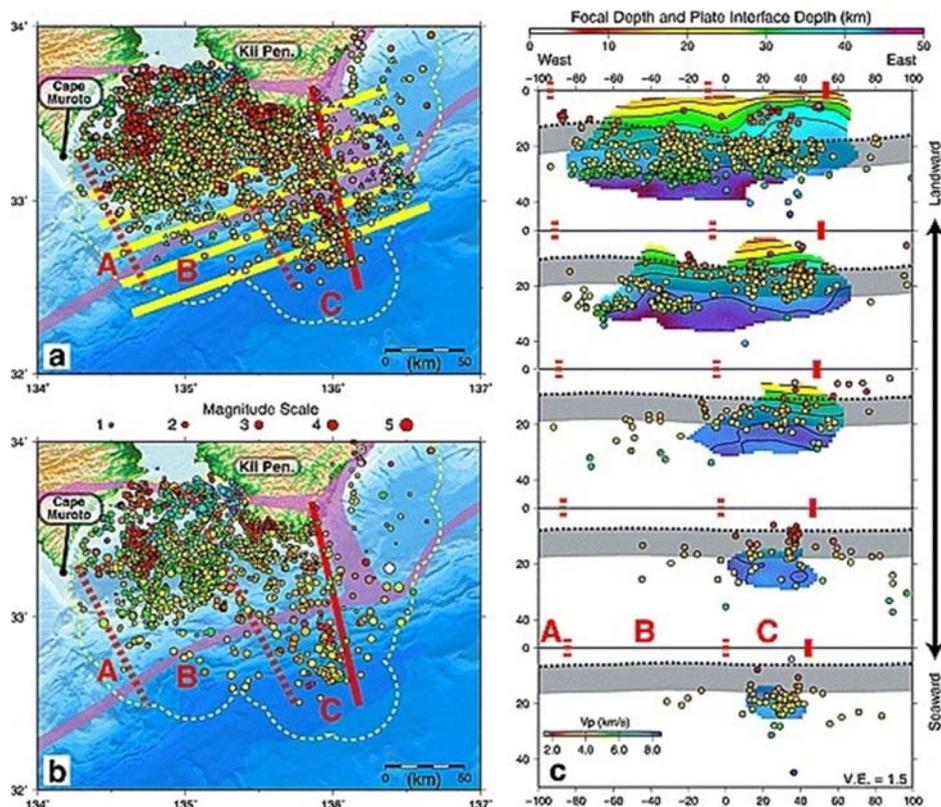
GPSの変位ベクトルの方位分布

本震時(赤)に比べて南向き成分
を多く含む傾向

→ 余効すべりが南側へ拡大?

紀伊半島沖の震源分布

[東京大学 地震研究所]

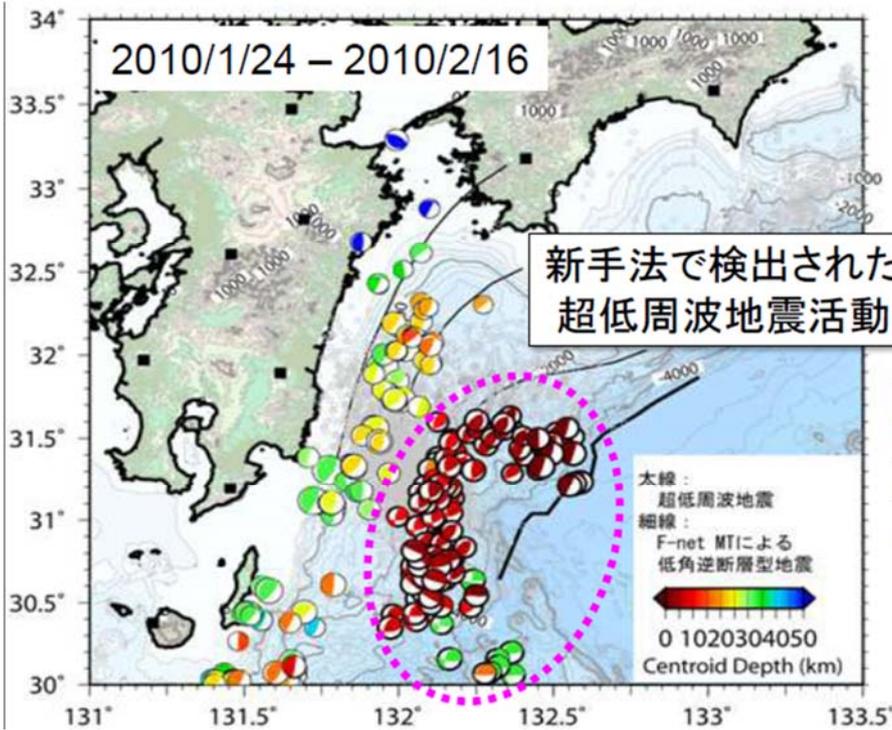


(Mochizuki et al, 2010)

陸域機動的地震観測による付加体・プレート境界付近の構造調査

[防災科学技術研究所]

浅部超低周波地震モニタリング

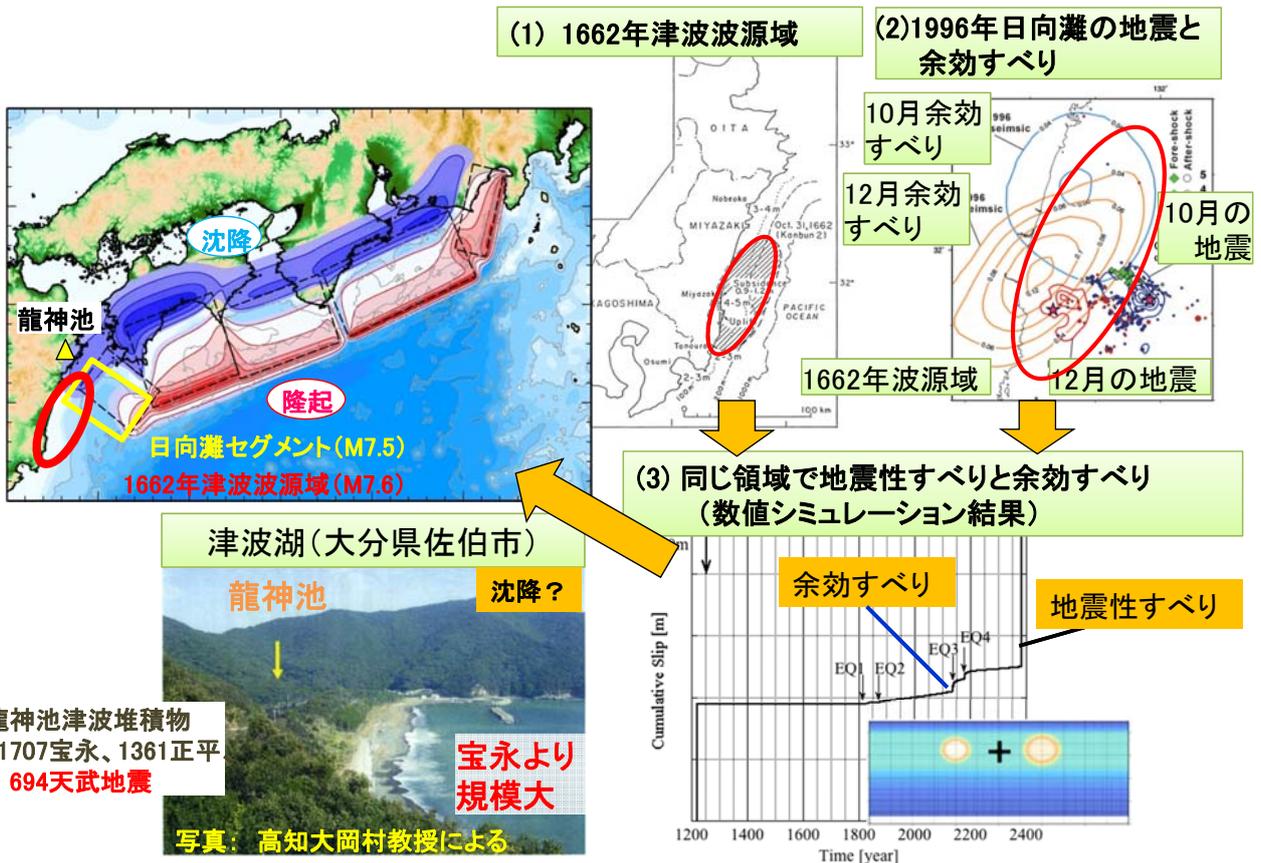


新手法で検出された
超低周波地震活動

波形相関による新しい解析法を用い、日向灘～足摺岬沖において解析したところ、超低周波地震活動を確認。特徴は以下。

- 通常の地震活動よりも海溝軸側に分布
- 主として逆断層型
- プレート境界近傍で発生

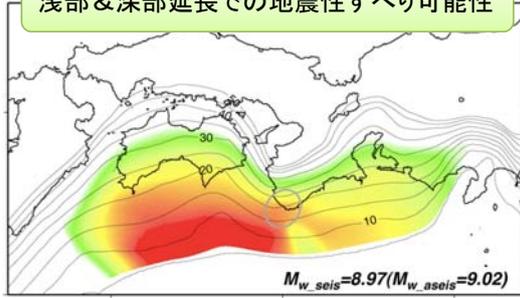
日向灘まで運動する可能性



連動プロジェクトシミュレーション関係の成果

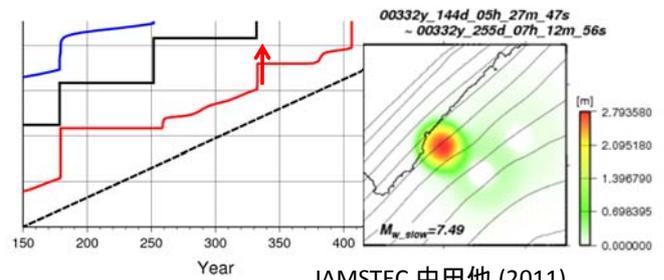
[海洋研究開発機構]

浅部&深部延長での地震性すべり可能性



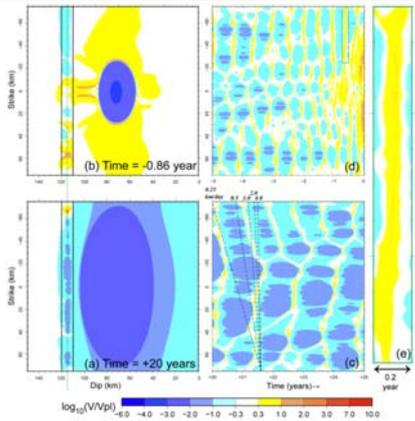
JAMSTEC Hyodo & Hori (2011)

日向灘中南部の余効すべり&SSE共存



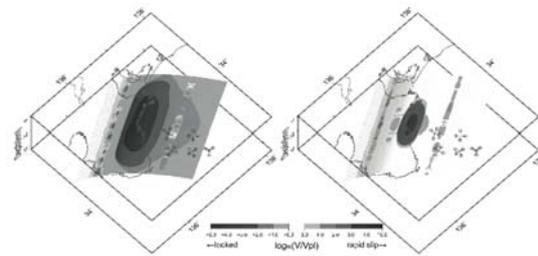
JAMSTEC 中田他 (2011)

深部低周波微動活動の巨大地震前変化



JAMSTEC Ariyoshi et al. (2010)

浅部低周波微動活動の巨大地震前変化



JAMSTEC 有吉他 (2011)

地震・津波の予測精度高度化に関する研究

[東京大学]



2秒



30秒



60秒



120秒



180秒

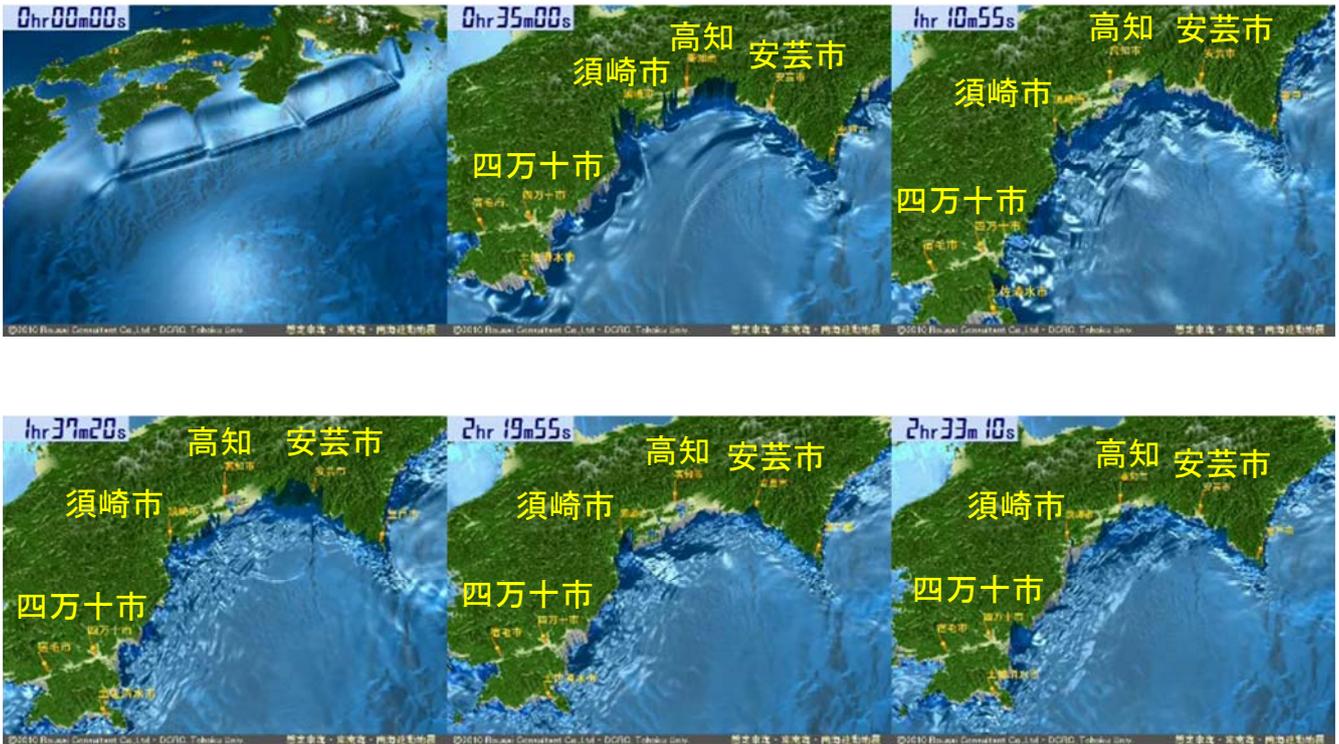


320秒

東京大学 古村教授提供

地震・津波の予測精度高度化に関する研究

[東北大学]



東北大学 今村教授提供

成果を防災に生かす取り組み [地域研究会の開催]

趣旨:

- 理学的な研究と地震・津波に対する防災計画・危機管理との連携により、地域の実情に沿った実効性の高い防災戦略、復旧・復興施策の策定に向けた項目立て・要素の洗い出しを行う。

目的:

- 「防災における課題の抽出・整理」に加え、抽出された課題のいくつかについては、解決策を、地方自治体等と議論する。

最近の開催実績:

- 2010.07 第5回高知研究会
- 2010.07第4回大阪研究会
- 2010.08第4回名古屋研究会
- 2011.11第2回紀州分科会
- 2011.02第5回大阪研究会
- 2011.03第5回名古屋研究会
- 2011.03 第6回高知研究会
- 2011.07 第6回名古屋研究会
- 2011.08 第7回高知研究会
- 2011.08 第6回大阪研究会

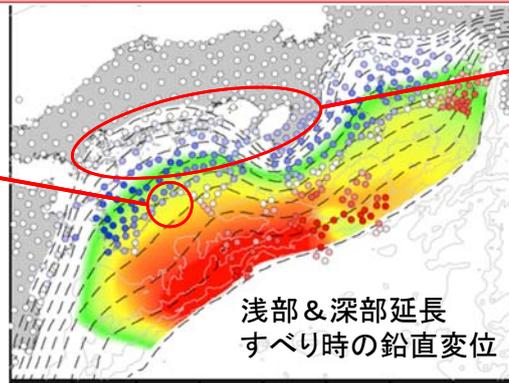


地域研究会の様子

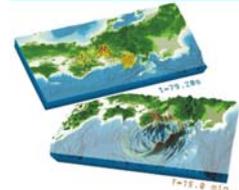


南海トラフでの地震・津波評価に向けた検討課題

深部低周波地震域での地震性すべり



深部地震性すべり時の地殻変動&津波評価

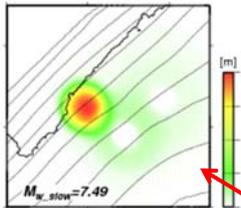


大阪湾や瀬戸内海等陸側沈降域での津波等被害評価へ

深部すべりでも高知は沈降

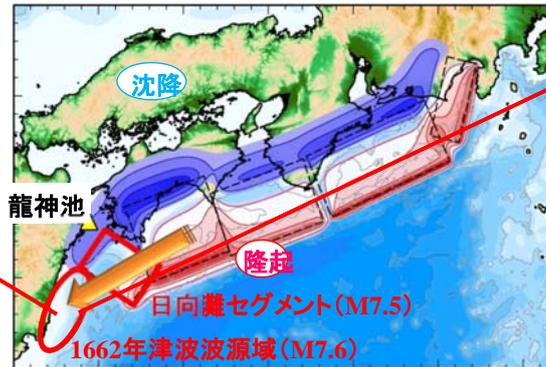
史料や堆積物の存在と深部でのすべりは矛盾しない

GPSデータインバージョン & モデル再現



南海地震からの連動の評価も年内に(津波: 龍神池等)

日向灘への連動の評価



1662年地震&津波見直し

史料と強震動&津波計算との対比など

南海トラフでの地震・津波評価に向けた検討課題

史料や堆積物の評価
津波石の検証

- ・三重県国崎(志摩半島)
20mを越える津波の痕跡
安政東海地震(M8.4)
- ・橋杭岩(紀伊半島)



流体&固体共存数値実験

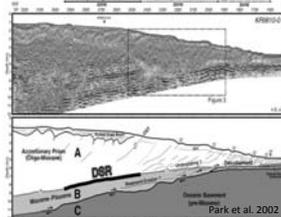
東海から日向灘までトラフ軸付近の海底地殻変動調査

GPS音響&海底測距

海底活断層&地すべり調査

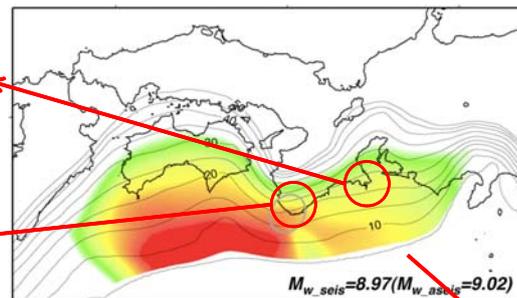
歴史津波評価

特に宝永地震時の八丈島、長崎、瀬戸内海等の広域津波の再現性

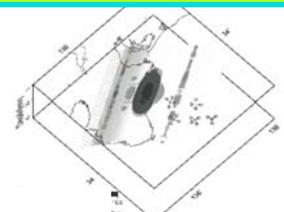


DSRでのすべりの可能性

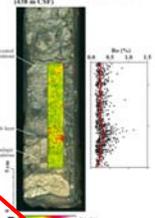
トラフ軸付近デコルマの地震性すべり



モデルからの予測とDONETデータ等による検証 & モデル改善

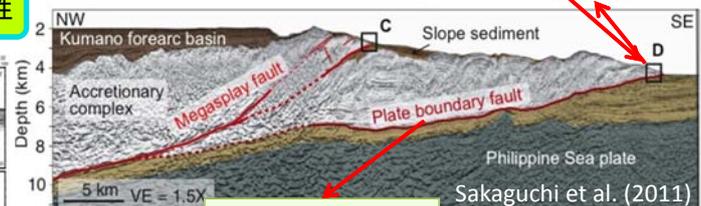


ゆっくり地震だけでなくpreslipやafterslip評価も含む



東海から日向灘までトラフ軸付近の掘削調査

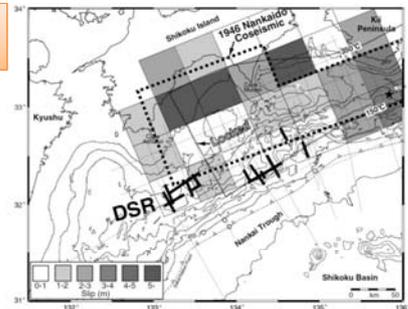
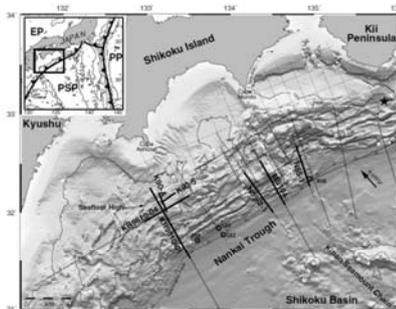
デコルマだけでなくOSTも



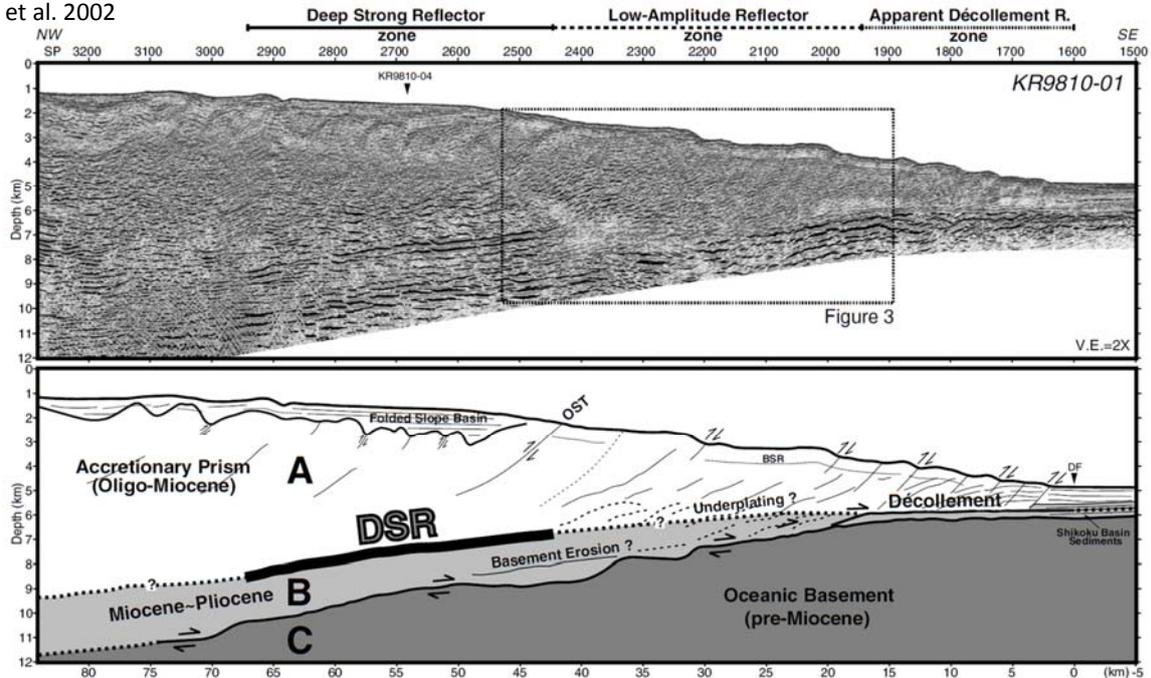
超低周波地震

DSRでのすべりの可能性

- ・明瞭な分岐断層は認められない
- ・最先端部にはOSTが認められる
- ・深部反射面DSRで定常的滑りを提案？



Park et al. 2002



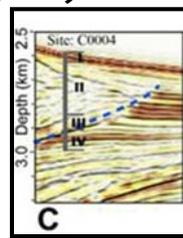
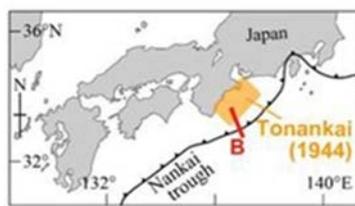
津波断層の活動痕

～地球深部探査船「ちきゅう」による南海トラフ地震発生帯掘削計画～

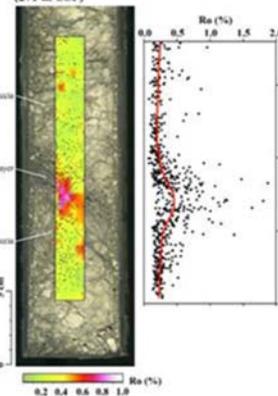


巨大分岐断層の浅部先端と海溝軸のプレート境界断層の断層面が摩擦溶融している。

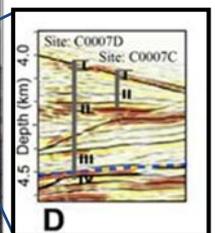
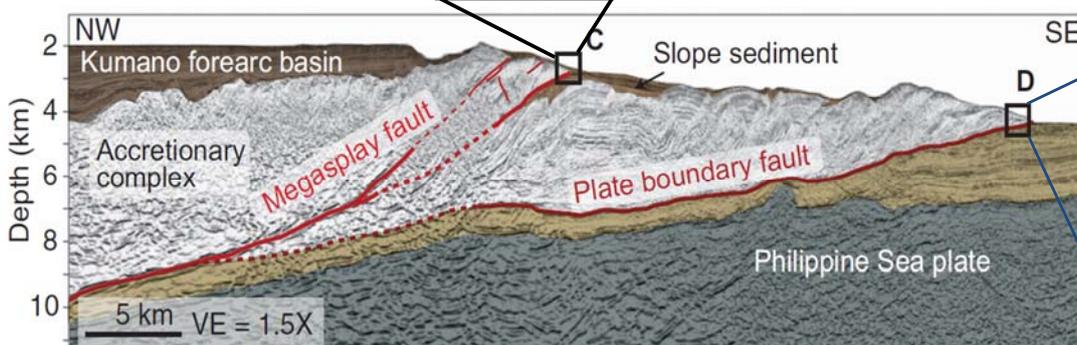
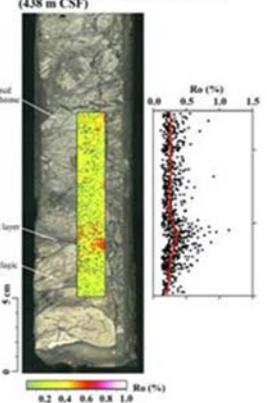
↓
海溝軸までの地震性高速すべり



C0004: Megasplay fault (271 m CSF)



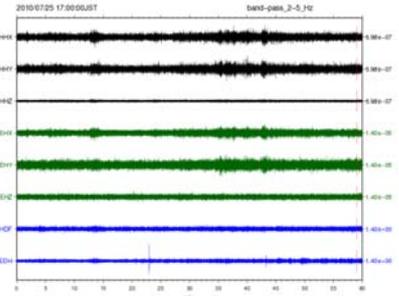
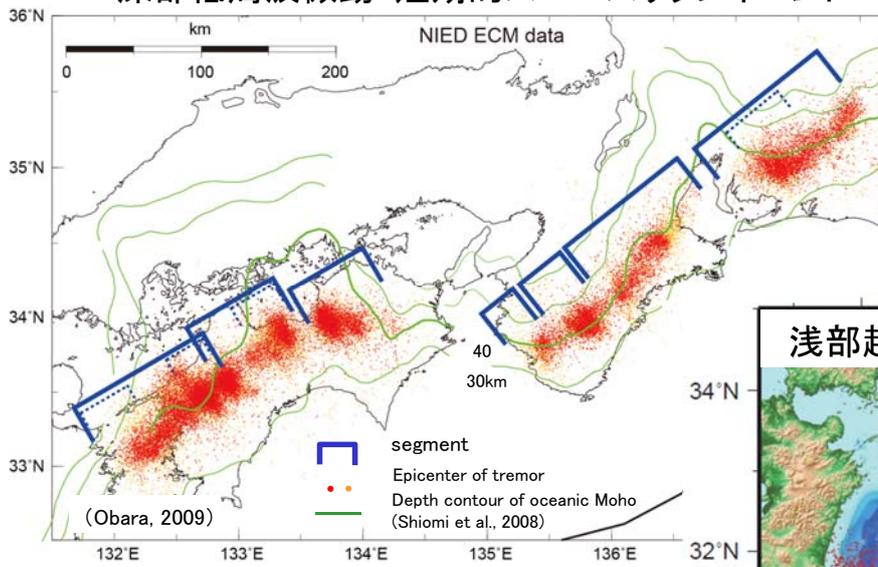
C0007: Plate boundary frontal thrust (438 m CSF)



第316次航海・南海トラフ地震発生帯掘削計画ステージ1

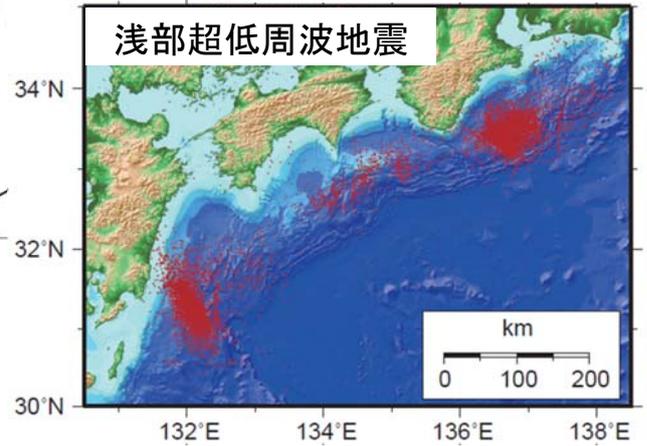
低周波地震の発生状況

深部低周波微動・短期的スロースリップイベント

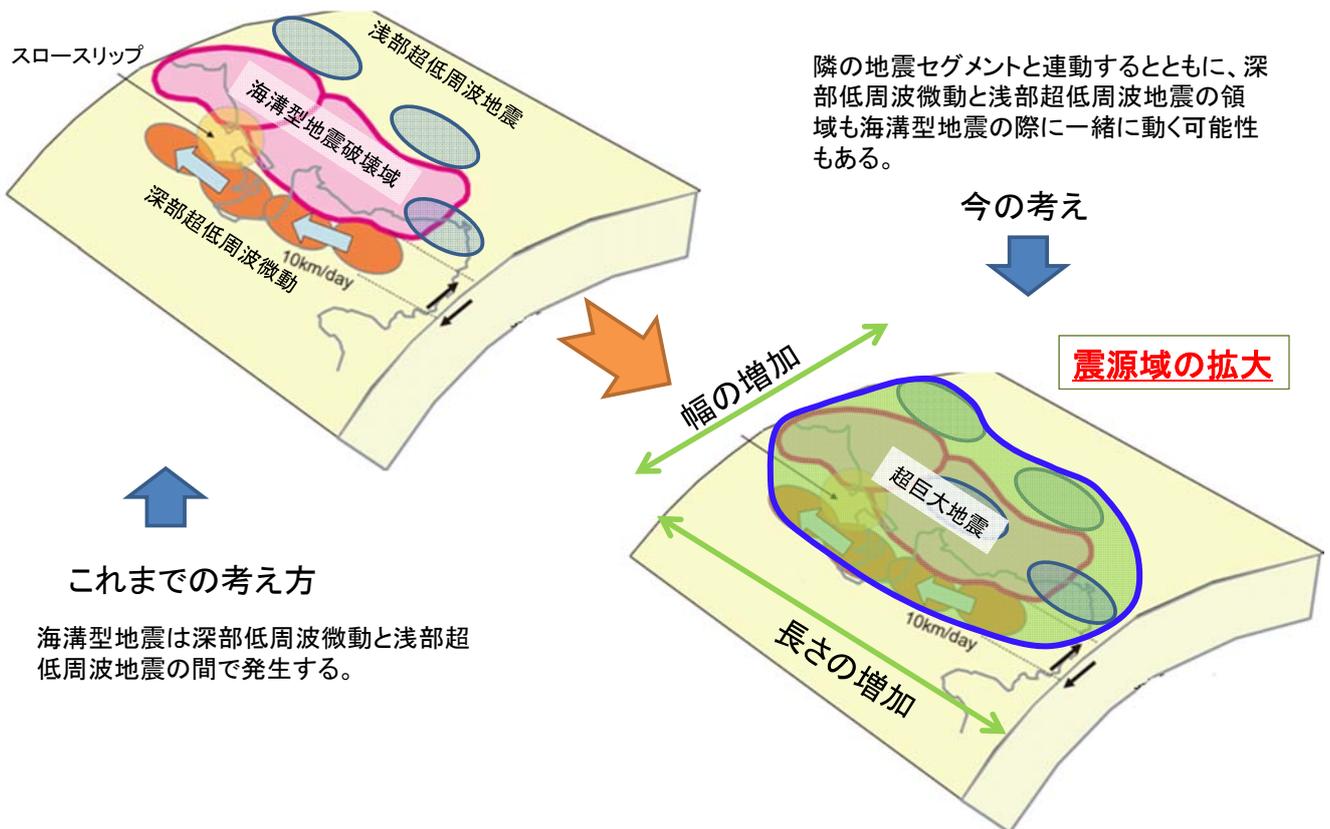


DONETの記録例

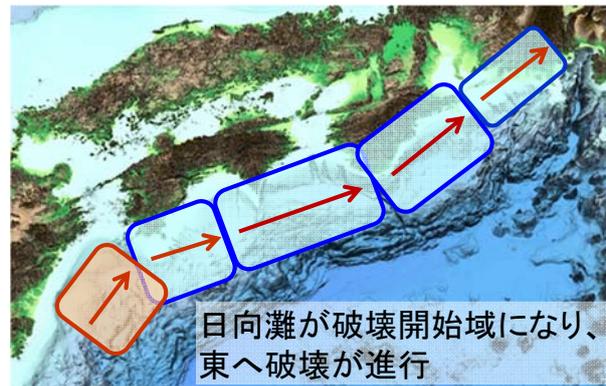
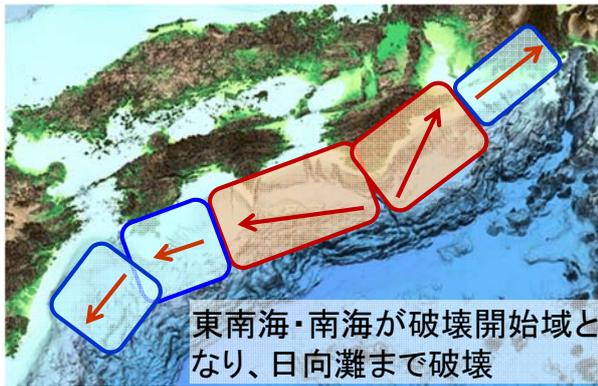
浅部超低周波地震



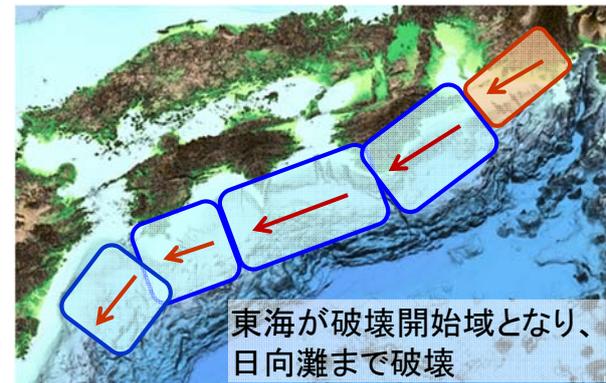
超巨大地震の可能性



南海トラフ巨大地震の発生シナリオ



想定されるシナリオの3例
+ 時間差連動の要素あり



南海トラフの巨大地震モデル検討会

金田委員提供資料

第3回会合

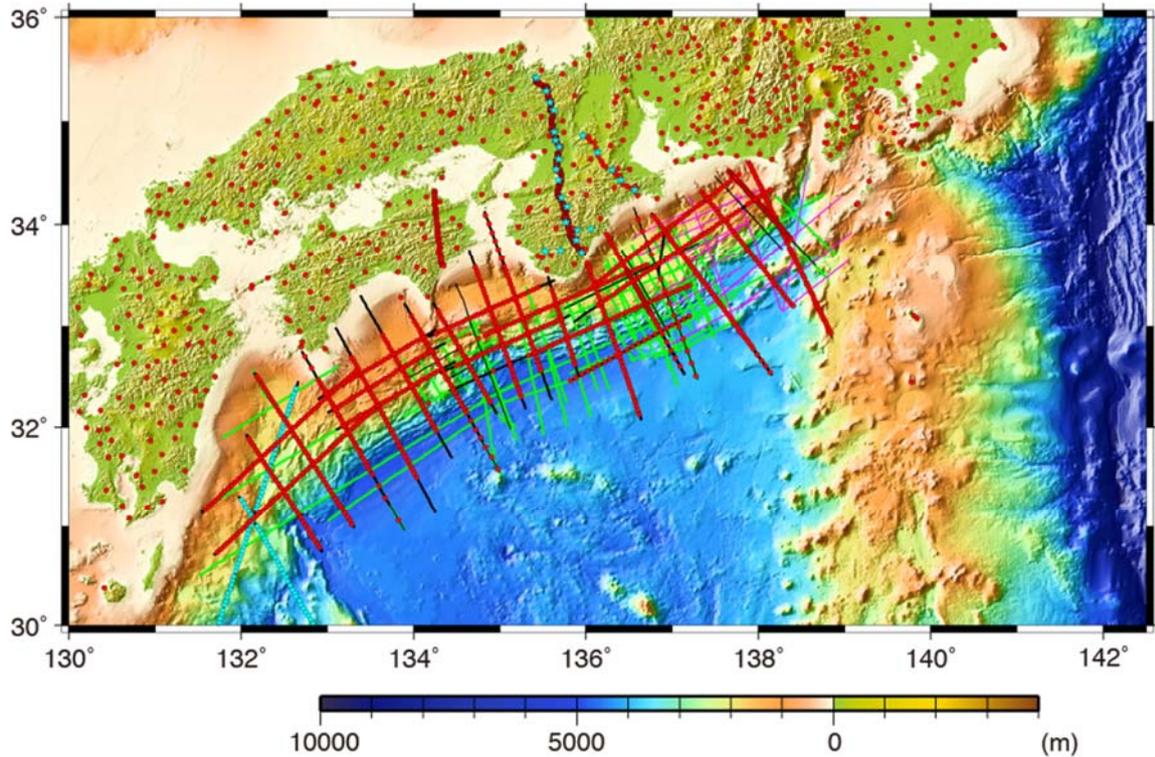
平成23年10月25日

これまでに実施した構造調査

探査も高精度化

●はOBS、陸上観測点

直線はエアガン測線



南海トラフ地震発生帯の構造の特徴

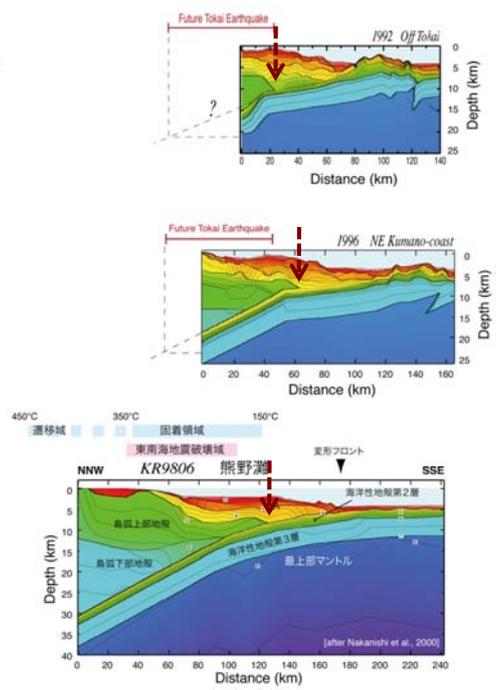
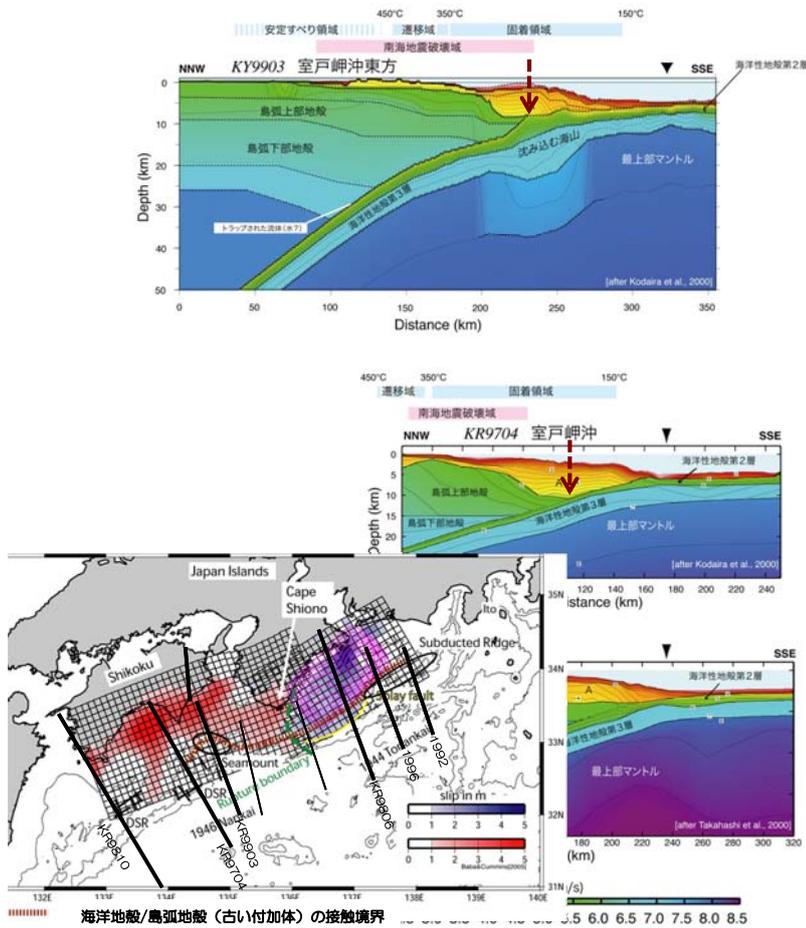
基本的な特徴

滑り分布、破壊域と構造の関係

- 滑り域上限
- 巨大地震のセグメント化
- 滑り域下限と深部低周波地震現象
- 銭洲海嶺周辺の特徴

南海トラフ地震発生帯滑り域

= 海洋地殻/島弧側の地殻(古い付加体)の接触境界

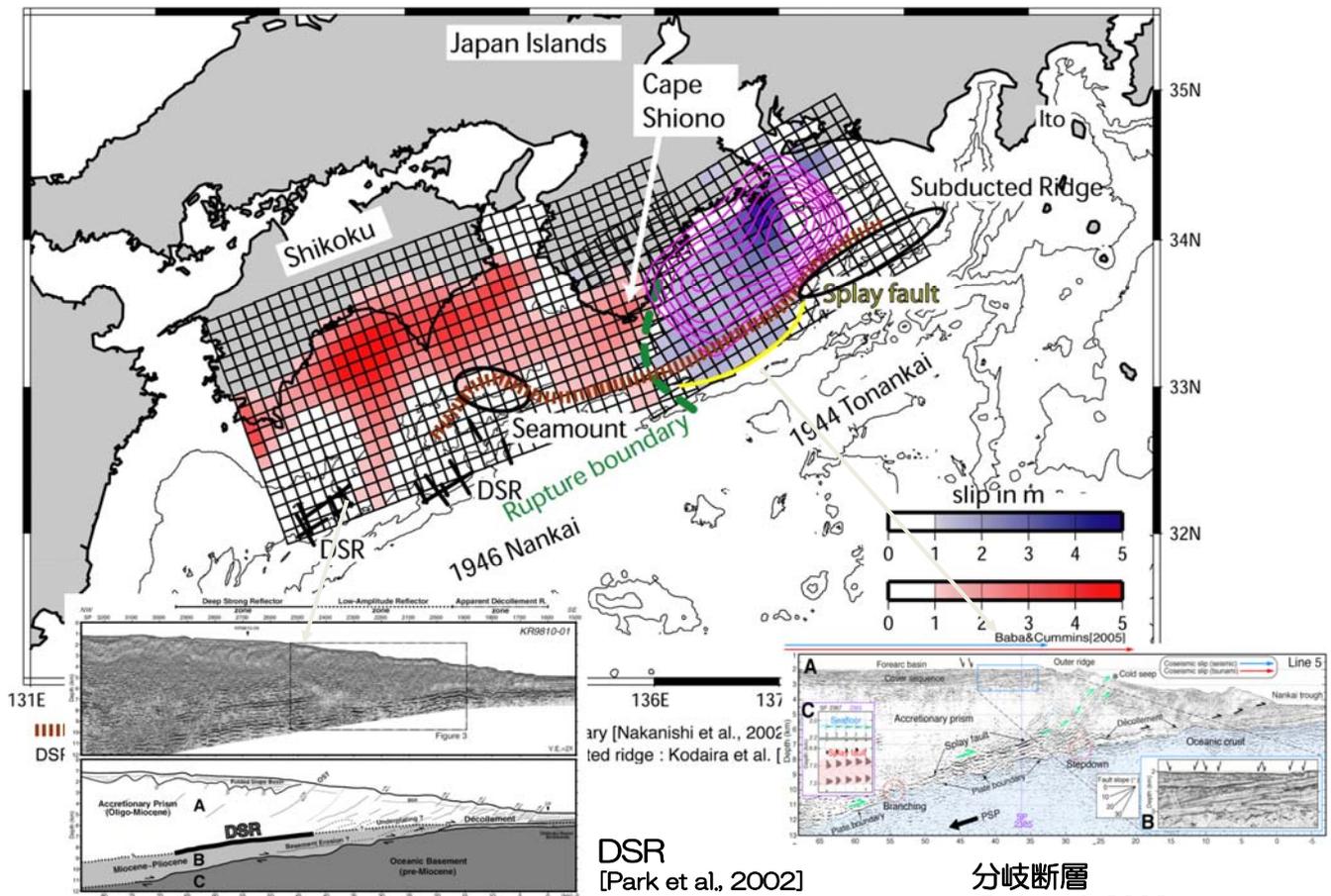


基本的な特徴

プレート境界面からの反射が不明瞭

海洋地殻第2層・3層境界からの反射が顕著

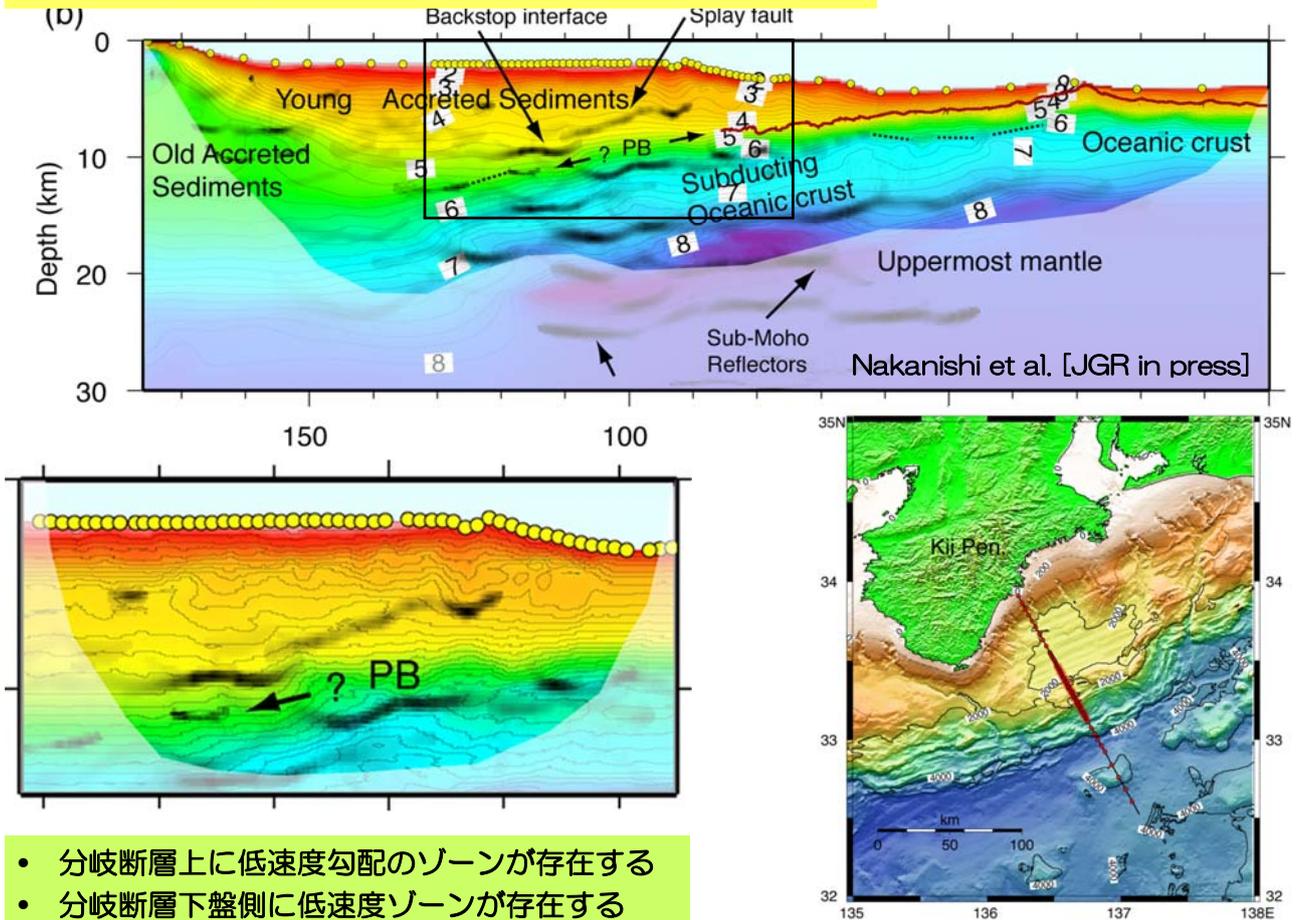
南海トラフ地震発生帯滑り域 = 海洋地殻/島弧側の地殻(古い付加体)の接触境界



DSR [Park et al., 2002]

分岐断層 [Park et al., 2002]

分岐断層深部の詳細地震波速度構造

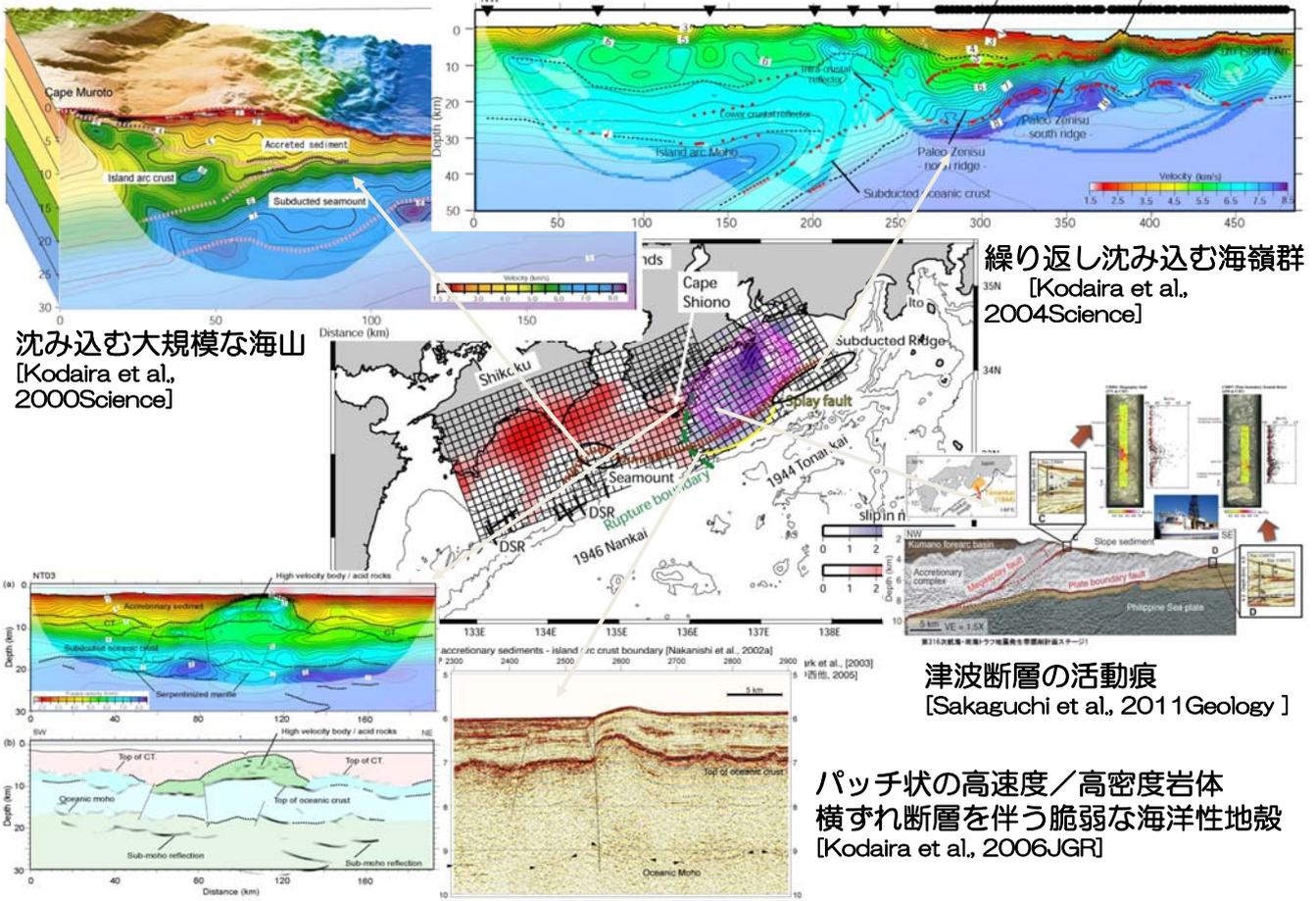


南海トラフ地震発生帯の構造の特徴

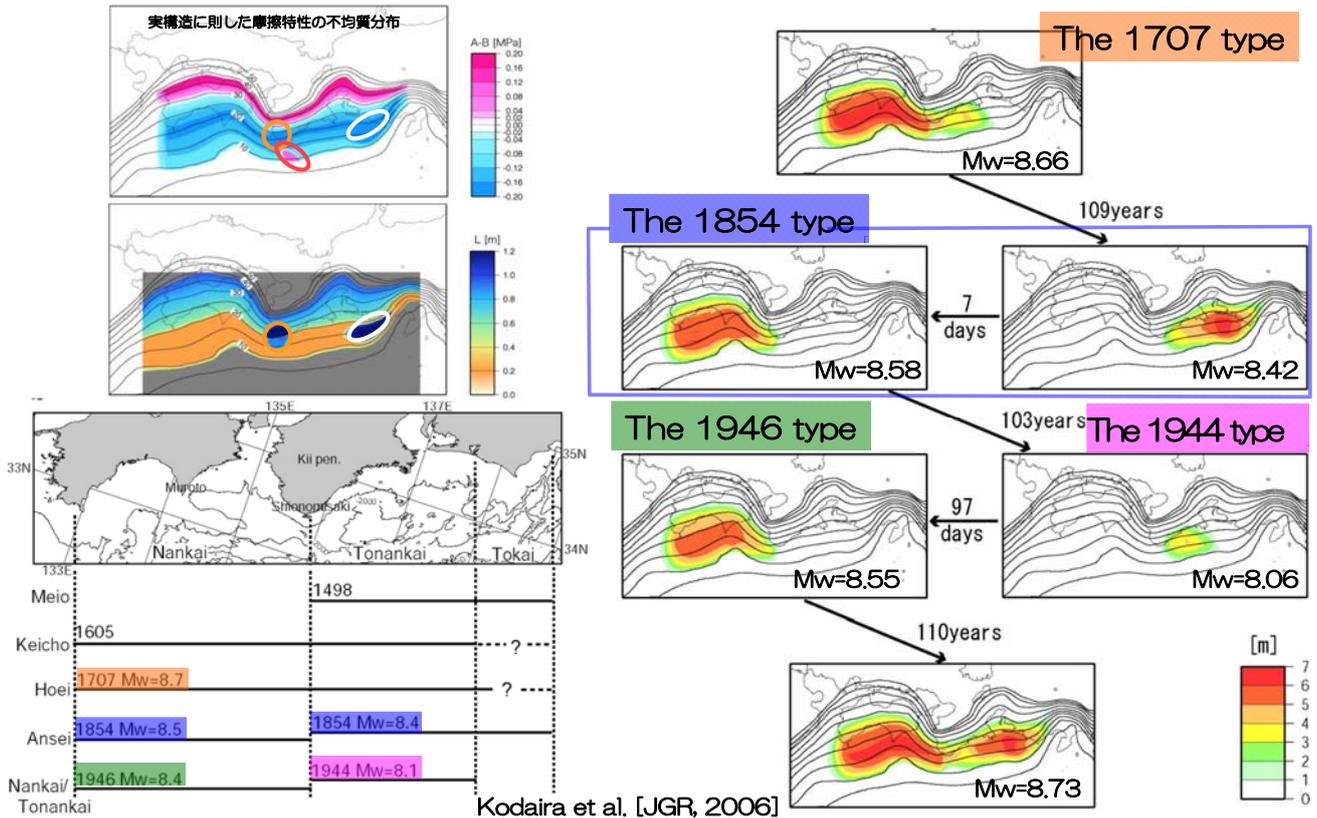
滑り分布と構造の関係

- 滑り域上限(南海東側～ 東南海)
 - 海洋地殻と島弧側の地殻(古い付加体)のコンタクト境界の上限が滑り域上限に対応
 - 分岐断層発達域は東南海地震(1944)の熊野灘外縁の滑り域に対応
 - 周辺に低速度領域が確認された
- 巨大地震のセグメント化
- 滑り域下限と深部低周波地震現象
- 銭洲海嶺周辺の特徴

南海トラフ地震発生帯滑り域を規定すると考えられる構造



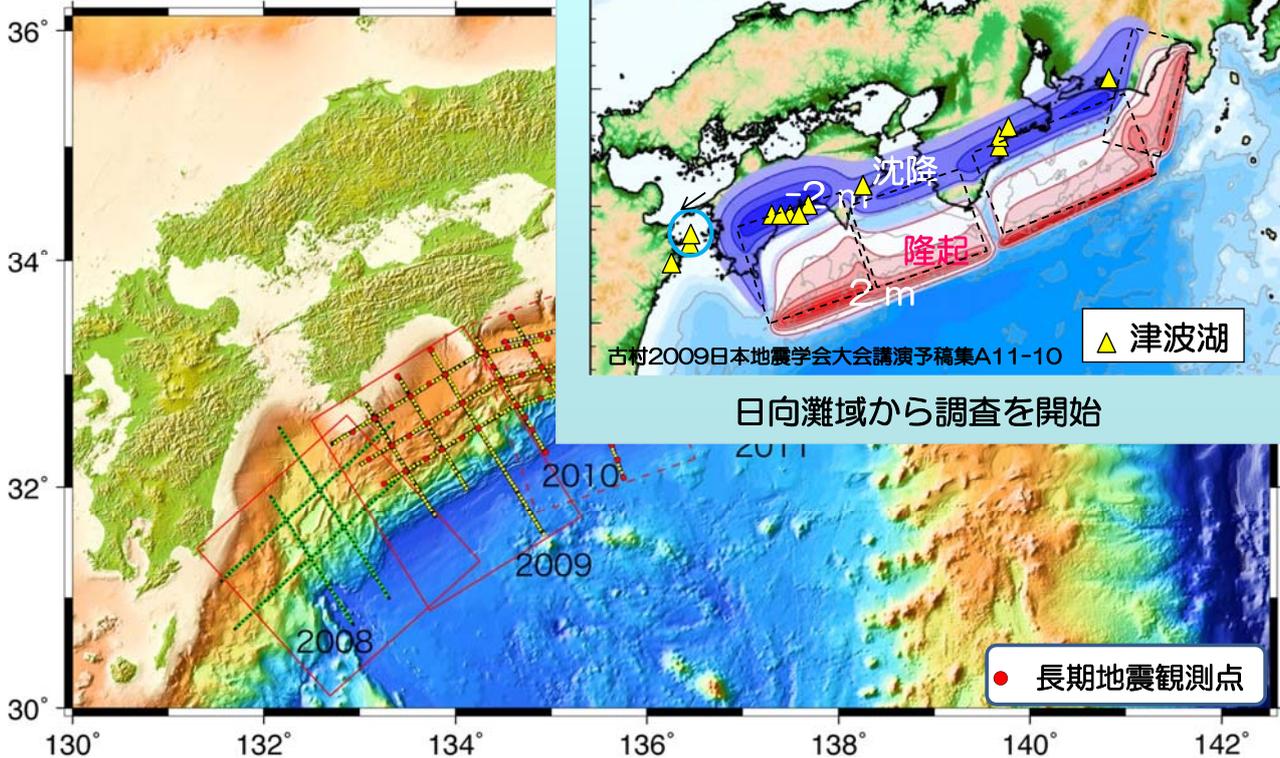
地震発生サイクルシミュレーションによる地震時の滑り分布



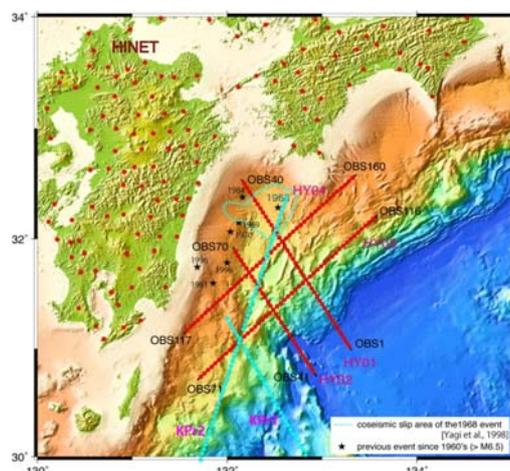
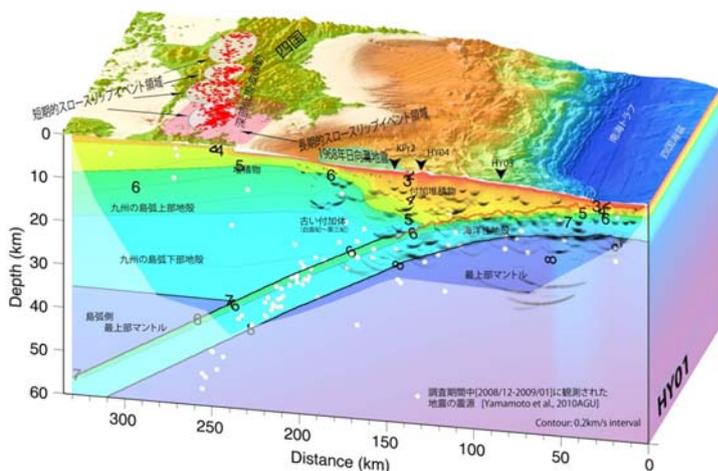
- 従来のプレート境界モデルには観測データに基づく媒質情報は導入されていない
→ 上述の構造調査の研究成果を反映させた摩擦特性の不均質分布を仮定
- 過去の地震サイクルの発生パターンを大局的に再現することに成功

南海トラフ域

従来の宝永地震モデルは日向灘まで破壊は広がらない → 津波湖のデータと矛盾



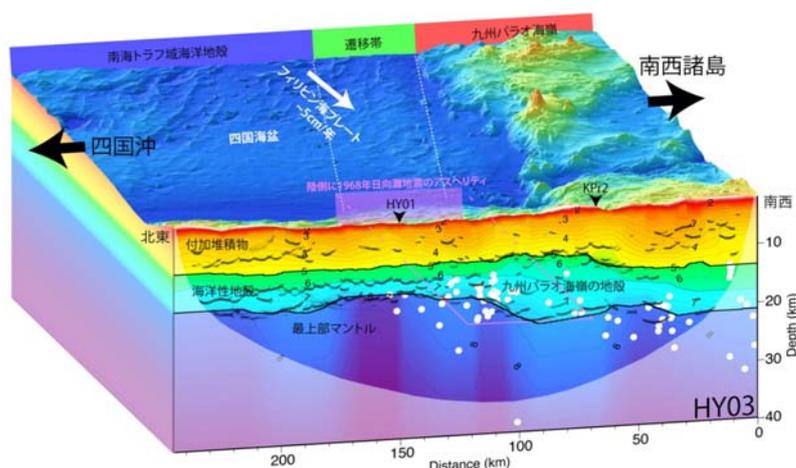
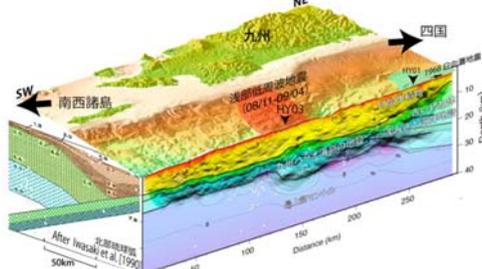
概査から精査へ：均質な空間密度をもつ高密度測線による詳細観測



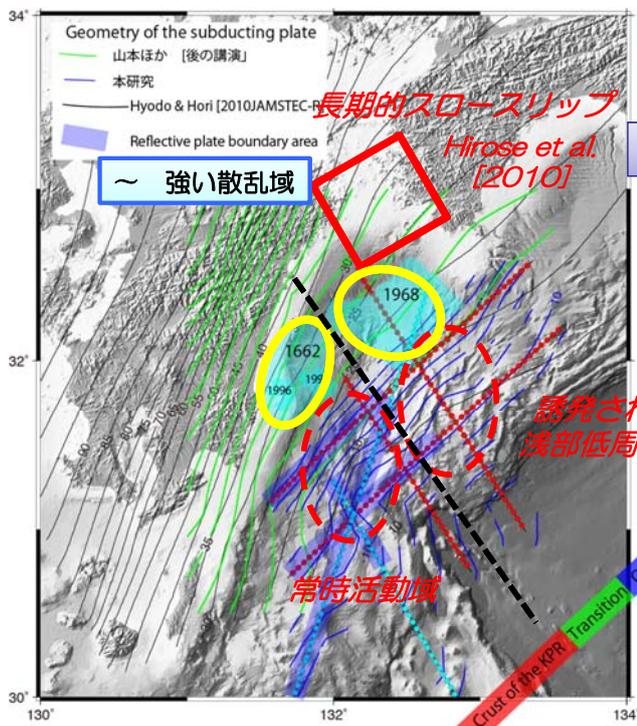
プレート境界面が明瞭に

フィリピン海プレートの地殻

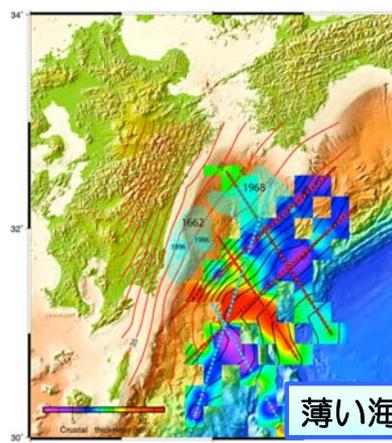
薄い四国海盆側海洋地殻～厚い九州パラオ海嶺地殻を経て北部琉球弧の海洋地殻へと続く



プレート形状、構造の特徴と地震現象

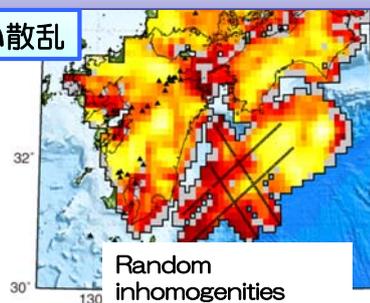


遷移帯：1968年日向灘地震のアスペリティ



九パラ域: VLF & 1662年津波波源域

赤: 強い散乱



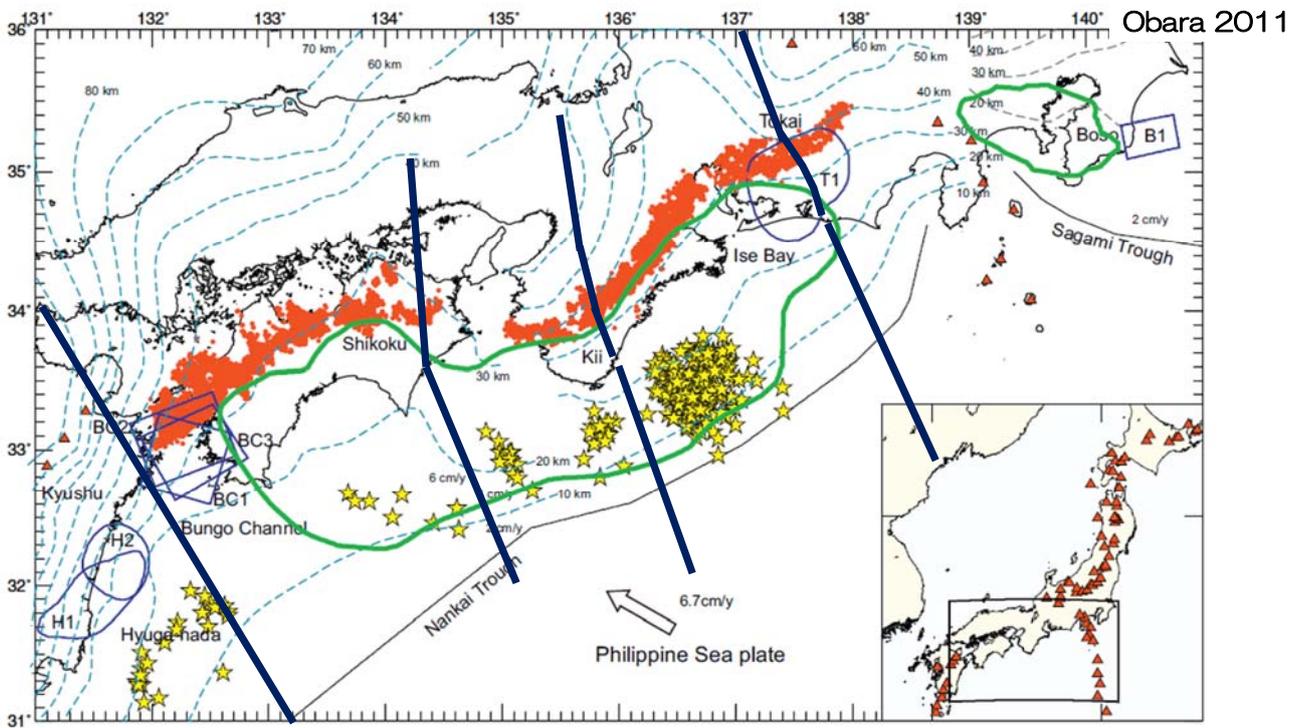
九パラ域の両端がセグメント境界
プレート境界物性、地震発生帯媒質特性の変化を示唆

大地震と低周波地震の活動様式の違いにも対応する
構造の違いが見えてきた

南海トラフ地震発生帯の構造の特徴

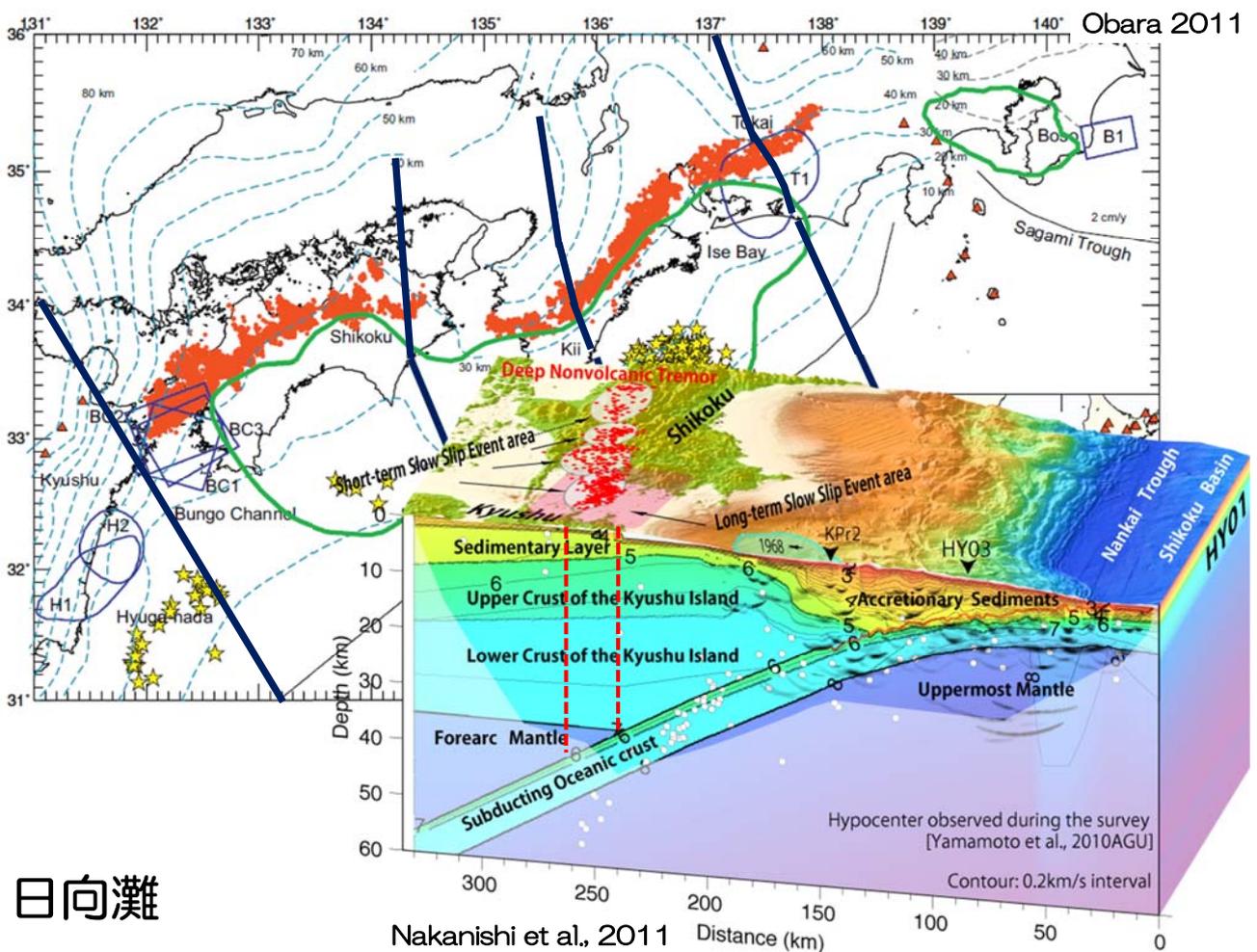
滑り分布と構造の関係

- 滑り域上限(南海東側～ 東南海)
 - 海洋地殻と島弧側の地殻(古い付加体)のコンタクト境界の上限が滑り域上限に対応
 - 分岐断層発達域は東南海地震(1944)の熊野灘外縁の滑り域に対応
 - 周辺に低速度領域が確認された
- 巨大地震のセグメント化
 - 特異な構造(海山等)を含むプレート形状がセグメント境界や滑り域を規程
 - 沈み込む海山、海嶺、高密度・高速度岩体の存在、破碎された海洋地殻
 - 東南海／東海セグメント境界
 - プレート形状が尾根状
 - 東西でプレートの凹凸度が異なり、滑り様式の違いに対応
 - 連動性巨大地震の西縁
 - 四国海盆から九州パラオ海嶺への構造変化に対応
- 滑り域下限と深部低周波地震現象
- 銭洲海嶺周辺の特徴



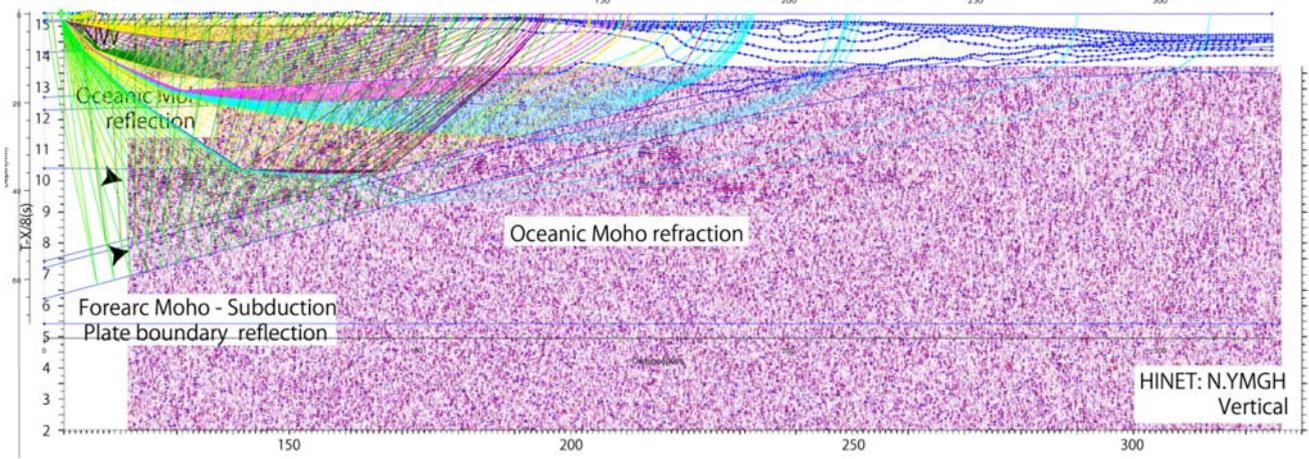
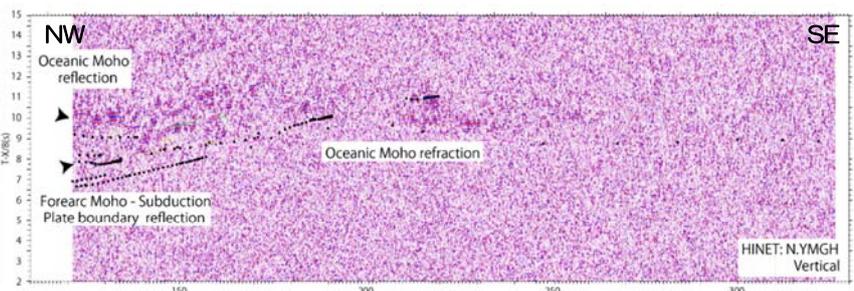
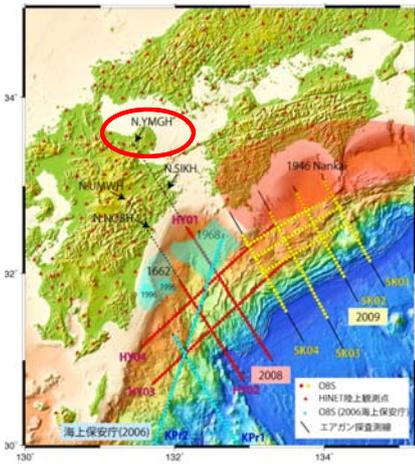
Obara 2011

JAMSTECによる海陸統合調査測線

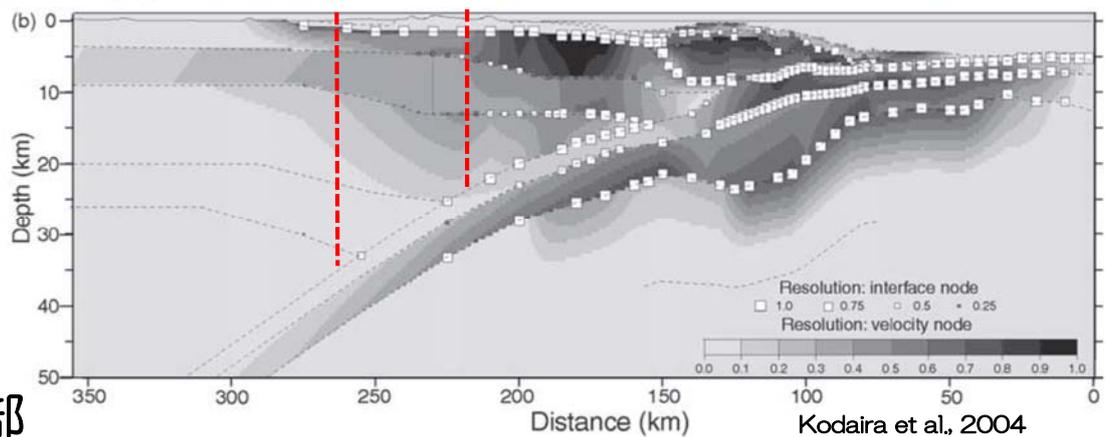
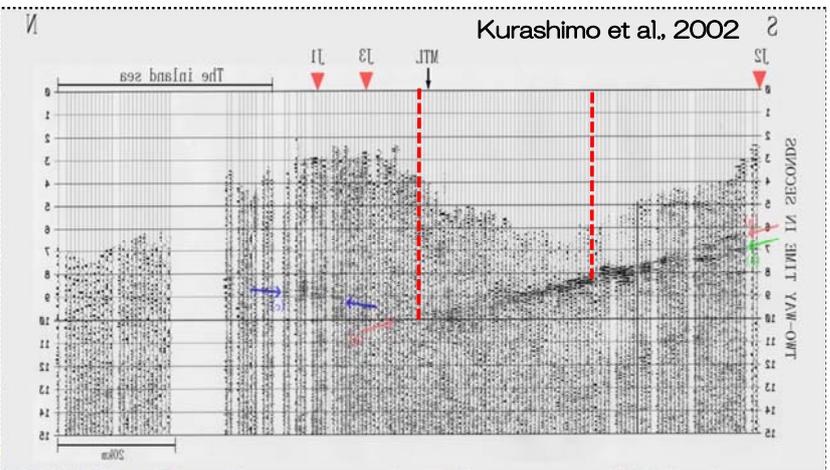
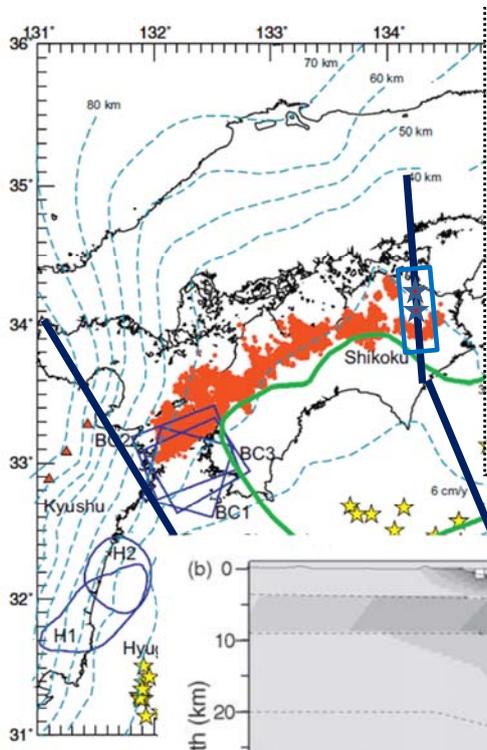


日向灘

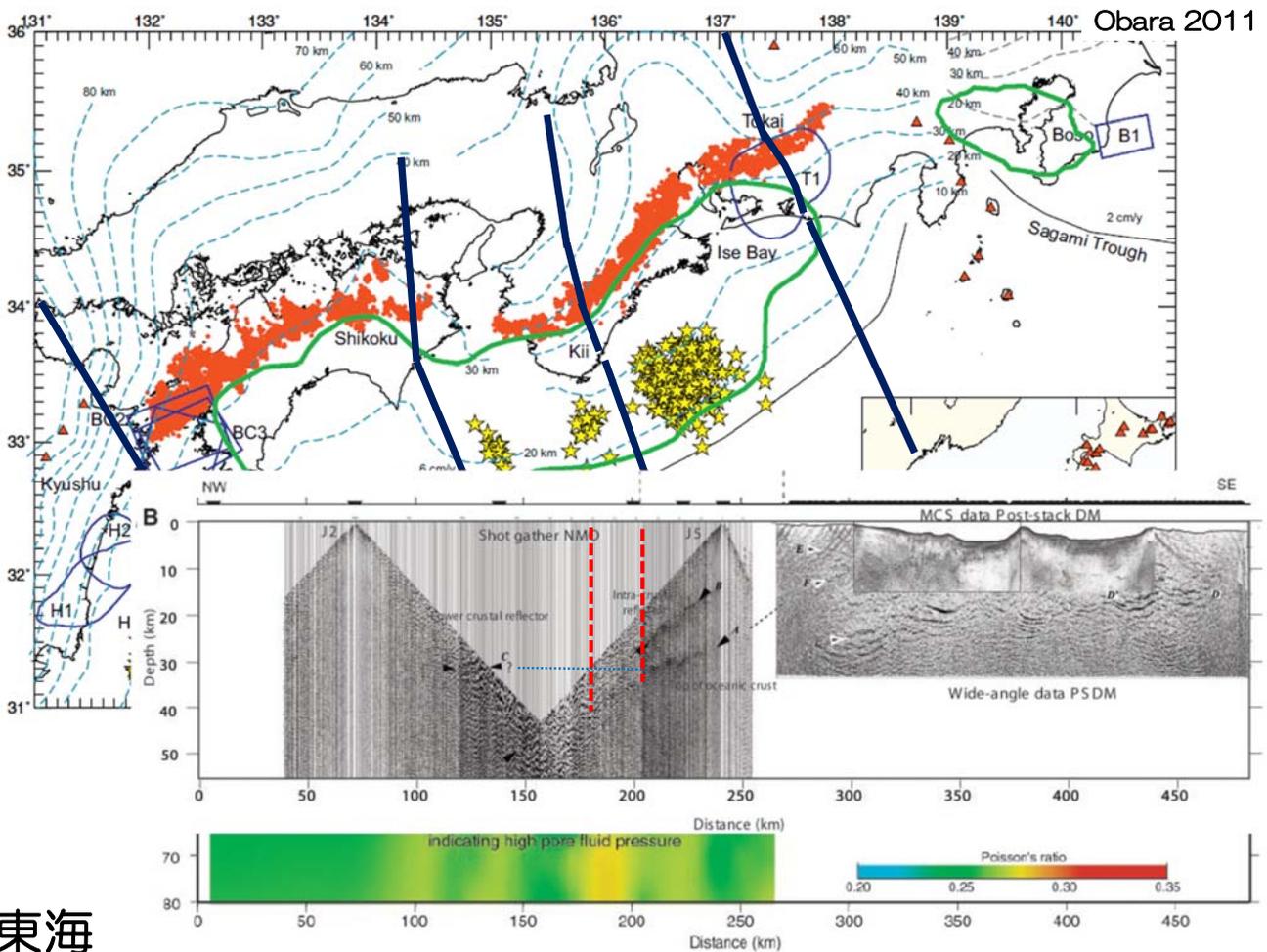
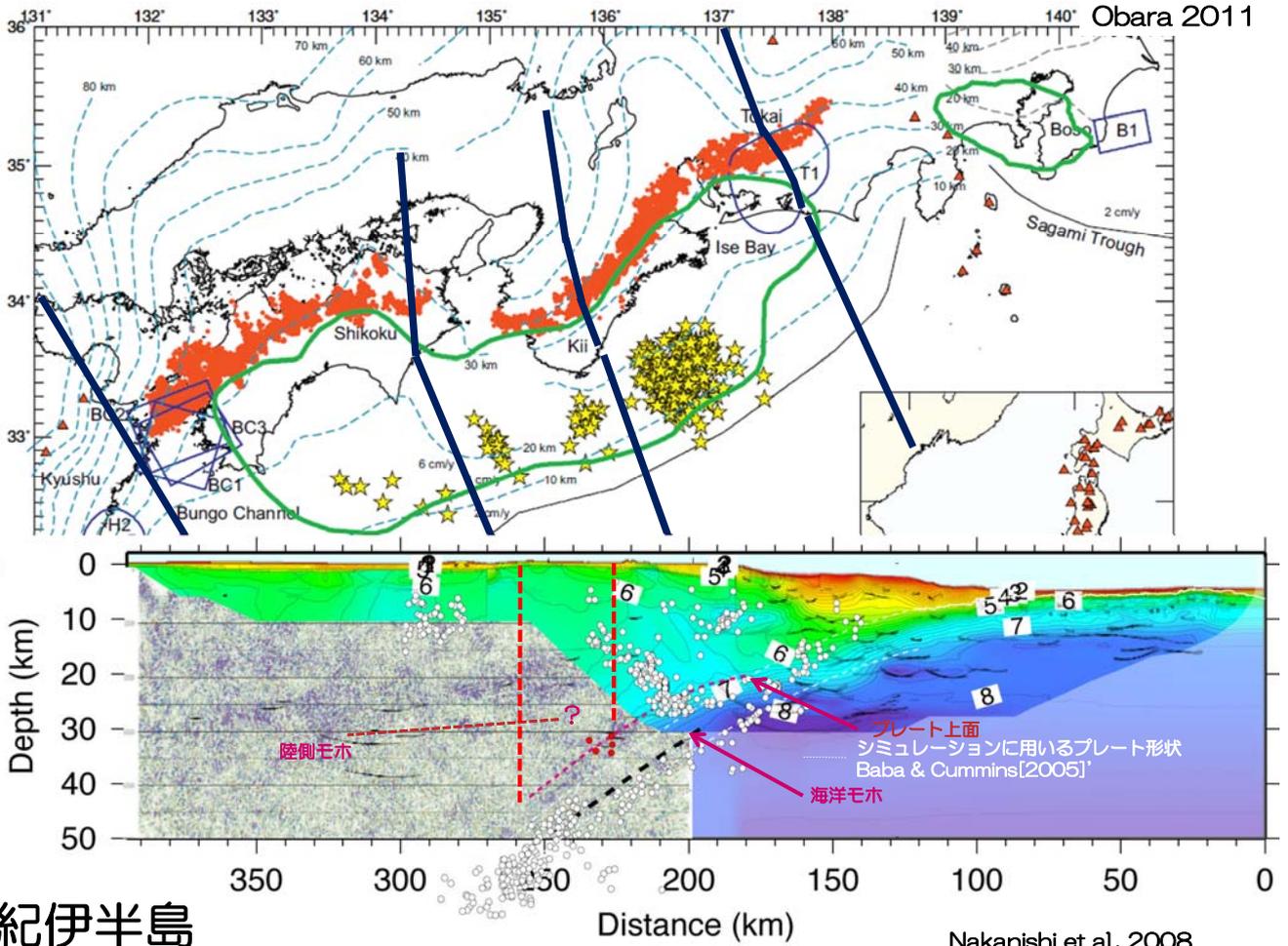
Hi-net観測点で得られた エアガン記録(例)



陸側のモホ面の深さは約35km



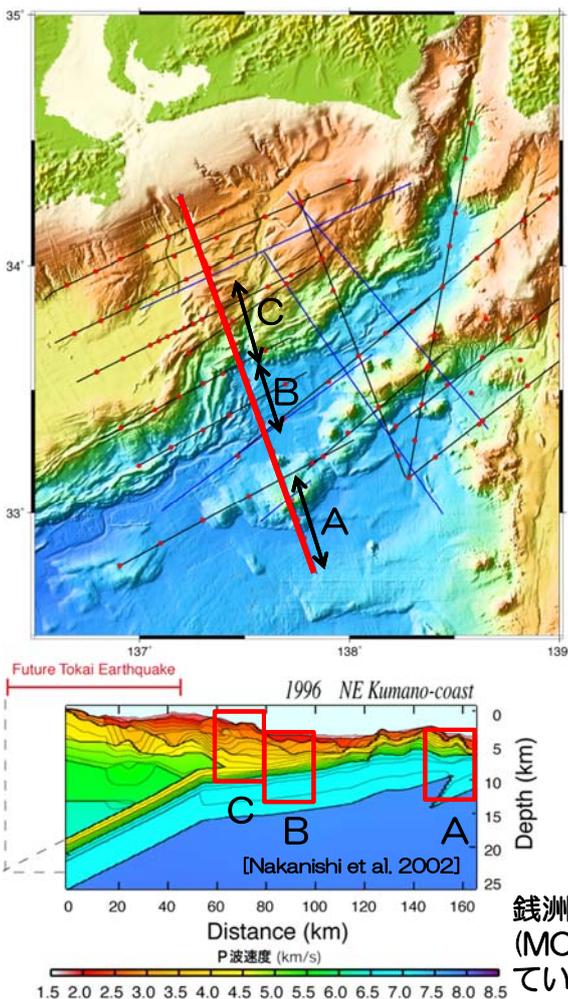
四国東部



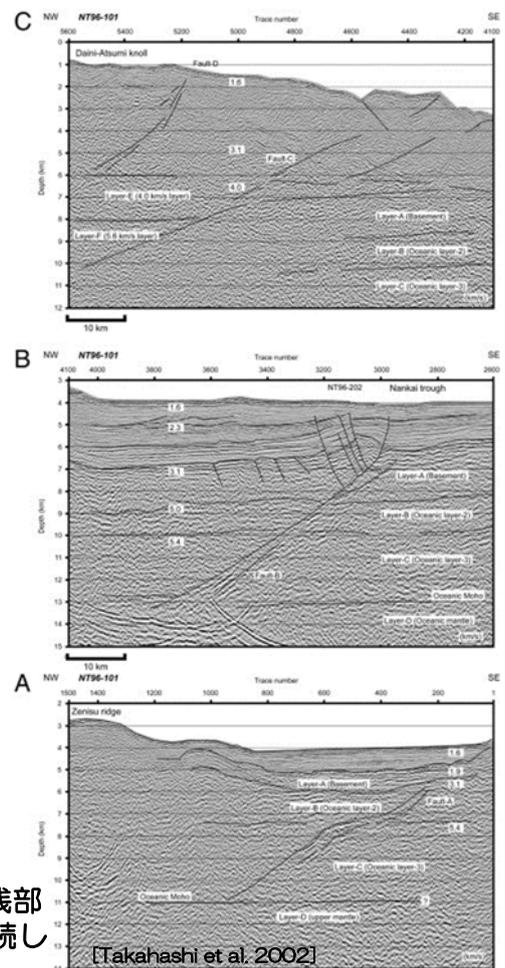
南海トラフ地震発生帯の構造の特徴

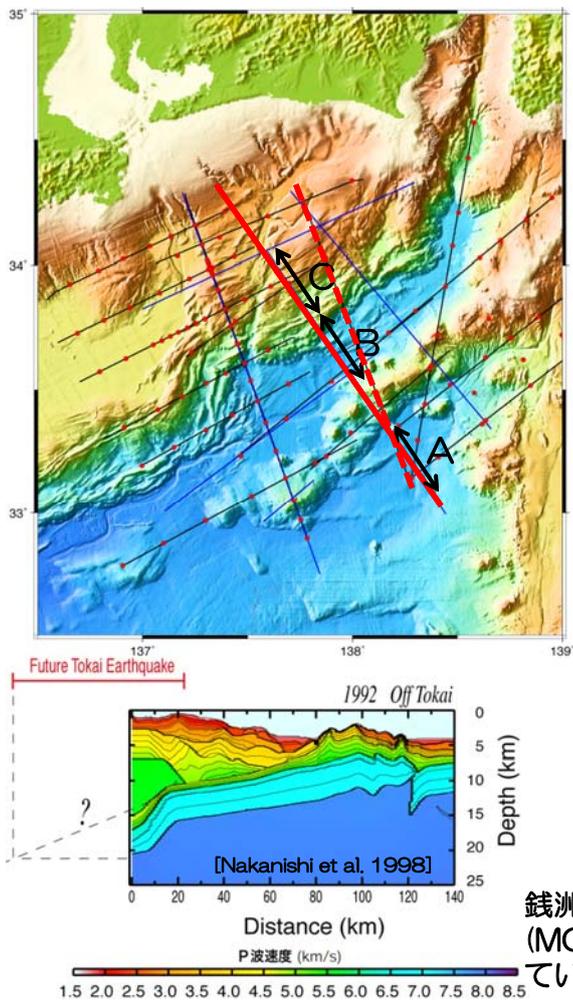
滑り分布と構造の関係

- Updip(南海東側～ 東南海)
 - 海洋地殻と島弧側の地殻(古い付加体)のコンタクト境界の上限が滑り域上限に対応
 - 分岐断層発達域は東南海地震(1944)の熊野灘外縁の滑り域に対応
 - 周辺に低速度領域が確認された
- 巨大地震のセグメント化
 - 特異な構造(海山等)を含むプレート形状がセグメント境界や滑り域を規程
 - 沈み込む海山、海嶺、高密度・高速度岩体の存在、破碎された海洋地殻
 - 東南海/東海セグメント境界
 - プレート形状が尾根状
 - 東西でプレートの凹凸度が異なり、滑り様式の違いに対応
 - 連動性巨大地震の西縁
 - 四国海盆から九州パラオ海嶺への構造変化に対応
- 滑り域下限と深部低周波地震現象
 - 深部低周波地震は沈み込むプレートと陸側モホの接合部のすぐ深い側のプレート上面周辺で起きている
 - Forearc Mohoと沈み込むプレートの接合部の深さは日向灘で約35km、潮岬で約32km。四国東部、東海も類似の深さ。
 - より詳細な深部構造把握のために稠密な海陸統合調査が必要
- 銭洲海嶺周辺の特徴

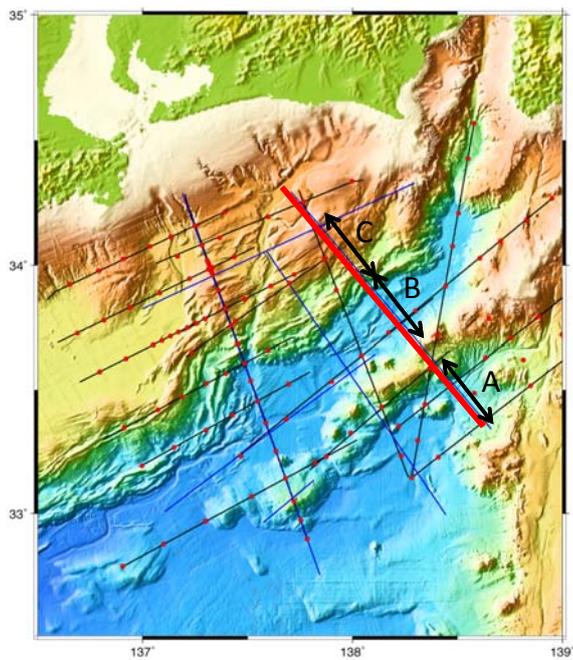
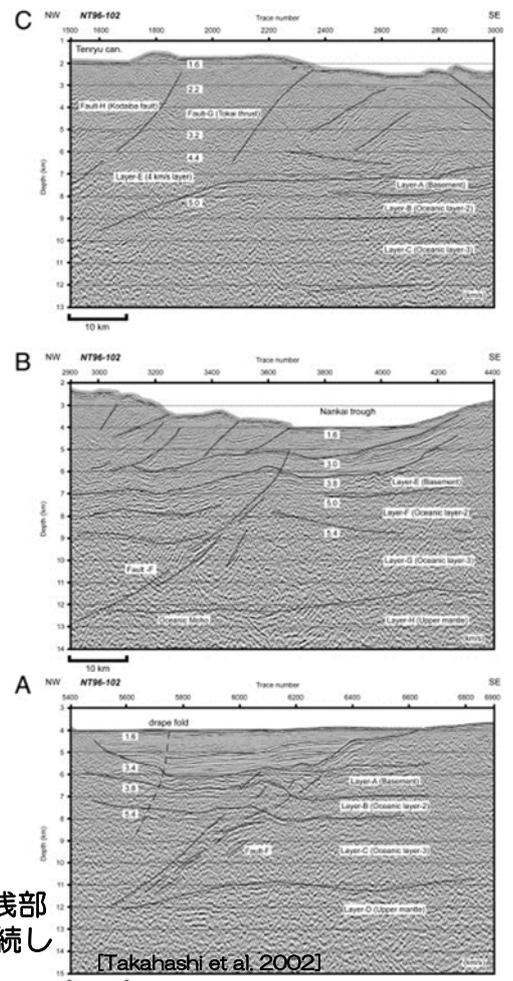


銭洲海嶺南縁の断層は浅部(MCS)から深部まで連続している

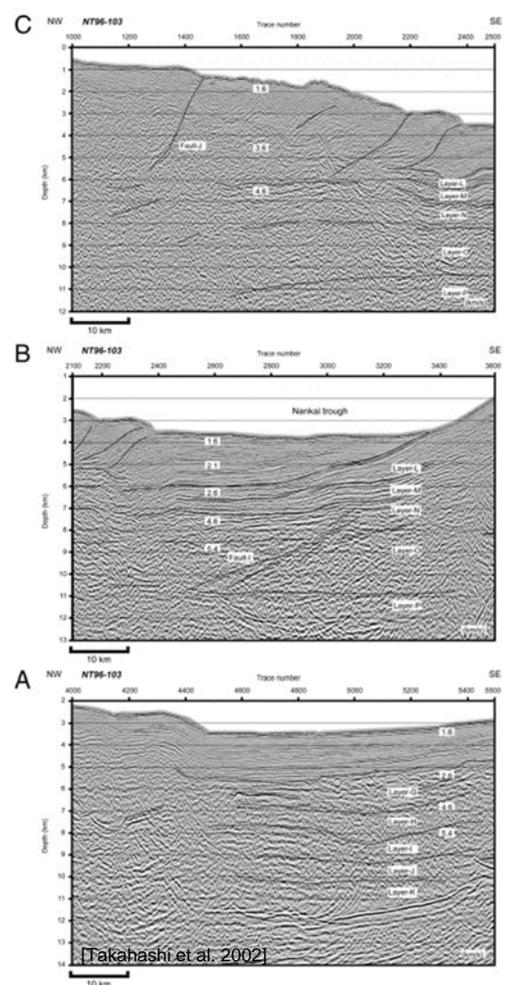


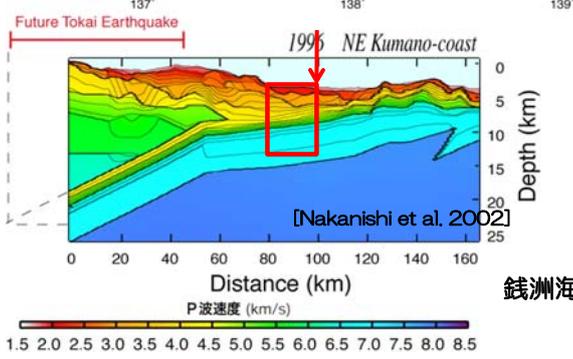
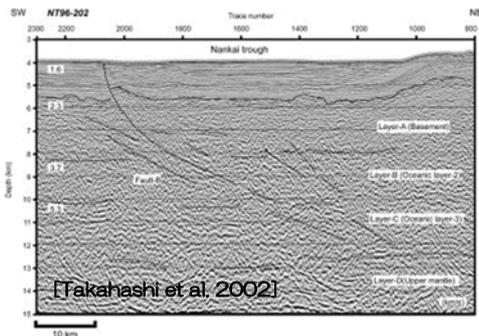
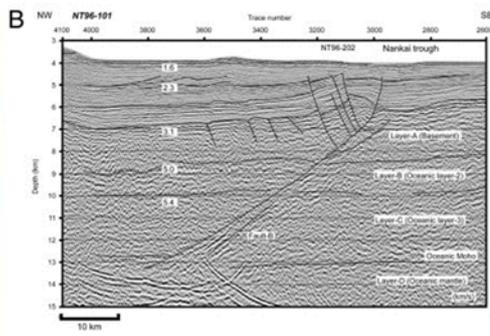
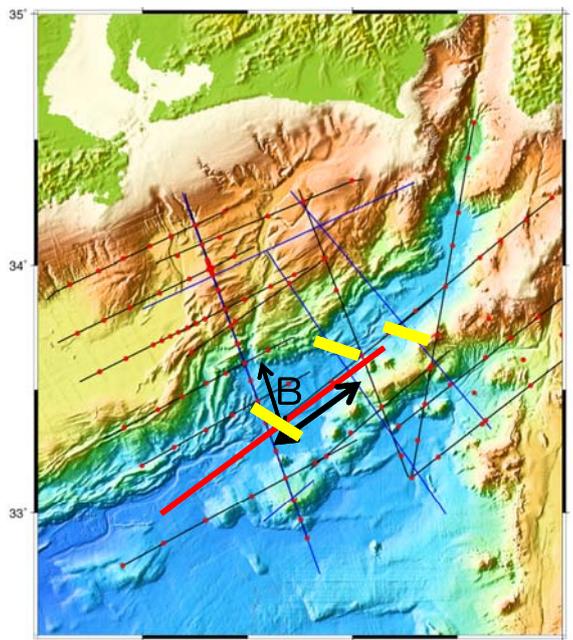


銭洲海嶺南縁の断層は浅部(MCS)から深部まで連続している

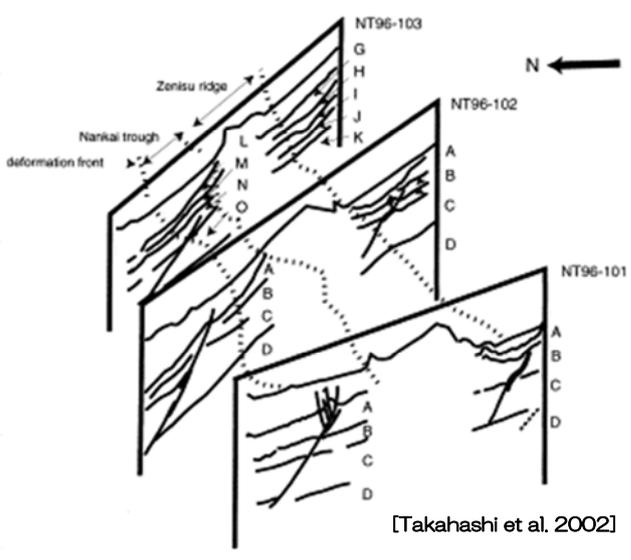
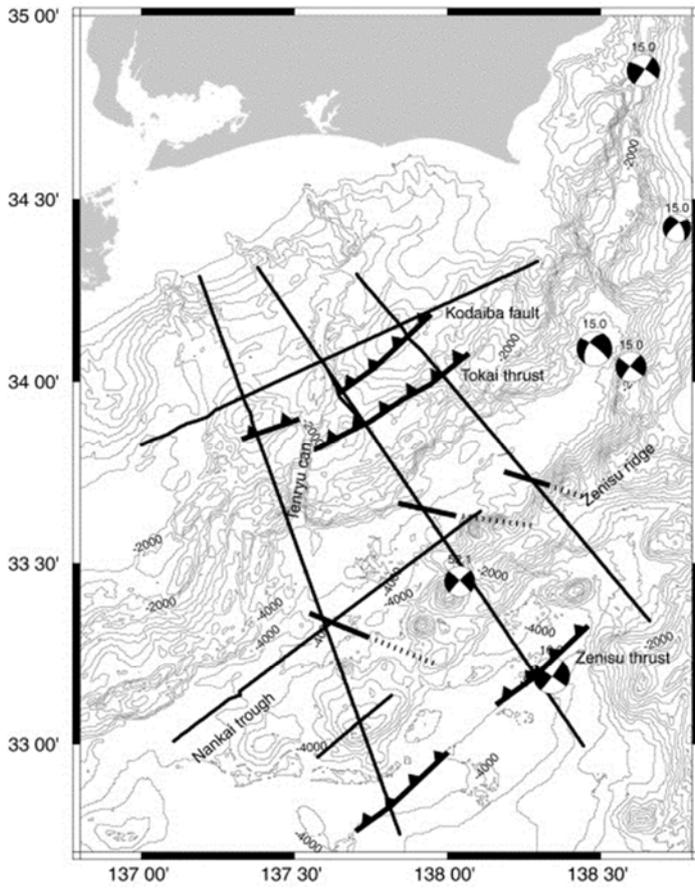


銭洲海嶺東部(伊豆小笠原島弧との接合部付近)では、海洋性地殻とは異なる構造となっており、海嶺南縁の断層も存在しない

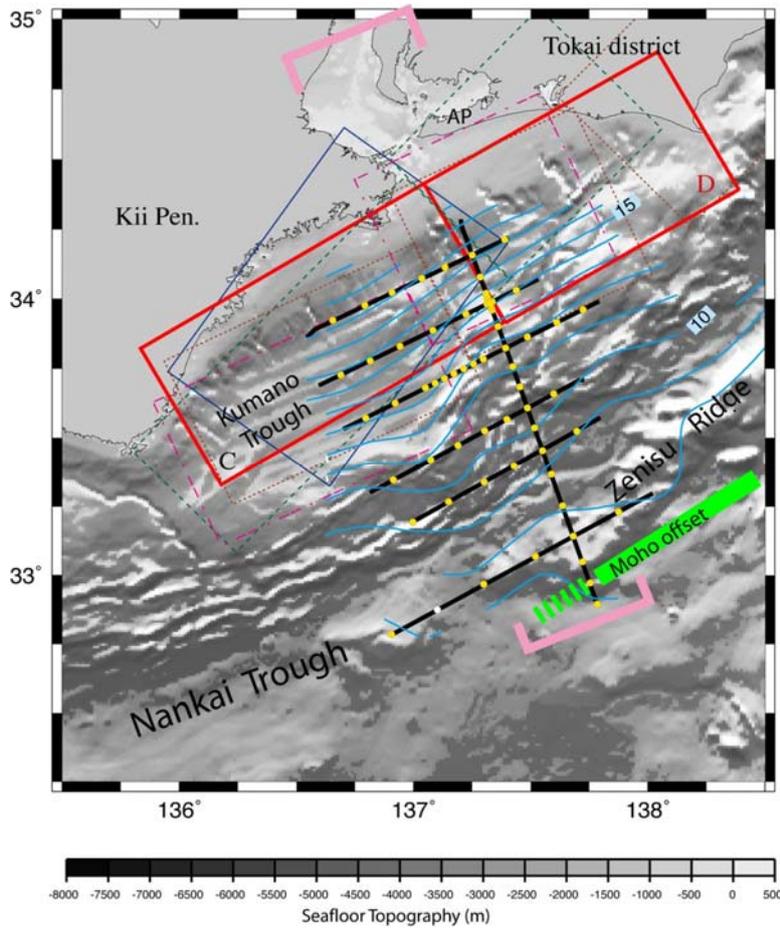




銭洲海嶺北側に北西—南東方向（銭洲海嶺の走向に直交）の横ずれ断層



[Takahashi et al. 2002]



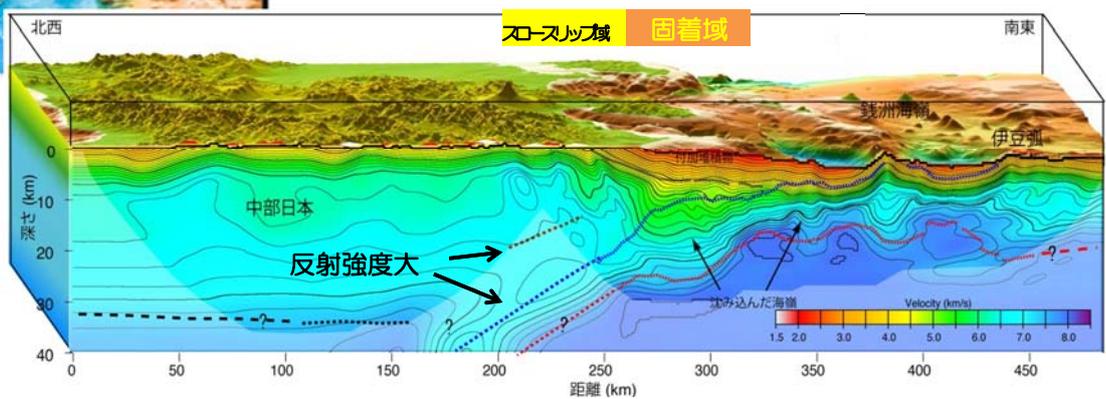
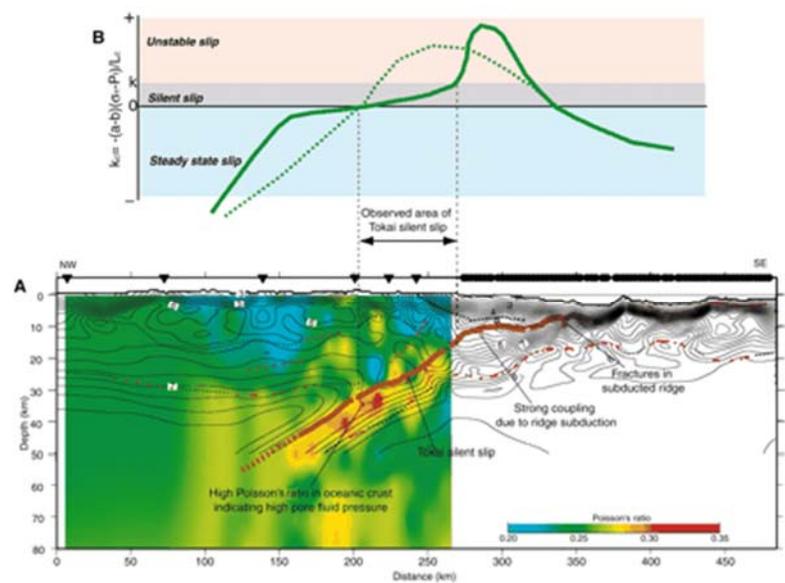
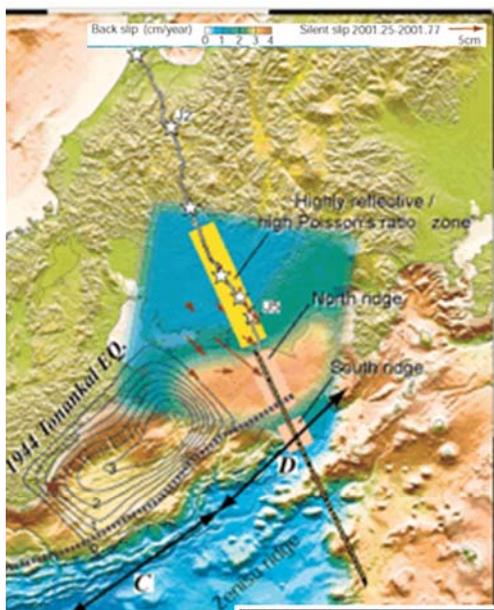
海洋地殻第2・第3層境界面形状
形状

尾根状の形状を示す範囲（ピンク）

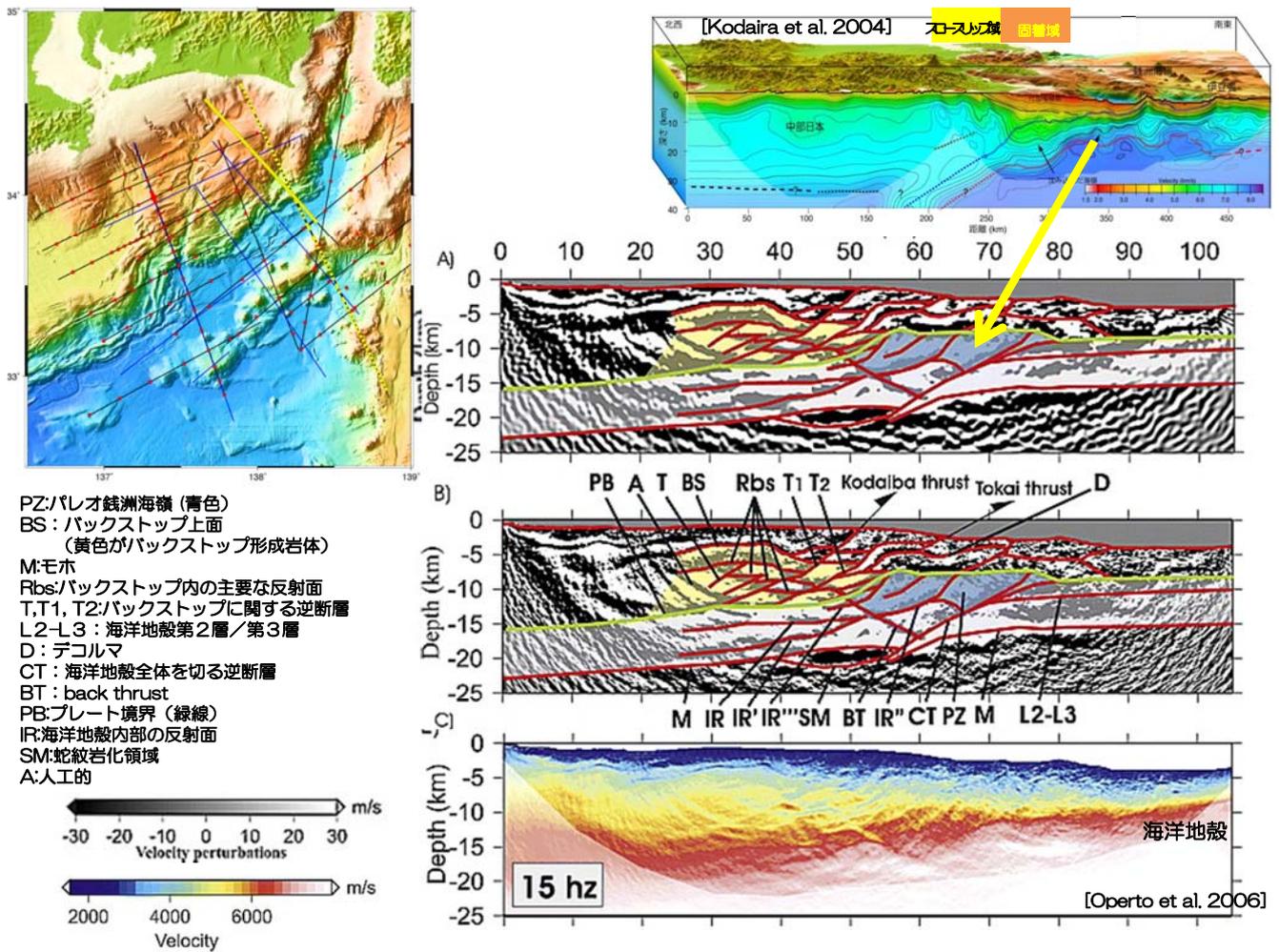
銭洲海嶺南縁のMohoオフセットの
存在範囲の西縁

= 何らかの構造境界であり、巨
大地震のセグメントを規定？

Nakanishi et al., 2002



[Kodaira et al. 2004]



南海トラフ地震発生帯の構造の特徴

滑り分布と構造の関係

- Updip(南海東側～ 東南海)
 - 海洋地殻と島弧側の地殻(古い付加体)のコンタクト境界の上限が滑り域上限に対応
 - 分岐断層発達域は東南海地震(1944)の熊野灘外縁の滑り域に対応
 - 周辺に低速度領域が確認された
- 巨大地震のセグメント化
 - 特異な構造(海山等)を含むプレート形状がセグメント境界や滑り域を規程
 - 沈み込む海山、海嶺、高密度・高速度岩体の存在、破碎された海洋地殻
 - 東南海/東海セグメント境界
 - プレート形状が尾根状
 - 東西でプレートの凹凸度が異なり、滑り様式の違いに対応
 - 連動性巨大地震の西縁
 - 四国海盆から九州パラオ海嶺への構造変化に対応
- 滑り域下限と深部低周波地震現象
 - 深部低周波地震は沈み込むプレートと陸側モホの接合部のすぐ深い側のプレート上面周辺で起きている
 - Forearc Mohoと沈み込むプレートの接合部の深さは日向灘で約35km、潮岬で約32km。四国東部、東海も類似の深さ。
 - より詳細な深部構造把握のために稠密な海陸統合調査が必要
- 銭洲海嶺周辺の特徴
 - 古銭洲海嶺群が沈み込んでいる
 - 銭洲海嶺南縁に海洋地殻を切るような反射面が存在し、プレート形状が複雑な領域となっている

南海トラフの巨大地震モデル検討会

橋本委員提供資料

第1回会合

平成23年8月28日

「南海トラフの巨大地震モデル検討会」(第1回:2011年8月28日)提出資料

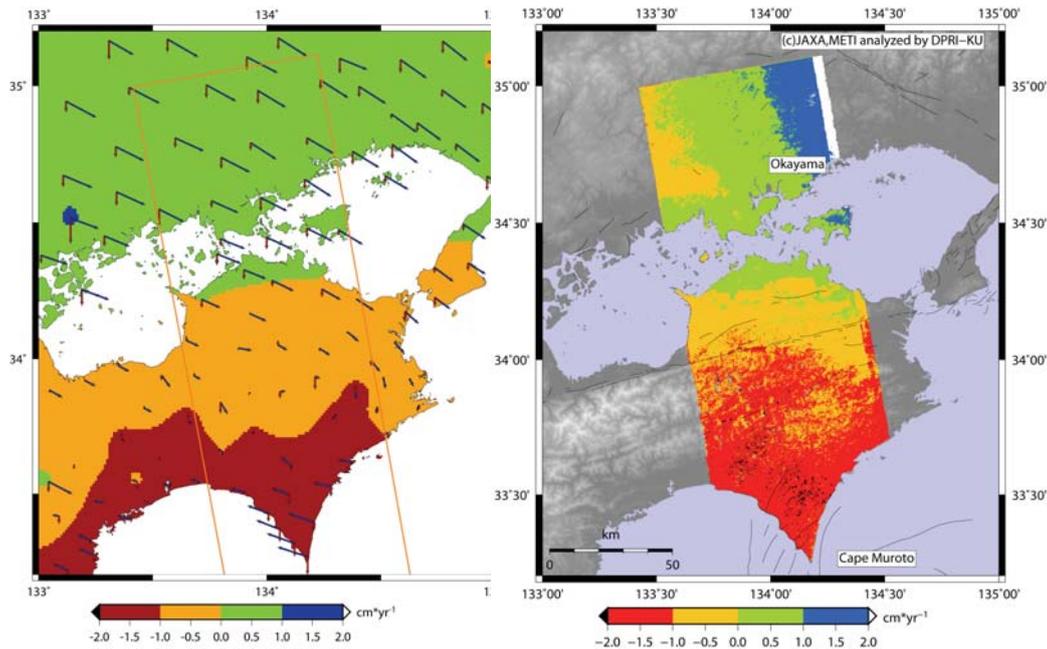
フィリピン海プレートの沈み込みに伴う地殻変動とプレート間カップリングの研究

京都大学防災研究所 橋本学

- 人工衛星搭載合成開口レーダーを用いた地殻変動の検出
 - 面的に高分解能の地殻変動の検出
- GPSデータ等を用いた南海トラフ沿いのプレート間カップリングの推定
 - Ito and Hashimoto (2004): 粘弾性媒質を考慮した100年間のカップリングの時間変化の推定
 - Nishimura and Hashimoto (2006): 内陸活断層および地殻ブロック運動とカップリングの同時推定
 - 小林・橋本・田部井(2006): 人工地震探査結果等にもとづく新しいプレート形状を仮定したカップリングの推定

PALSARスタッキング干渉画像

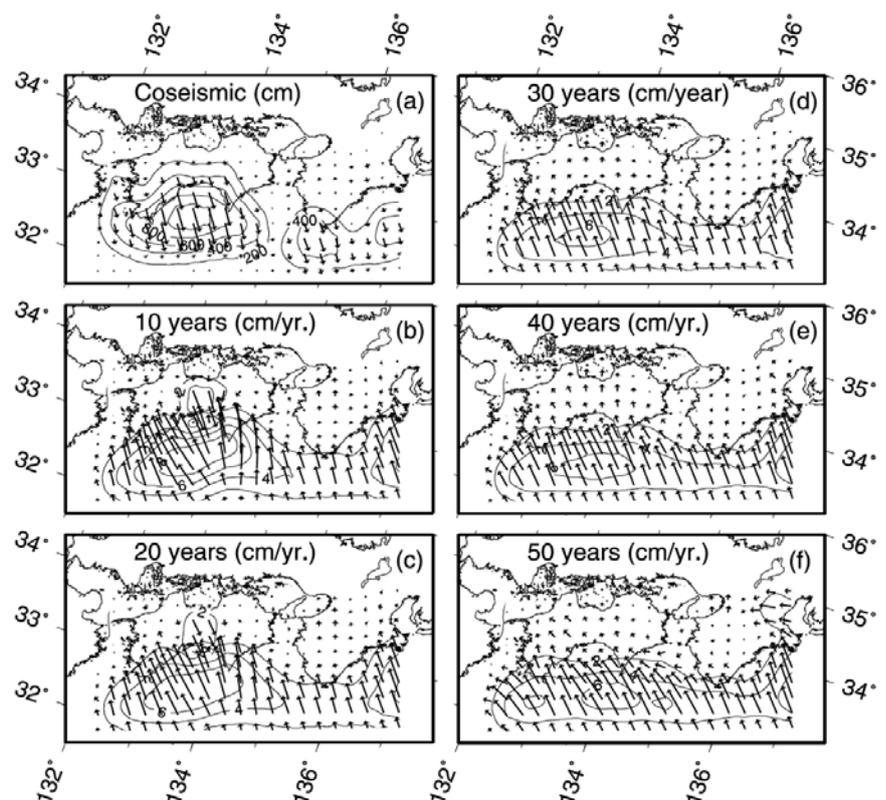
- 5年間のだいちPALSAR画像を干渉処理
- 電離層の影響が小さいもののみスタッキング(右図)
- GPS連続観測結果(左図)とおおむね整合(四国内)



Hashimoto and Fukushima (2010) @ ALOS/PI Meeting

Ito and Hashimoto (2004): すべり(欠損)の時空間変化

- 100年間の三角・三辺・水準測量や潮位・GPSデータをインバージョン
- 粘弾性構造を仮定
- 1946年南海地震直後から50年後までの時空間変化
- 10年後にはカップリングが回復. 余効すべりも顕著
- 30年以降, 徐々に高カップリング領域が縮小

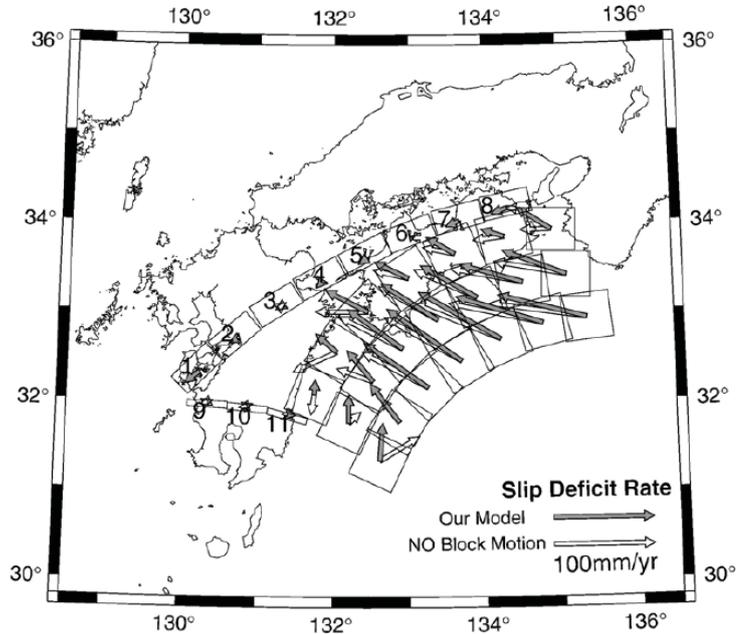
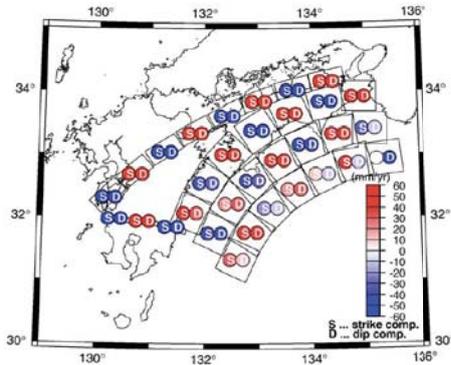
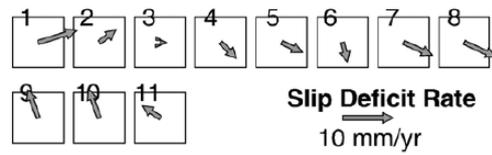


JGR,109, B02315,
doi:10.1029./2002JB002358

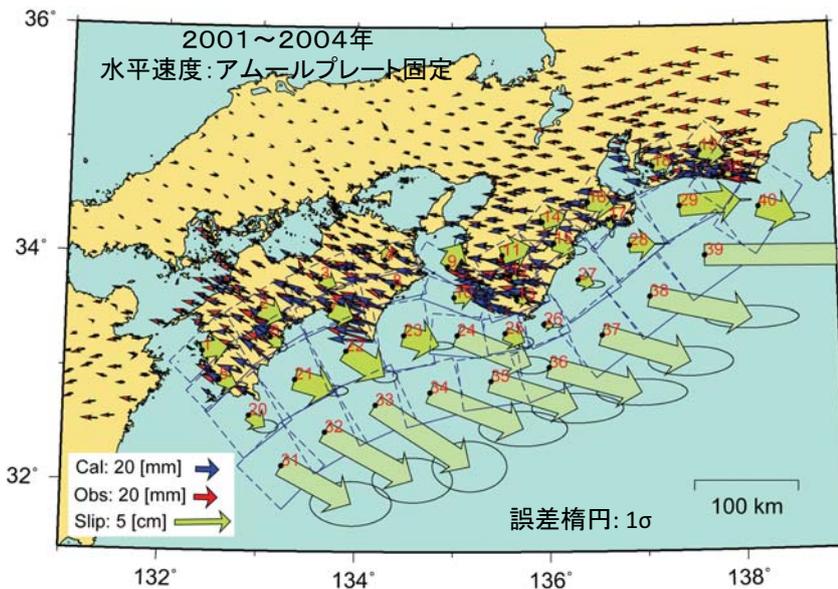
Nishimura and Hashimoto (2006): 内陸断層とブロック運動との同時推定

Tectonophysics,
421, 187-207

- ブロックの剛体運動と断層面上のすべり欠損で地殻変動を表現
- 中央構造線他の活断層を考慮
- ブロック運動を考慮することにより、よりプレート運動方向に整合するすべり欠損を推定
- 南海トラフ近傍では、解像度がかなり低い点に注意(下図)



小林・橋本・田部井(2006): 新しいプレート形状モデルによるカップリングの推定



四国沖

3.8~4.8cm/yr (No.21-23)
室戸岬周辺でほぼ一様なすべり欠損速度
室戸岬周辺 > 足摺岬
(2.2cm/yr)

紀伊半島沖

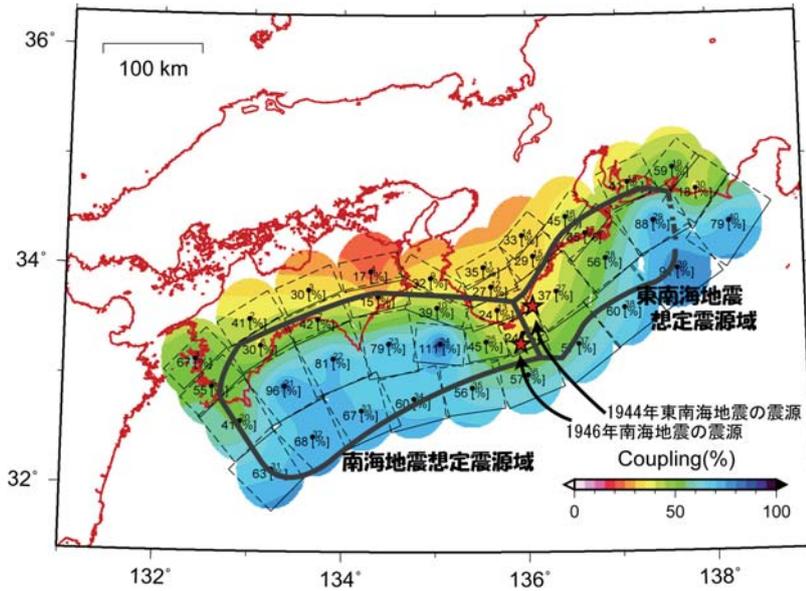
1.3~5.7cm/yr (No.25-29)
東側のセグメントほど大きなすべり欠損速度

* 紀伊半島先端部ですべり欠損が小さい。

2001年以降も同様のすべり欠損速度分布を示す。

プレート間カップリング率

アムールプレートに対するフィリピン海プレートの相対運動速度6.5cm/yr (N55°W)
(Miyazaki and Heki, 2001)を用いて計算



四国沖

79~96 % (No.21-24)

紀伊半島沖

24~88 % (No.25-28)

潮岬沖

24 % (No.25)

1. 過去の南海・東南海地震の震源域の境界付近
2. 1946年南海地震の震源及び1944年東南海地震の震源近傍

予想震源域;
地震調査委員会2001「南海トラフの地震の長期評価について」より

固着の弱いセグメントの存在が、
南海トラフ沿いの断層運動をコントロールしている？

南海トラフの巨大地震モデル検討会

平川委員提供資料

第1回会合

平成23年8月28日

津波堆積物調査位置図



過去 6000 年間の三陸超巨大古津波履歴を示す二つの露頭 #平川一臣 (北大)・吉岡祥一(神戸大)・中村衛 (琉球大)・ 西川由香 (台湾大)

Field Evidence of Unusual Tsunami since Last 6000 years at Kesen-numa and Miyako-Taro in the Sanriku Region

HIRAKAWA K. (Hokkaido Univ.)・YOSHIOKA, S. (Kobe Univ.)・NAKAMURA, M. (RYUKYU Univ.)・NISHIKAWA, Y. (Taiwan Univ.)

宮城県気仙沼市南方および岩手県宮古市田老の2地点 (両地点間は約80km) で、過去およそ6000年間に三陸海岸を襲ってきた(超)巨大津波の堆積物を認め、詳しい記載 (縮尺5分の1~10分の1) を行った。

気仙沼海岸：高さ1~5mの切り立った海食崖。地形的位置は基盤岩の緩斜面 (十砂丘) ~沖積低地へ移り変わるところ。厚い湿性黒土~泥炭層が発達し、その中に古津波砂礫層が挟まれる。3.11津波遡上高は周辺で約15m。

ここでは6層の古津波堆積物が露出する。最下部近く (6番目の津波砂層の直上) に「十和田中セリ火山灰 (5400年前の噴火) があり、過去約6000年間に6層の津波堆積物が陸上へもたらされたことを示す。単純に平均すれば、およそ1000年に1回。上から3層目の津波堆積物に、洗練された縄文様様の素焼き土器片が混入 (北大考古学研究室鑑定結果は弥生後期で紀元前後(およそ2000年前)。その上位の二層は、貞観津波と慶長三陸津波の堆積物との解釈が可能 (妥当)。津波堆積物間の土壌の発達およびC-14年代、テフラ層準を勘案すれば、第1古津波：慶長三陸 (1611)、第2古津波：貞観 (869)、第3古津波：紀元0ころ、第4古津波：BC.500 ころ、第5古津波：(BC. 1500 ころ?)、(十和田中セリ火山灰：5400年前、)、第6古津波：BC.3~4000と解釈するのが妥当と思われる。したがって、ほぼ1000~1年間隔で、過去6000年間超巨大津波が襲ってきたことになる (慶長~2011は400年)。気仙沼

(三陸中南部)では、明治三陸津波、昭和三陸津波は海食崖を越えて大きく遡上し、津波堆積物を残すことはなかったらしい。いっぽう貞観津波や慶長三陸津波は超巨大だった。すなわち気仙沼周辺は、3. 11, 貞観タイプと慶長三陸タイプを併せて記録してきたといえよう。

宮古・田老：真崎海岸。勾配4~5°の狭い溪流性小V字谷底の標高17m地点、海岸から水平距離で226m地点。3.11津波遡上高は32m。

樹木年輪に基づく仮説：明治三陸津波(1896)で一掃された谷底に生育した樹木が昭和三陸津波(1933)で破断・流亡し、その残部 (胸高・腰高までの樹幹~根) が溪流の珪質砂礫 (花崗岩まさ土起源) に埋もれていたが今回の津波で洗い出されたという仮定は正しいか? : 埋木の年輪はいずれも27~28年で、仮説は成り立つ。

古津波堆積物：急勾配溪流小谷底にもかかわらず、わずかな基盤の高まりの背後に狭い堆積場 (時に湿原化した) があり、小ピット掘削により全部で6層の古津波堆積物を識別した。C-14年代測定値に基づけば、古津波堆積物は、Ts1 : 昭和三陸, Ts2 : 明治三陸, Ts3 : 寛政三陸 (1793), Ts4 : 貞観, Ts5 1500 y BPころ?と考えるのが妥当。寛政三陸 (1793) は初めての認定。特異な津波遡上高を記録してきたこの小谷での本格的にトレンチワークが望まれる。この小谷での津波高は谷口 (海岸) でも25mで、ほぼ遡上距離中間のピット付近で最大遡上高に等しい32mに達しており、津波の挙動 (遡上過程) は“遡上 (Run up)” というより“谷を満たした (Fill up)”とイメージするのが適切かもしれない。水面勾配は谷底の勾配にくらべて、著しく緩かった。

以上の陸前と陸中の二つの(超)巨大地震古津波堆積物を精査することによって、三陸南部~北部における震源域・波源域の検討が可能になると思われる。さらに下北に至る沿岸域から古津波履歴を示す証拠の取得も肝腎である。

南海トラフの巨大地震モデル検討会

平川委員提供資料

第2回会合

平成23年10月3日

地形，表層土壌（泥炭質土壌，
湿性黒土）形成環境と
古津波堆積物検出の着眼点

2011, 10.03. 平川 一臣

古津波調査の(私的)プリンシプル

- 津波は高所まで海水が遡上する現象だから
 - 1 海岸の急崖と段丘上の凹地や小規模な谷の奥などの**地形環境**
 - 2 堆積速度が緩慢でかつ確実に堆積が続く有機質土(泥炭質, 湿性黒土)発達の**土壌形成環境**に着目して調査すれば, 特に**巨大津波**の認定の場合に有効

古津波履歴とそれに基づく**再来間隔**の検討には**低地の調査**を組み合わせる.

気仙沼・大谷海岸の海食崖露頭の位置



3.11 津波

遡上高: 15m

津波高: 13m

中防, 2011,6.26



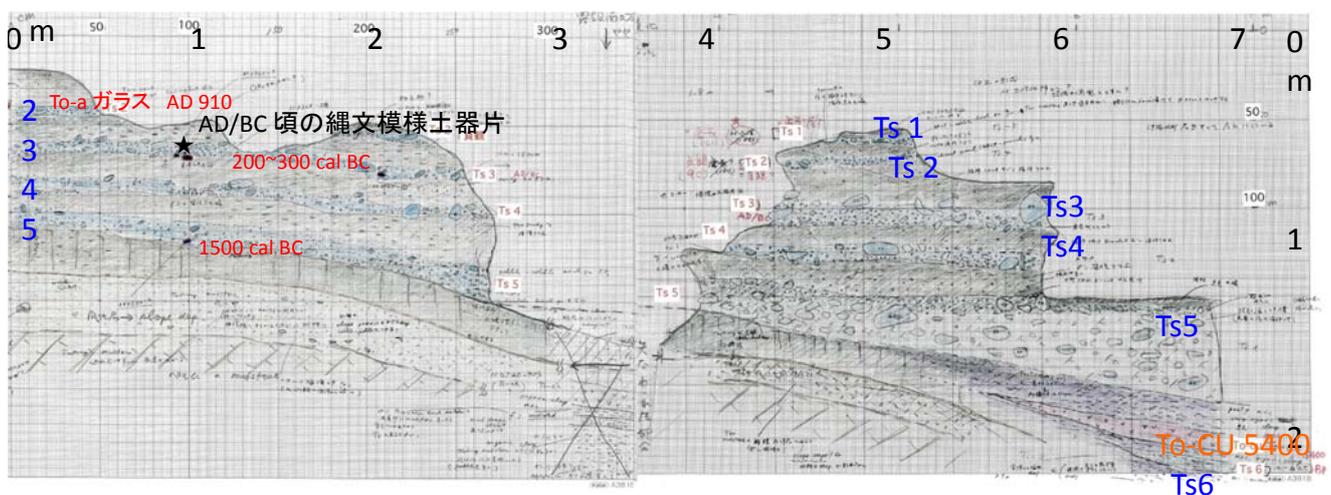
気仙沼大谷の
海食崖に露出した
6層の古津波砂礫層

2011,5.20



2011,4.23

気仙沼大谷海岸の低い海食崖露頭の 過去約6000年間の古津波堆積物(1:10で記載)



6層/約6000年間:3.11 津波と同等の超巨大津波のみ記録。
再来間隔を検討可能

今泉ほか(H17~21)の成果との対比の試み(気仙沼)

今泉ほか(気仙沼~大船渡~宮古)

2011,3.11

古津波堆積物認定できない

古津波堆積物認定できない

1900~2000yBP

2400~2500

3100

4200~4300

4900~5000

5400~5500

この研究(気仙沼)

2011,3.11

Ts1 (慶長1611)

Ts2 (貞観869)

TS3 2100 yBP

Ts4 慶長タイプ?

Ts5 ? 3500 yBP

-認定できない-

-認定できない-

Ts6

再来間隔

2011/ Ts1: 400 ys

2011/Ts2: >1100

Ts3/Ts2 : >1200

Ts4/Ts3: 3~400?

Ts5/Ts3: >1300

Ts6/Ts5: 2000

重要:

1. 超巨大津波が識別できる + 再来間隔の検討も
2. 異なる波源域の津波を記録: 2011,3.11. 869貞観タイプ
1611慶長三陸タイプ

気仙沼・大谷海岸露頭の地形的位置の特徴, 土壌形成環境



平成13年現地調査

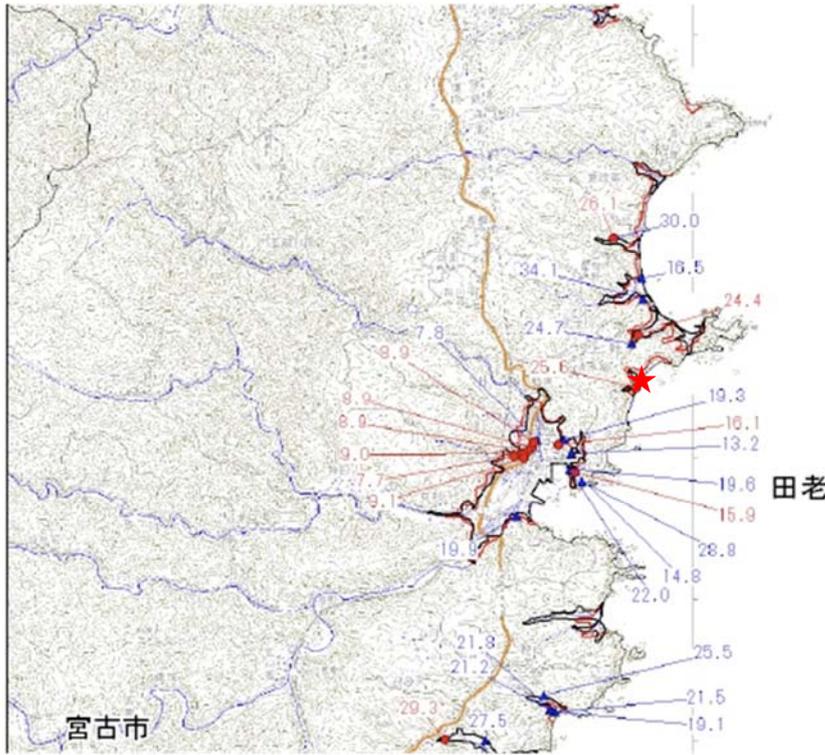
平成13年現地調査 1:2.5万



大正2年測図

大正2年測図 1:5万

宮古市田老真崎海岸の露頭調査位置



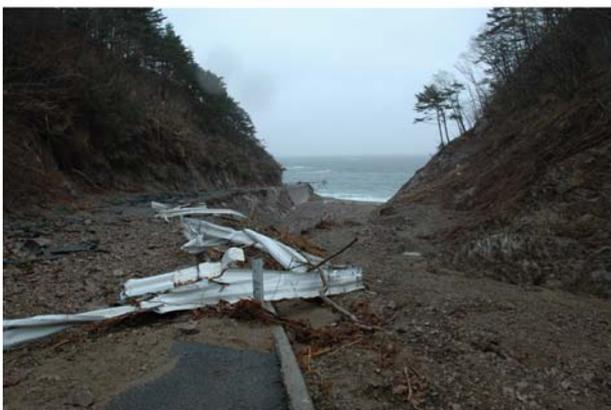
3.11 津波遡上高:>32m

中防, 2011, 6.26

宮古田老, 真崎

急勾配溪流性V字小谷

3.11 津波遡上高:>32m





宮古田老, 真崎

急勾配V字小谷底の
ピット調査現場

標高: 17msl地点

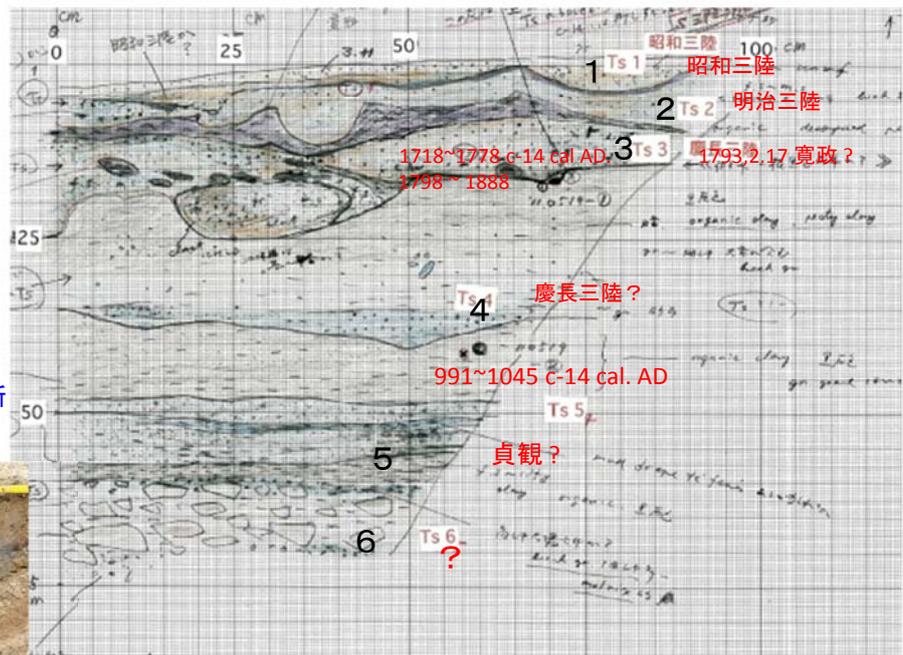
3.11 破損木



埋木: 天然杉
年輪
27~28 yrs
明治三陸後生育、昭和三陸で破断

田老真崎海岸, 急勾配小谷底の古津波堆積物

(埋もれていた明治三陸後生育/昭和三陸津波破損樹幹・根
3.11津波で再露出)



宮古田老の古津波堆積物

異常津波遡上高を記録してきた急勾配V字小谷底の古津波履歴

TS 0: 2011, 3.11 津波

TS1: 1933, 昭和三陸津波

TS2: 1896, 明治三陸津波

TS3: 1793, 寛政三陸津波 :新認定か？

Ts4 : 1611, 慶長三陸津波

Ts5: 869, 貞観津波？

TS6: AD/BC？もっと新しい？

以下にまだ続く

2011,3,11津波. 869貞観津波?も記録する
小トレンチ調査が必要！

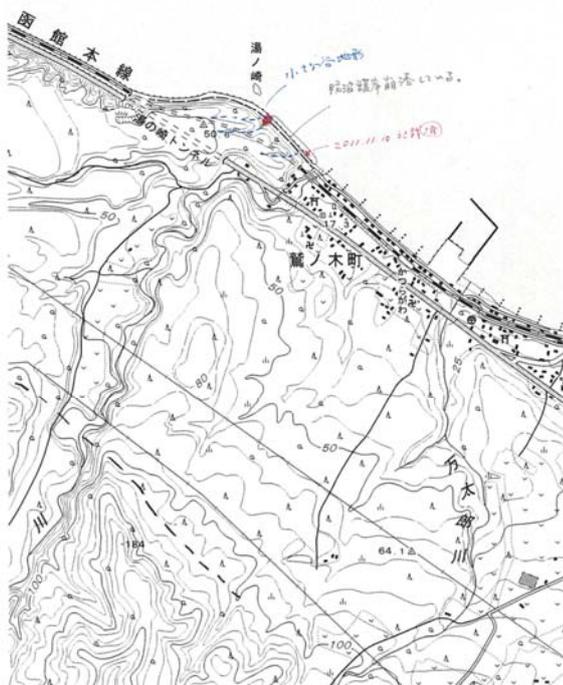
宮古田老・真崎の小谷, 地形的位置



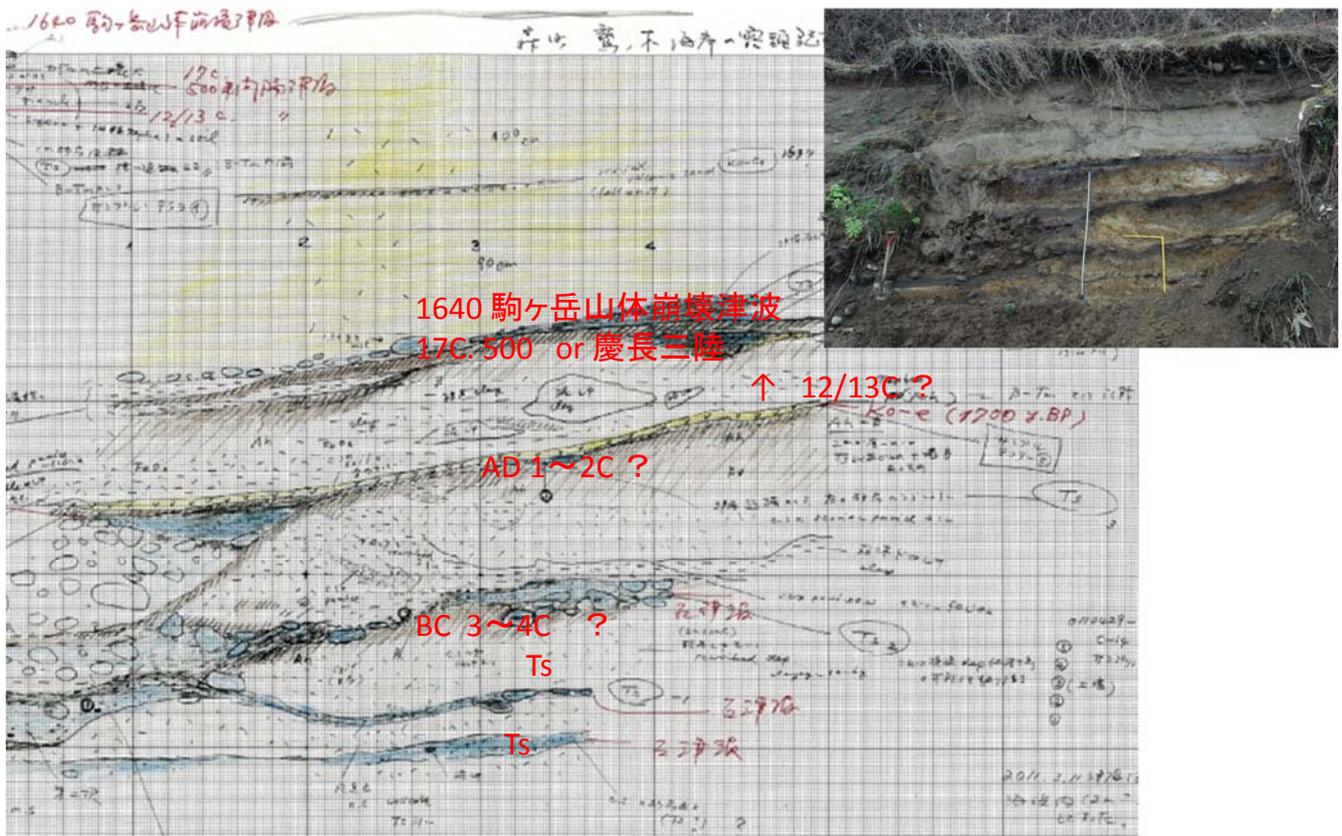
北海道の500年間隔地震認定:十勝～根室. 再検討:日高～噴火湾～下北のデータ



森町・鷺ノ木海岸の露頭位置
(小谷地形に注目)



噴火湾・森町, 10x5m, 崖高7m ほどの露頭の壁面スケッチ(1:25で記載)



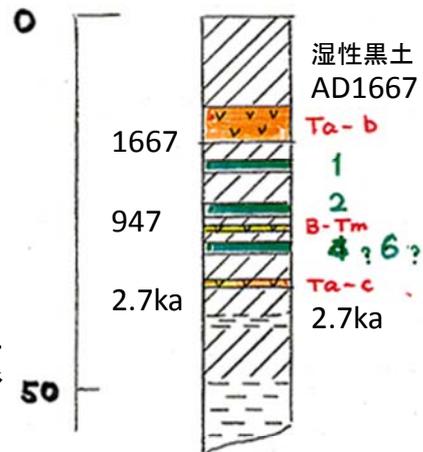
噴火湾・森町の露頭の地形的位置



十勝, 晩成の露頭の地形的位置

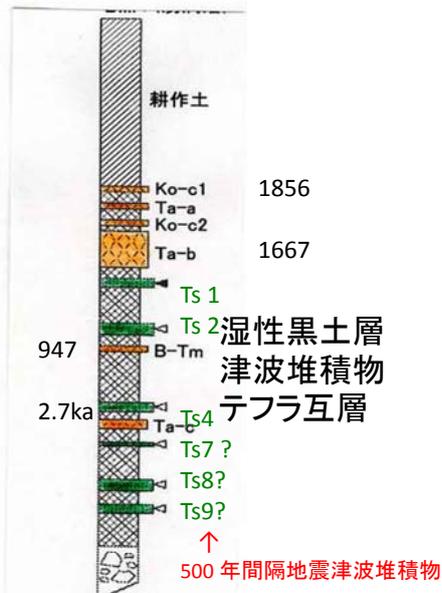
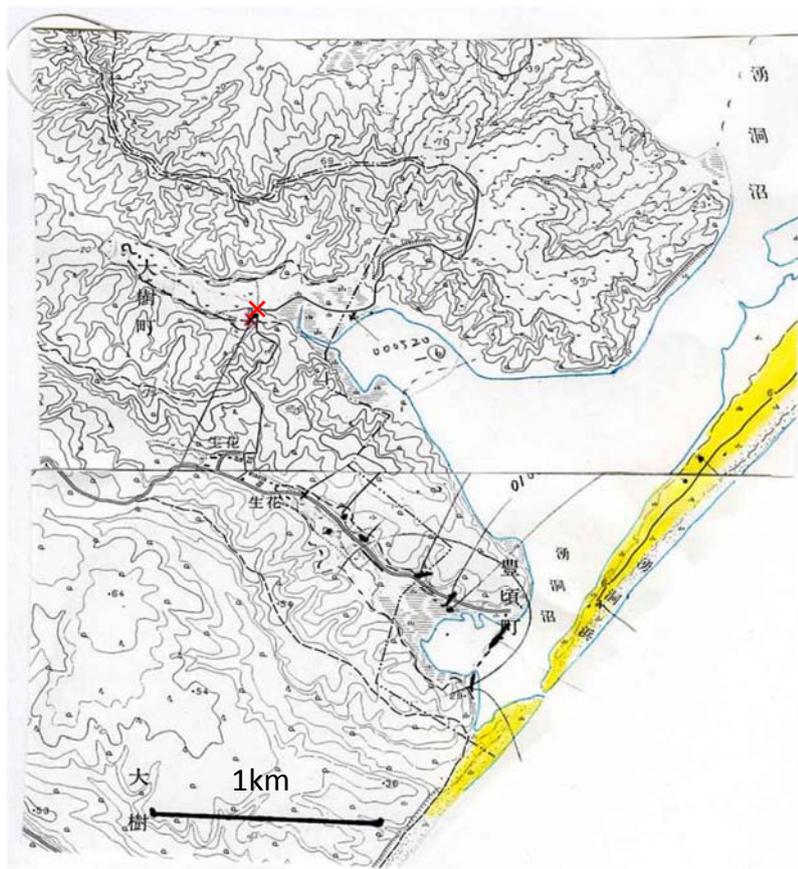


1,2,4?6?:
500年間隔津波

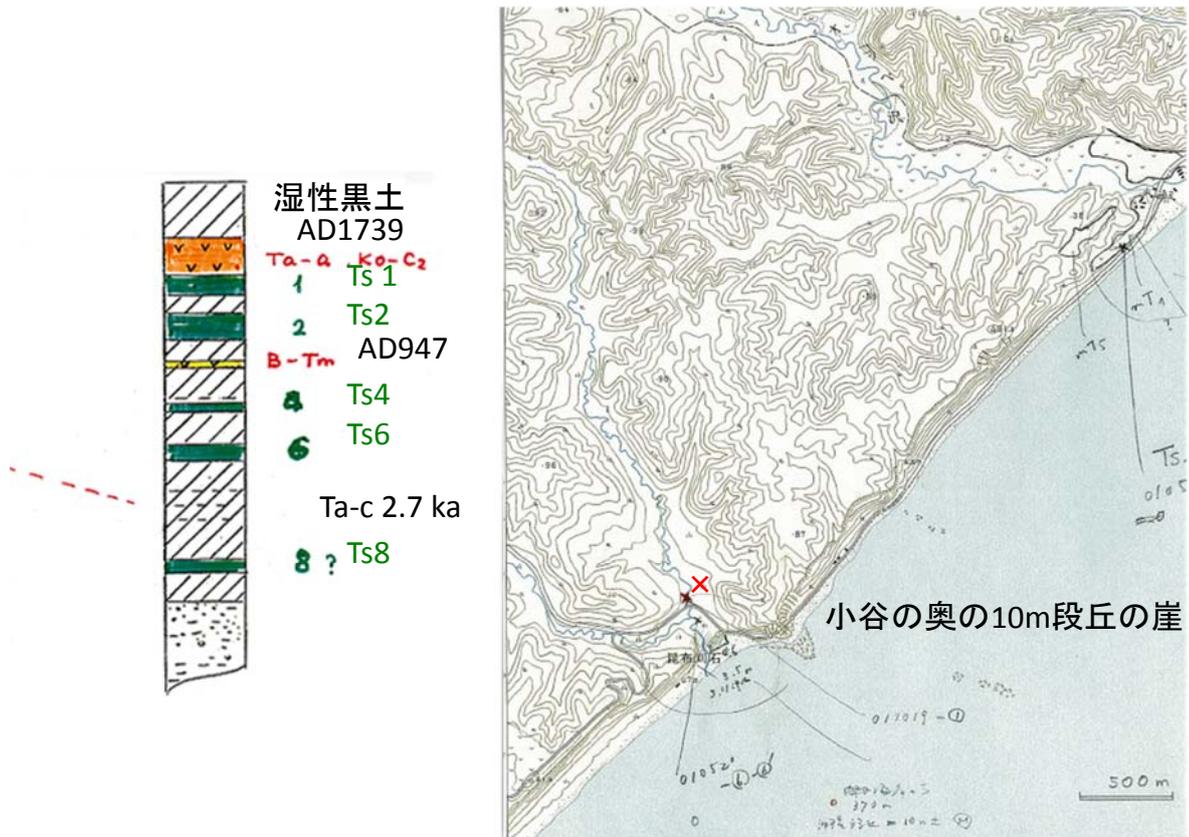


段丘面上
の微地形
から浅い
谷地形と
土壤形成
環境を読む

十勝, 湧洞沼: 海岸から2km 内陸, 小谷の沖積錐上の津波堆積物



十勝, 浦幌・昆布刈の露頭の地形的位置



根室半島長節付近の海食崖をなす泥炭層と津波堆積物、テフラ

過去6400年間で、18層の古津波堆積物を記録



根室長節の露頭の地形的位置



✳ この小流域と低海食崖を読み取る

下北・東通村の調査位置の地形



←この低湿地の明渠壁面に注目

←最適地はここ
5~15 msl の泥炭湿地

盛土

1896 明治 Ts1 1933 昭和

1611 慶長 Ts2
(17c. 500年)

1896 明治

検討の可能性 ? Ts3

 ? Ts4

12/13c. Ts5 1611 慶長
(三陸北部/500年) (17c.500年)

B-Tm AD947 ***

Ts6

7/8c. 三陸/500年) 12/13c 三陸? 500年?

17C. 500年間隔は? 貞観の可能性は? To-aドリフト軽石か?

識別できるか: 波源は三陸か 千島海溝500年間隔地震か?

Ts2? Ts5?

Ts3, Ts4 津波は???

1763宝暦, 1793寛政, 1856安政 ...



東海・東南海地震津波に関わる渥美半島先端部・堀切村の古文書

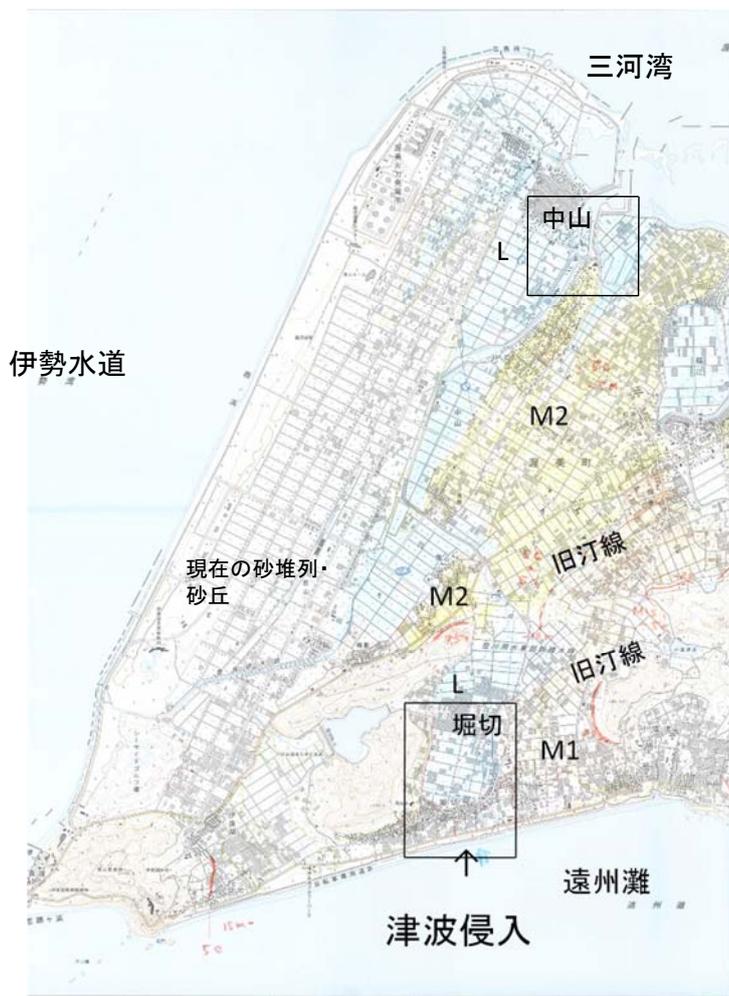
安政地震(1854)津波について

- 堀切町(当時堀切村)では、津波が襲来し、93家の母屋・居宅を含む287棟が流出し、死者9人、牛馬7疋、地引き網、漁船が皆流出した。さらに、田畑一円に土砂が流入し、境界がわからなくなったと記述。

宝永地震(1707)について

- 当文書には、宝永地震(M 8.6, 1707年)についても記載がある。すなわち、津波が襲来し、30軒余が流失し、2人が流されて死亡した。
- これらの記載から、渥美半島先端部の堀切周辺では、安政地震に伴って村落の相当数の家屋を流失させる津波が発生したこと、**宝永地震時にも津波は発生したが、その規模は安政地震時より小さかった**ことが理解できる。

(村内の曹洞宗の古刹・常光寺の文書もある)



渥美半島先端部付近の地形

M1, M2は最終間氷期の海成段丘で、それぞれ旧汀線高度は海拔20m, 10mである。Hは完新世の沖積面で、海拔高度は5m-1m程度。沖積面(L)の標高と分布から、波高5m以上の津波は遠州灘側から内陸へ侵入したと推定される。そのような場合、伊勢水道、三河湾側からも津波は侵入したと考えられる。ここでは津波堆積物の面的な分布調査によって、津波の陸上への遡上と挙動に関する知見が期待できる



東海・東南海・南海地震の巨大古津波履歴 検出に向けて(試案, 思案, 私案)

- 東海～四国～九州にいたる太平洋沿岸のすべての地形図(1/2.5万)について、段丘面、丘陵部に着眼して5～10m等高線を読み込み、地形・土壌の形成条件を推測する。
- これらすべての場所について、現地調査観察および記載を適宜実施する(ローラー作戦的)
- 地形学的・土壌学的方法は決して困難ではない！
- 基礎: 2011,3.11津波挙動と地形の関係を徹底観察

南海トラフの巨大地震モデル検討会

平原委員提供資料

第1回会合

平成23年8月28日

南海トラフの巨大地震モデル検討会資料 平原和朗(京大・理)

シミュレーション: 最近やっていること→やる予定

- ・地震発生サイクルシミュレーションの省メモリ化・高速化
→日向灘・南海トラフ巨大地震・長期(短期)スロースリップ(SSE)の同時モデリング
(長期(短期)SSEの前兆的活動度の変化の可能性)
- ・南海トラフ巨大地震前後の内陸地震の活発化のモデル化
(粘弾性媒質中での南海地震発生サイクル中での内陸地震断層での ΔCFF の時間変化)

行う必要があること

- ・分岐断層+プレート浅部境界を含む地震サイクルシミュレーション
- ・海陸データ: データ同化→発生予測へ

(超)巨大地震発生サイクルシミュレーションモデル領域

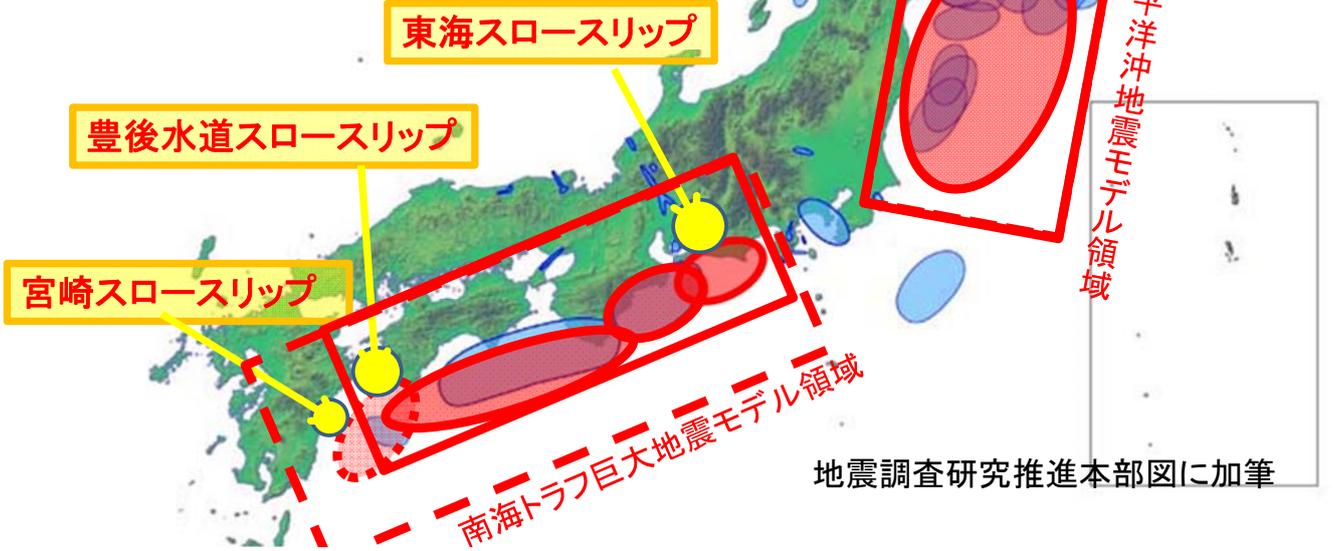
大規模・マルチスケール・データ同化



省メモリ化・高速化

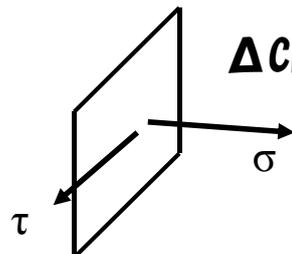
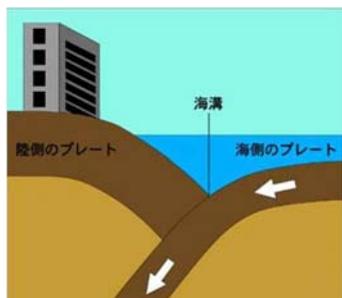
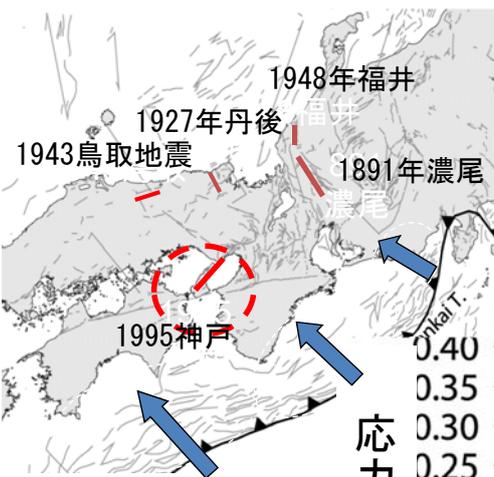


$O(N^2) \rightarrow O(N) \sim (N: \text{セル数})$



地震調査研究推進本部図に加筆

**南海トラフ巨大地震発生前後で内陸地震が活発化！
粘弾性媒質中での南海トラフ地震サイクルに伴う ΔCFF**

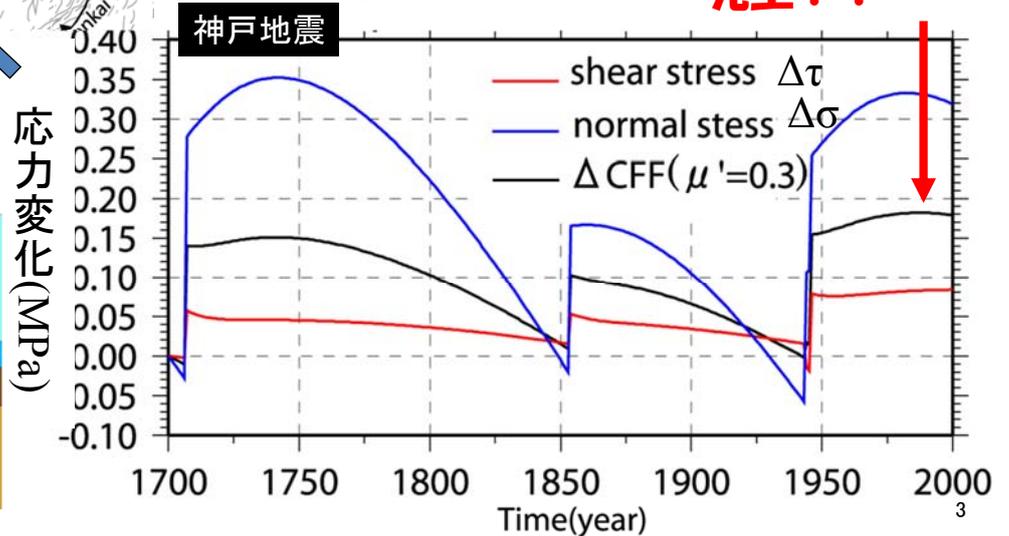


$$\Delta CFF = \Delta \tau + \mu' \Delta \sigma$$

**ΔCFF のピーク
1995年
兵庫県南部
地震
発生！！**

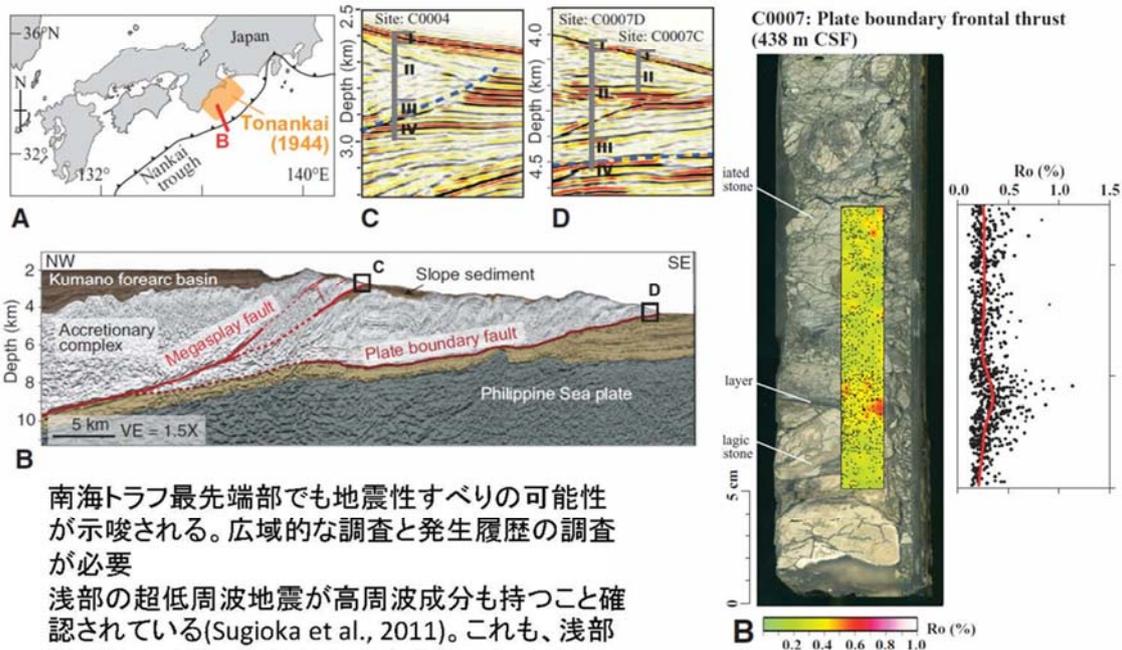
POLLITZ and SACKS (1997)

Hyodo & Hirahara (2004)



南海トラフ先端部での地震性滑り

Sakaguchi et al., 2011



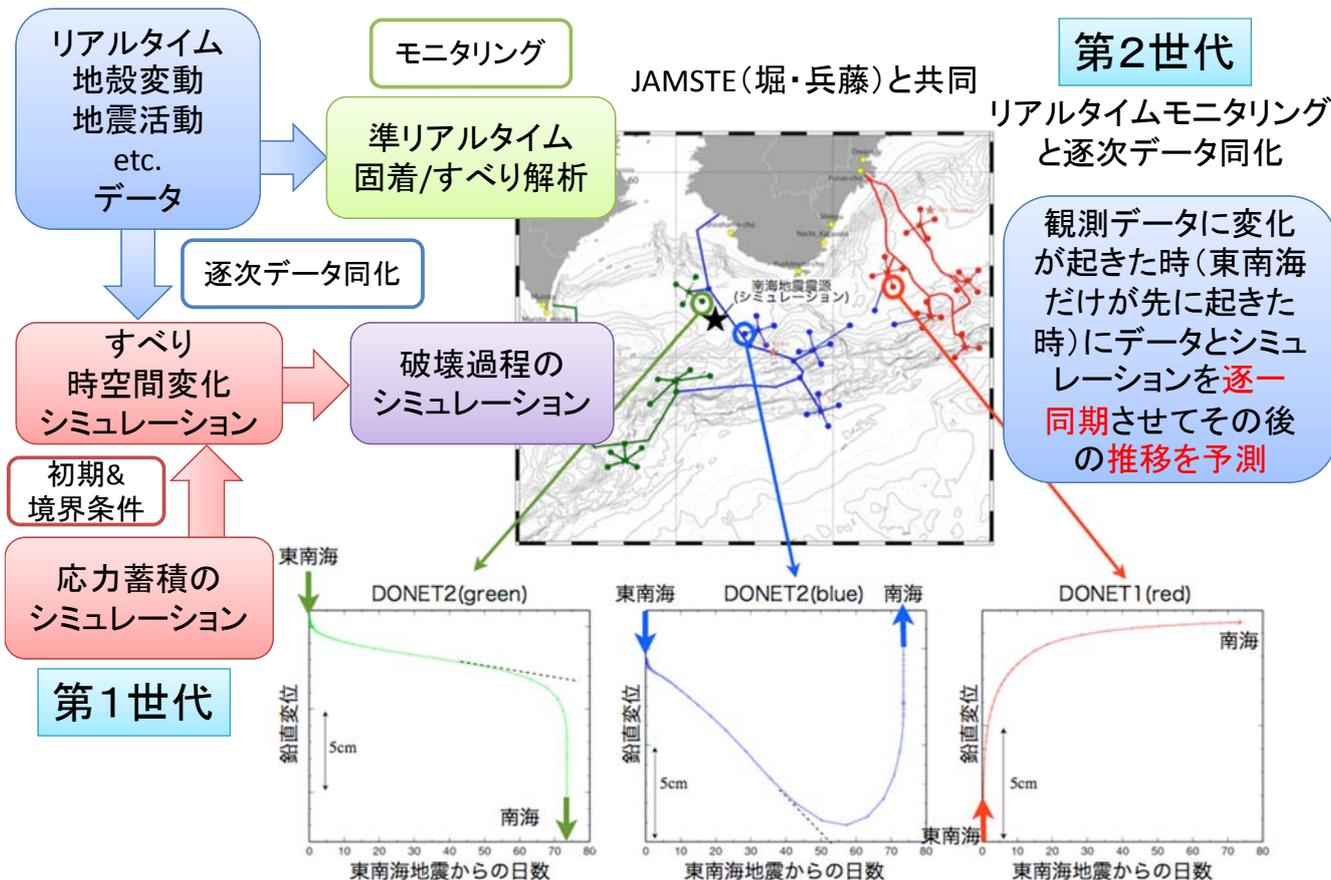
南海トラフ最先端部でも地震性すべりの可能性が示唆される。広域的な調査と発生履歴の調査が必要
浅部の超低周波地震が高周波成分も持つこと確認されている(Sugioka et al., 2011)。これも、浅部地震性すべりの可能性を示唆する。

JAMSTEC

地震発生予測システムのロードマップ

(東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト)

第2世代



南海トラフの巨大地震モデル検討会

福和委員提供資料

第1回会合

平成23年8月28日

東海・東南海・南海地震に係る最近の研究、今後の検討の方向性について

1) 現在までにやってきたこと

- (ア) 超高層建物・免震建物用の設計用入力地震動策定と被害想定用の強震動予測
 - ・愛知県設計用入力地震動研究協議会にて、建築設計用の地震動をハイブリッド法で予測
 - ・名古屋市三の丸地区の官庁建物の免震レトロ用に経験的グリーン関数法(EGFM)で予測
 - ・擬似経験的 G 関数法の開発: EGFM による予測結果を、地下構造を利用して平面補間
- (イ) 濃尾平野を中心とした深部地下構造モデルの構築
 - ・多数の単点微動観測を実施し、H/V スペクトルから周期分布を策定
 - ・種々の探査結果を用いて地下構造モデルを構築
- (ウ) 名古屋市域を中心とした浅部地下構造モデルの構築
 - ・既存のボーリングデータの収集(愛知・三重・静岡)と DB 化
 - ・ボーリングデータの N 値データと S 波速度データとの相関式の構築
 - ・名古屋市域の高解像度浅部地下構造モデルの構築
- (エ) 名古屋市 50m メッシュハザードマップの作成
 - ・統計的グリーン関数法と上記地下構造モデルによる予測
- (オ) 兵庫県南部地震における地震被害を説明できる構造物の地震応答解析モデルの構築
 - ・大入力に関わらず被害微小だったことを説明するため既存建物の地震応答モデルを構築
- (カ) 軟弱地盤に立地する大規模群杭構造物の動的相互作用解析方法の構築
 - ・発電所建物のように大規模群杭で指示される建築物の解析法を新たに開発
- (キ) 地震観測・微動計測・振動実験に基づく超高層建物の減衰性能の評価と解体時実験

2) 地震動評価に関わる今後の検討の方向性について

- (ア) 強震動予測に使えるアスペリティ分布を作ることができるか
- (イ) 都市部の深部地下構造モデルの構築: 周期特性と継続時間、堆積盆地構造の考慮
- (ウ) 人口密集地の高解像度の浅部地下構造モデルの構築
- (エ) 地盤非線形応答解析法、液状化予測法に関する検討
- (オ) 揺れの予測の幅をどのように考慮するか

南海トラフの巨大地震モデル検討会

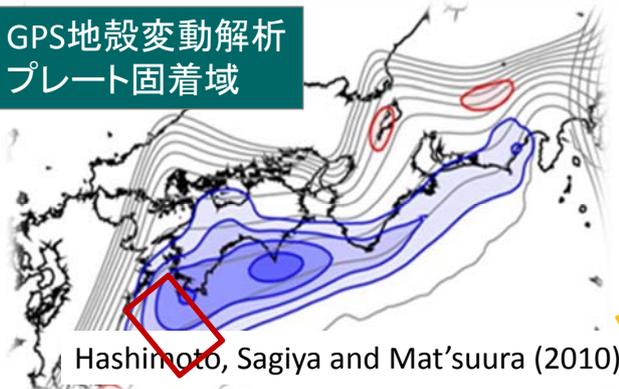
古村委員提供資料

第1回会合

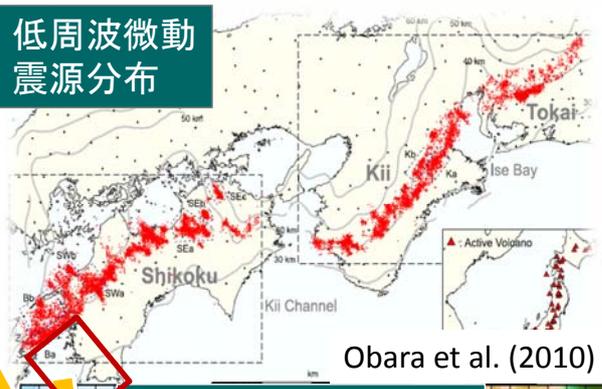
平成23年8月28日

宝永地震の震源モデルの改定 (文科省連動性評価研究H20-24)

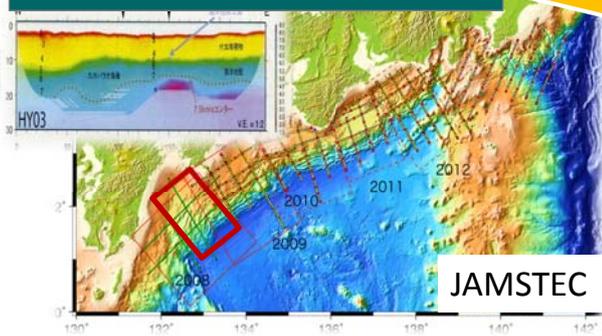
GPS地殻変動解析
プレート固着域



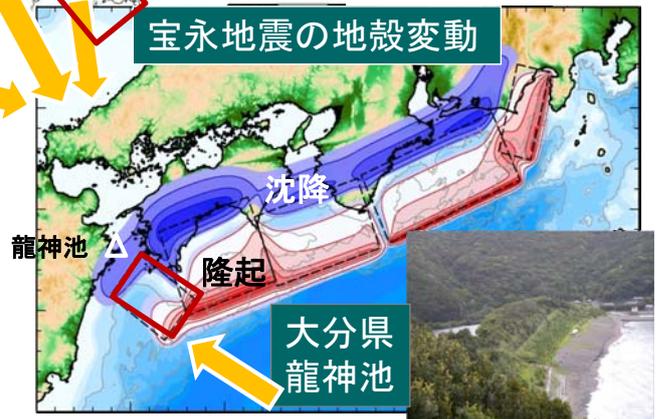
低周波微動
震源分布



反射法・屈折法地下構造探査



宝永地震の地殻変動

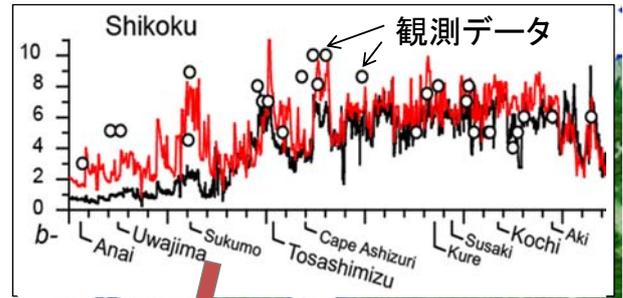
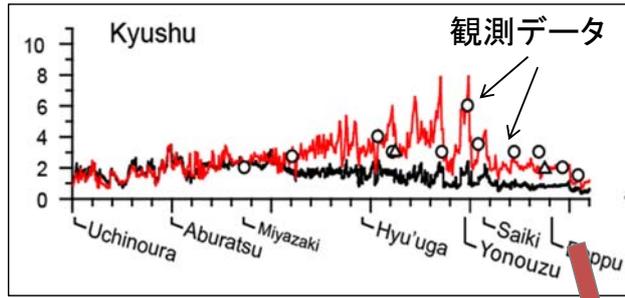


近年の地球観測(GPS, 低周波微動, 構造探査, 津波堆積物)の統合評価により、宝永地震が日向灘の一部にまで広がっていたことが判明

1707年宝永地震の津波再現性

— 新宝永地震モデル (Furumura et al. 2010)
 — 以前のモデル (安中、1985)

津波高の比較



新しい宝永地震モデルでは、四国～九州の津波高をよく説明する。新しいモデルは中央防災会議の想定モデルと良く整合する

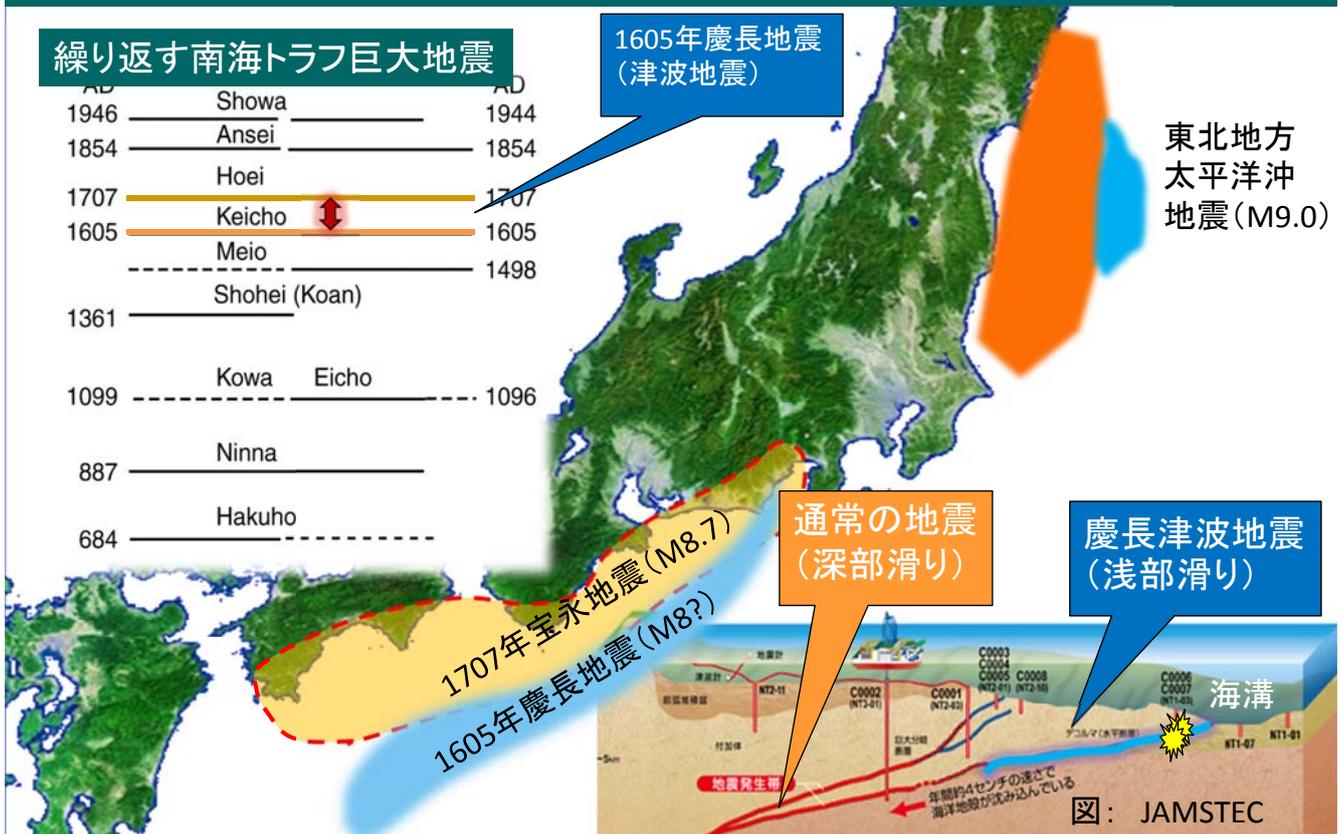
1605年慶長地震(津波地震)再評価(文科省連動性評価研究H20-24)

繰り返す南海トラフ巨大地震

AD	Year	AD
1946	Showa	1944
1854	Ansei	1854
1707	Hoei	1707
1605	Keicho	1605
	Meio	1498
	Shohei (Koan)	1361
	Kowa Eicho	1099
	Ninna	887
	Hakuho	684

1605年慶長地震 (津波地震)

東北地方太平洋沖地震 (M9.0)



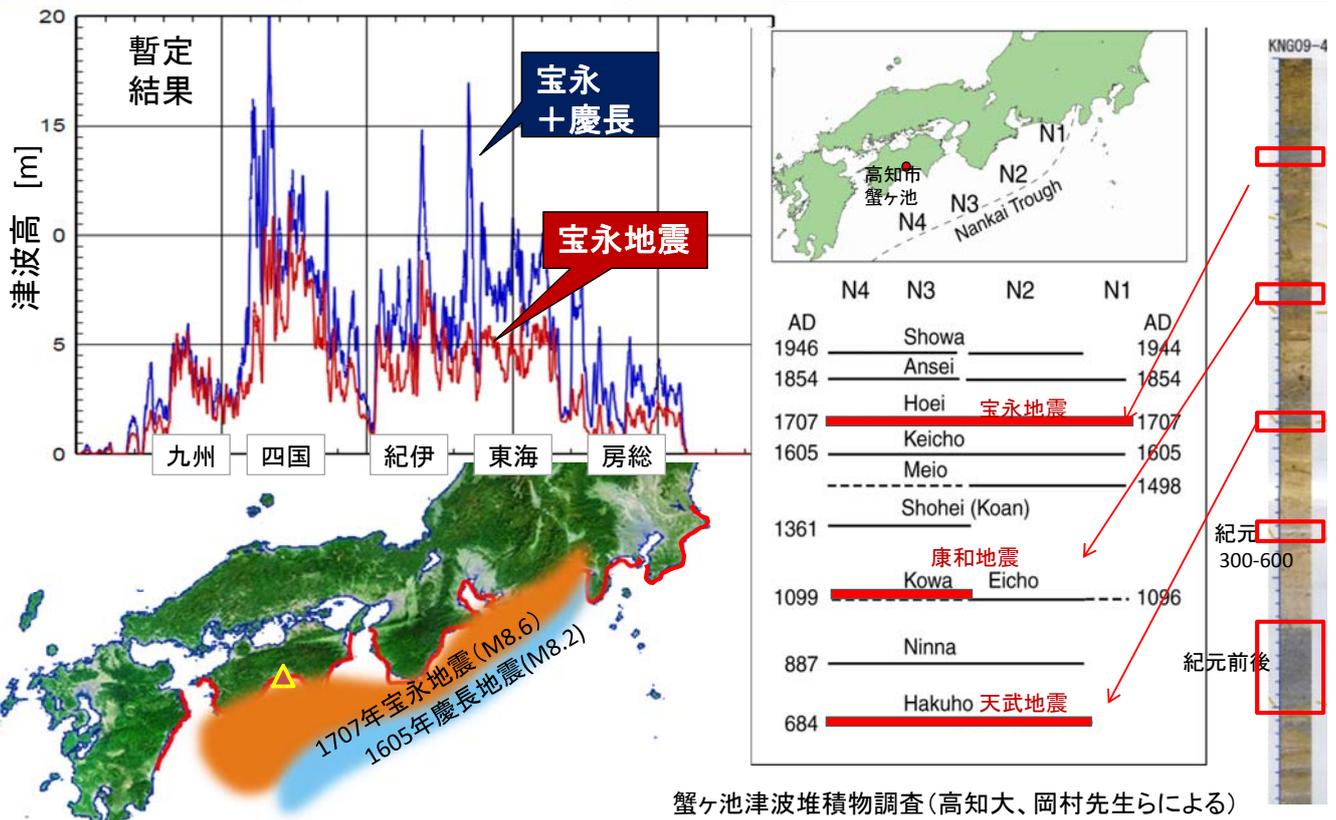
通常地震 (深部滑り)

慶長津波地震 (浅部滑り)

図: JAMSTEC

慶長地震が、海溝軸付近の浅部プレート境界で起きた、通常海溝型地震とは別タイプの地震を再確認。海溝掘削により地震性滑りの可能性を示す痕跡も発見された

南海トラフ4連動発生による津波：宝永地震＋慶長地震



宝永地震と慶長地震が同時発生すると、津波高は今の想定より1.5～2倍高くなる可能性あり。宝永地震を上まわる津波堆積物も四国、九州で発見されている

東海・東南海・南海地震想定の課題

1. 宝永地震の震源域見直し
 - ・さらに日向灘地震の連動、東海地震は連動したか？
2. 1605年慶長(津波)地震の再評価
 - ・震害、津波堆積物、史料から震源域を知る
3. 宝永+慶長地震の連動の可能性、影響評価
 - ・部分破壊の可能性、時間差発生の効果
 - ・瀬戸内海、東シナ海、湾内津波



南海トラフの巨大地震モデル検討会

古村委員提供資料

第3回会合

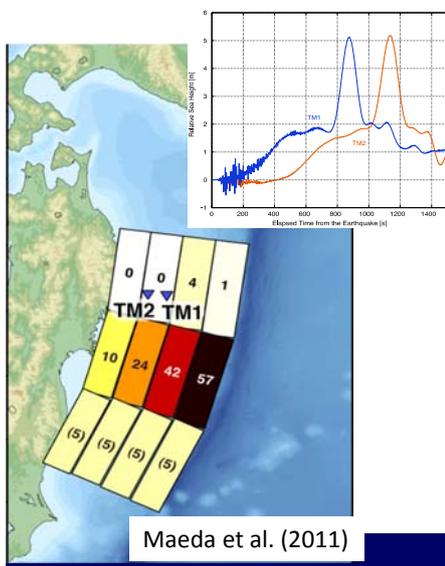
平成23年10月25日

日本地震学会2011年秋季大会発表(2011/10/13静岡)に加筆

東北地方太平洋沖地震から考える 南海トラフ地震「4連動」シナリオ

古村 孝志

東京大学 情報学環 総合防災情報研究センター／地震研究所



1. 海溝寄り浅部プレート境界大滑り

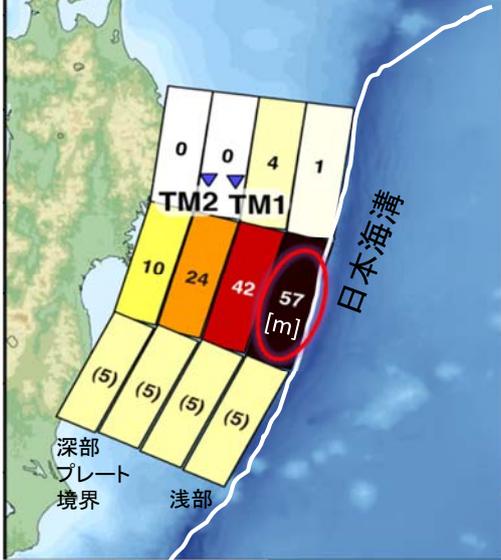
2. 南海トラフ大(4)連動地震と影響

- ・沿岸津波高、湾内津波高
- ・地震動

巨大津波の原因：海溝付近の浅部プレート境界大滑り

津波波形による
断層滑り量の推定

Maeda et al. (2011)

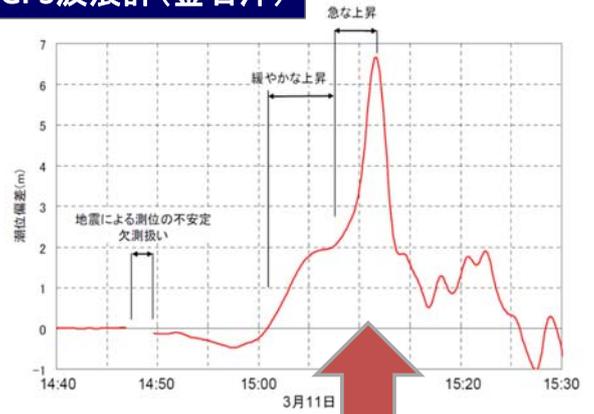


巨大津波は、深部プレート境界滑りと、浅部プレート境界大滑りの二段階で生成

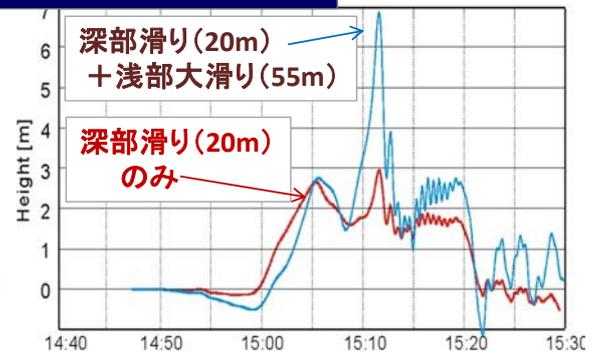


(A) GPS波浪計(釜石沖)

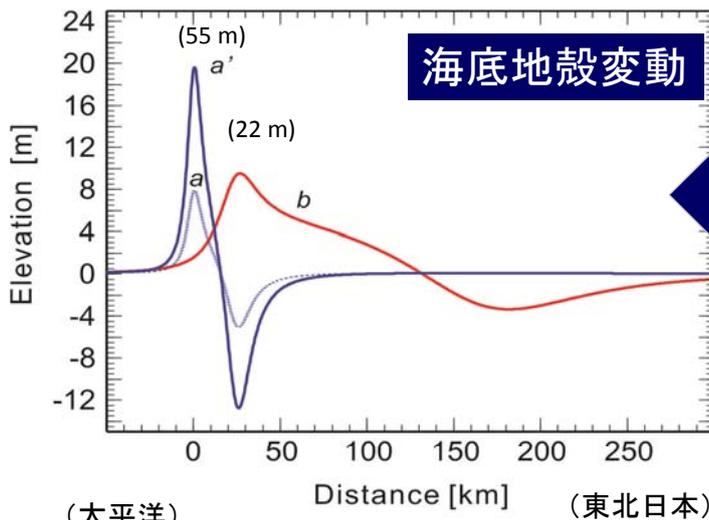
国土交通省資料



(B) 津波シミュレーション

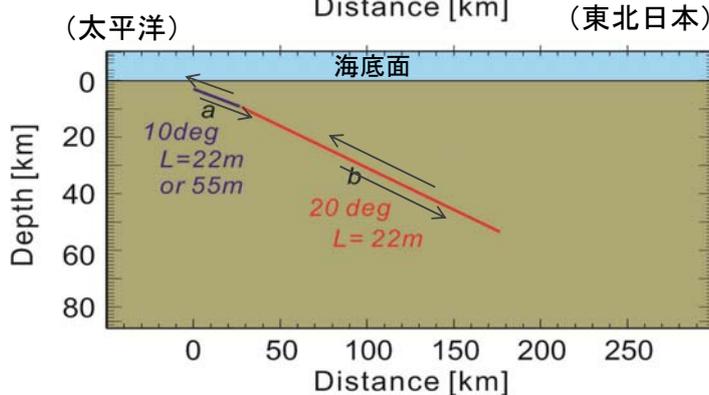
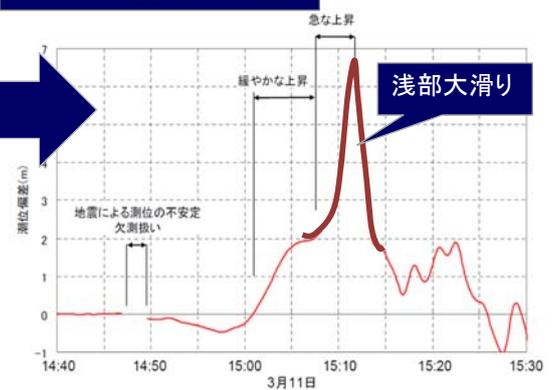


巨大津波の原因：海溝付近の浅部プレート境界大滑り



GPS波浪計(釜石沖)

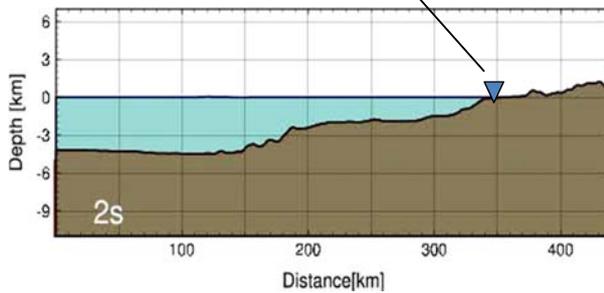
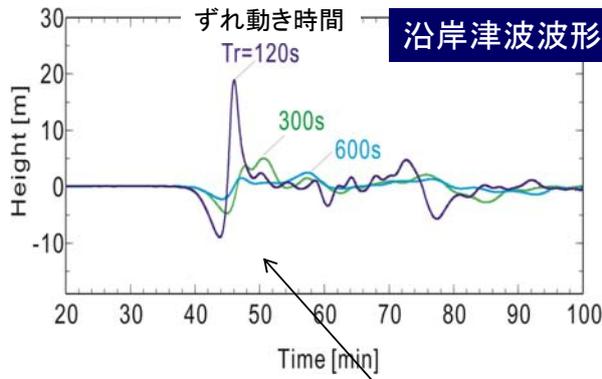
国土交通省資料



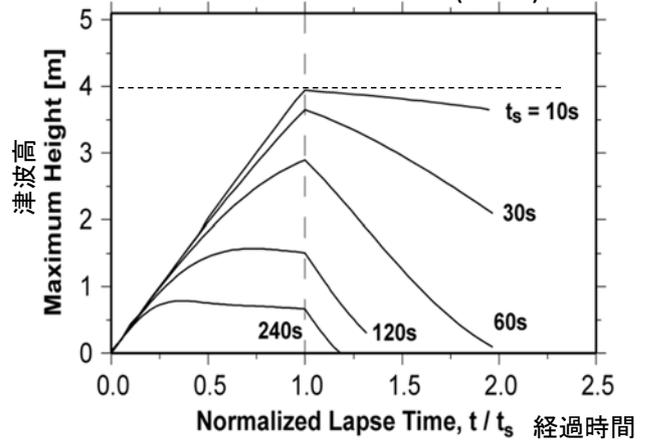
浅部プレート境界の滑りは、短波長(短周期)の津波を形成、加えて、大きな滑り量が高い波高を形成する

巨大津波の原因：海溝付近の浅部プレート境界大滑り

プレートの滑り速度 (ずれ動き時間)と津波高



$D=4m, W=20km, h=8000m$
Saito and Furumura (2009)



深海(8000m)では、津波伝播速度が大(300m/s)。プレートずれ動きが遅い(数分)と、津波が周囲に流れて、波高が上がらない。大津波には高速(地震性)滑りが必要

浅部プレート境界滑りと津波地震

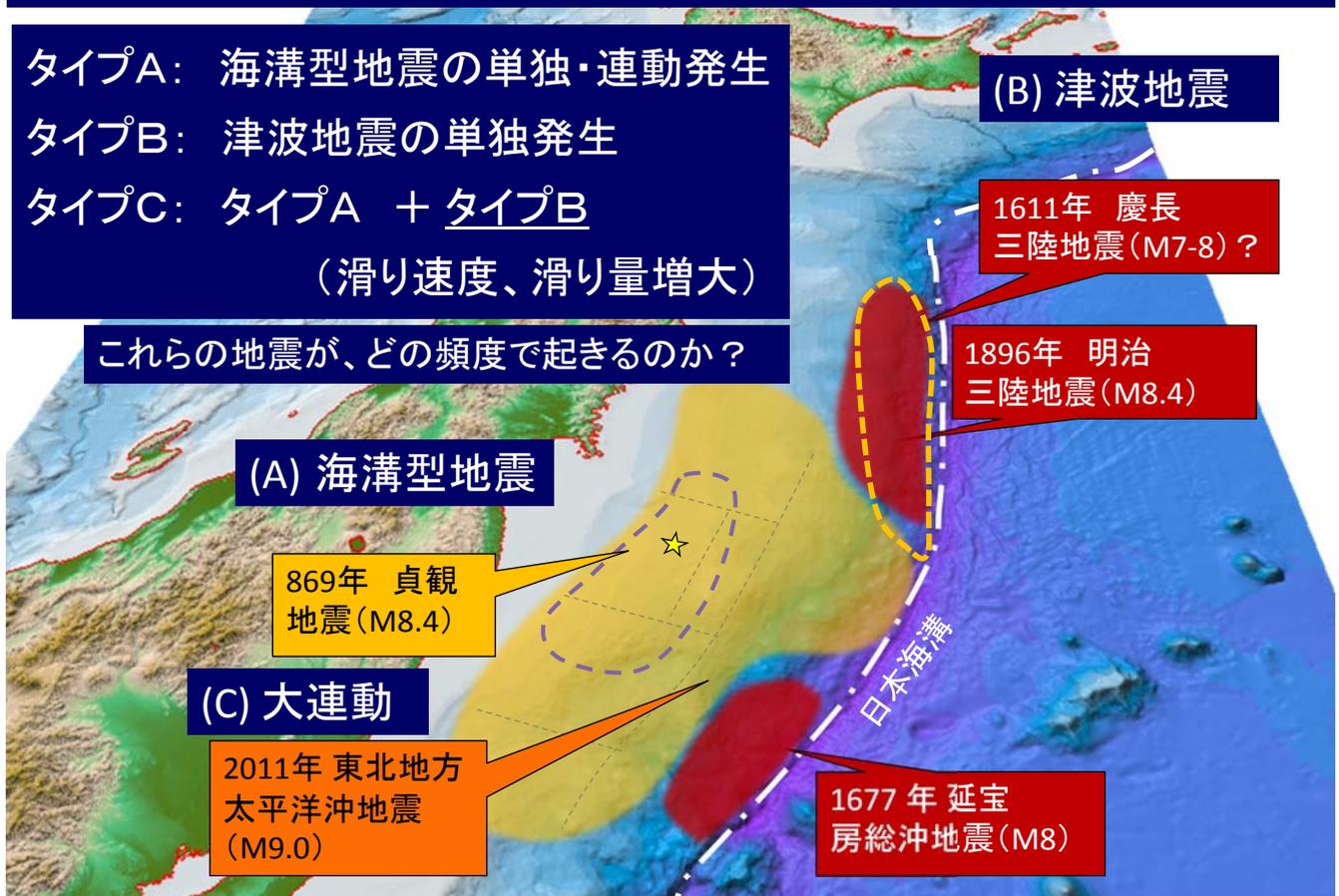
タイプA: 海溝型地震の単独・連動発生

タイプB: 津波地震の単独発生

タイプC: タイプA + タイプB

(滑り速度、滑り量増大)

これらの地震が、どの頻度で起きるのか?



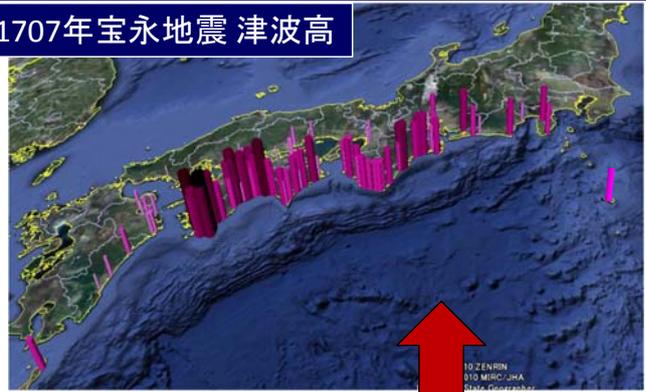
慶長地震の震源モデルの評価 (文科省連動性評価研究H20-24)

★1605慶長地震(津波地震)

犬吠埼～九州に津波、地震動弱く地殻変動なし。震源域の広がり不明、南海トラフの部分的滑りの可能性あり。八丈10～20mと房総半島(5～8m)津波高は間違いの可能性大きい。

	N4	N3	N2	N1
AD		Shōwa 昭和		
1946		Ansei 安政		
1854		Hōei 宝永		
1707		Keicho 慶長 102年		
1605		Meio 明応		
		Shōhei (Koan)		
1361				
		Kōwa 寛和	Eicho 永享	
1099				
887		Ninna 仁徳		
684		Hakuho 白雉		

1707年宝永地震 津波高



1605年慶長地震 津波高(暫定)



注意: データが限定、宝永と直接比較困難

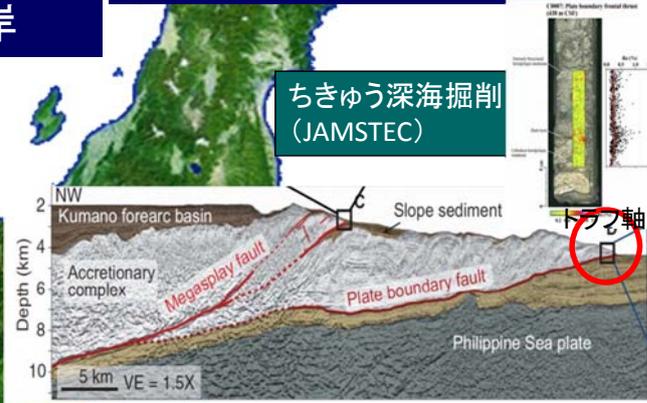
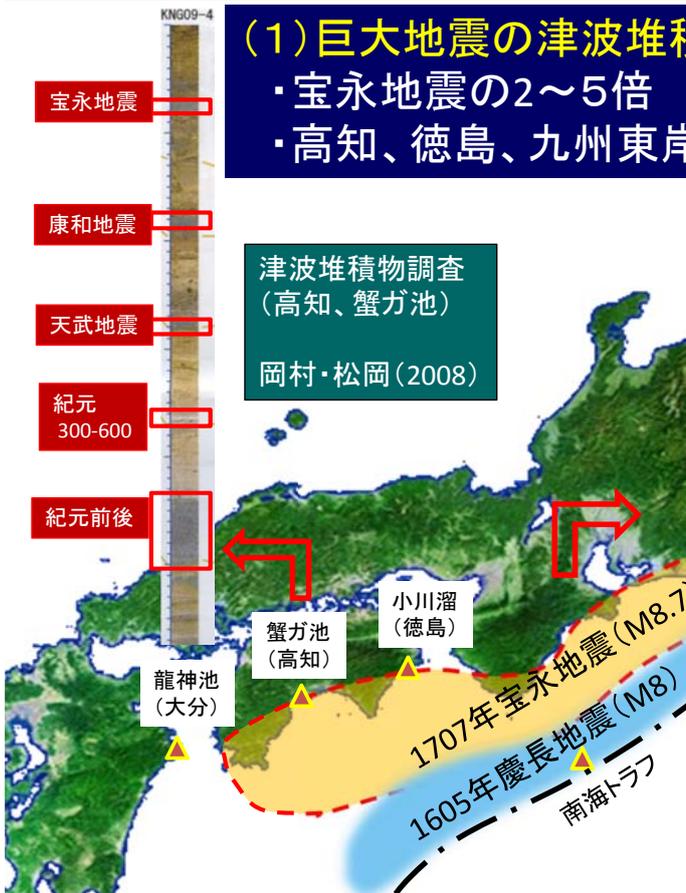
南海トラフでの大連動の可能性と証拠

(1) 巨大地震の津波堆積物

- ・宝永地震の2～5倍
- ・高知、徳島、九州東岸

(2) 海溝付近の地震痕跡

- ・地震性(高速?)滑り



宝永地震を数倍上まわる津波堆積物が高知、徳島、大分で発見。熊野灘ではトラフ軸付近で、高速滑りの可能性が示唆された。津波地震あるいは、通常の見溝型地震との大連動の可能性

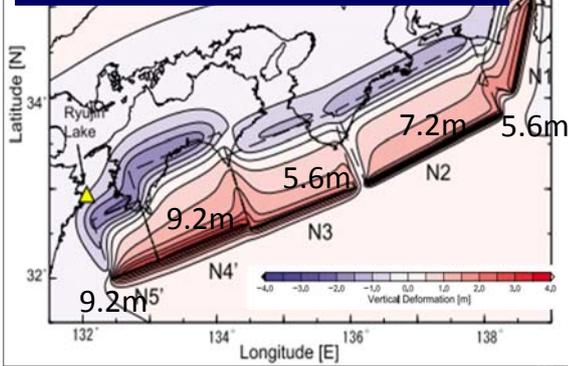
南海トラフ大連動(4連動)波源モデル(作業モデル)

★南海トラフ4連動(宝永+慶長)震源モデルの考え方

1. 修正宝永地震モデル(Furumura, Imai & Maeda, 2011)
2. フィリピン海プレート上面にフィット
3. 上端~トラフ軸まで(W=20km)を慶長セグメント
4. 慶長セグメント滑り量=深部滑り(宝永地震)の2倍

修正宝永地震モデル

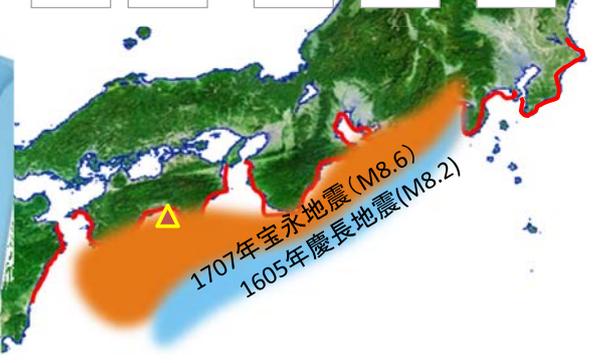
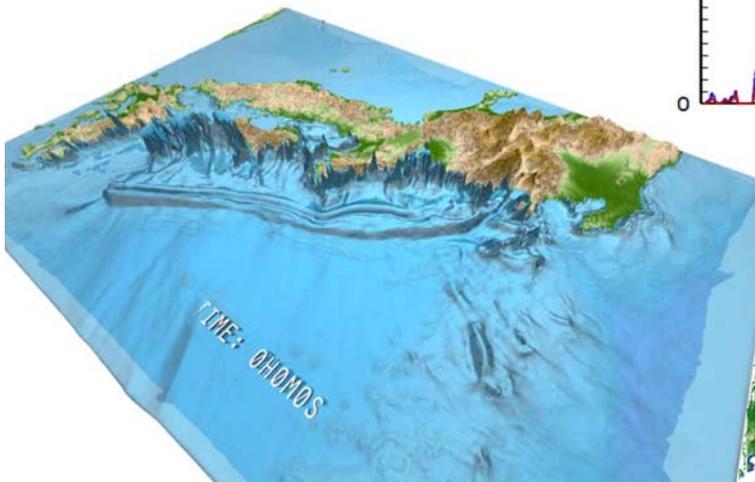
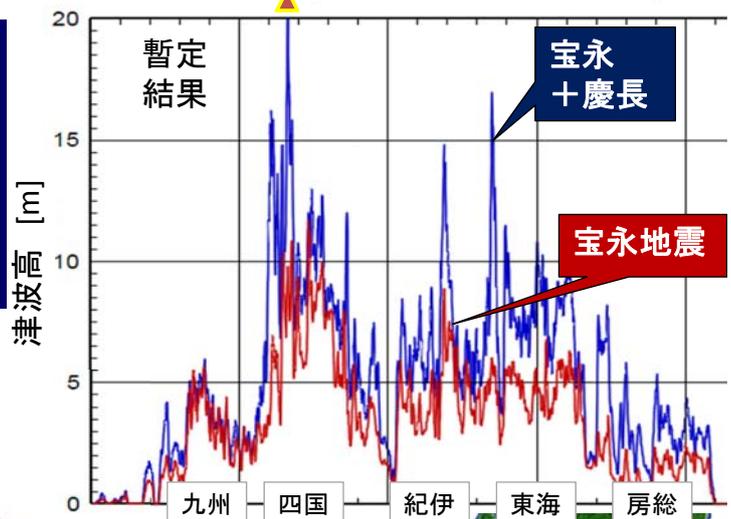
(Furumura, Imai & Maeda, 2011 JGR)



東北地方太平洋沖地震の震源メカニズムに基づき、南海トラフ3連動(宝永地震)と津波地震(慶長地震)の大連動(4連動)モデルを評価

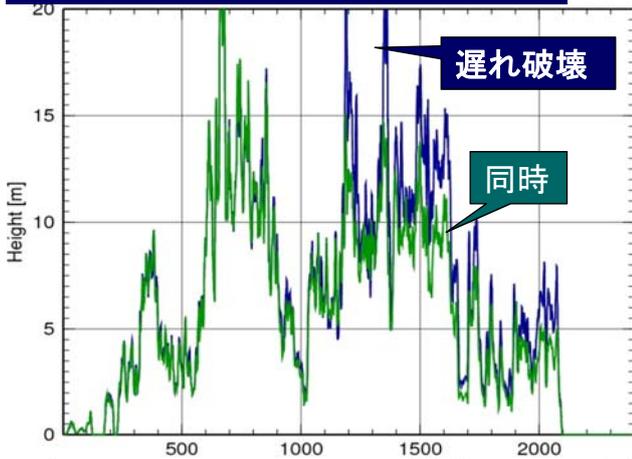
南海トラフ大連動による津波高: 宝永地震との比較

★大連動による沿岸津波
4連動(M8.8)による沿岸(湾内は別途評価比喻用)津波高は、宝永地震(M8.6)の1.5~2倍、土佐湾で最大20m程度

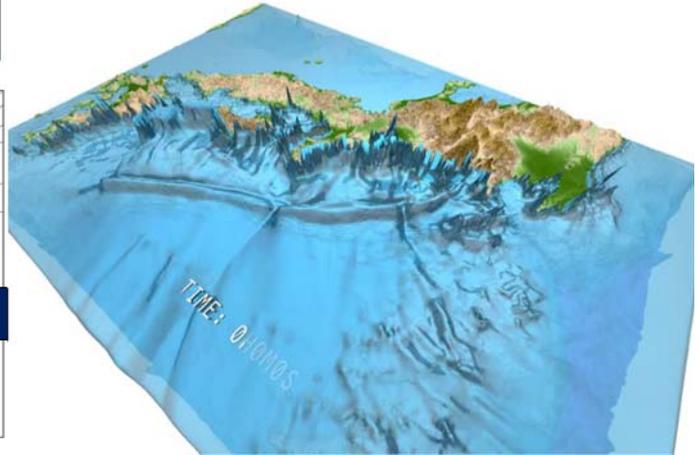
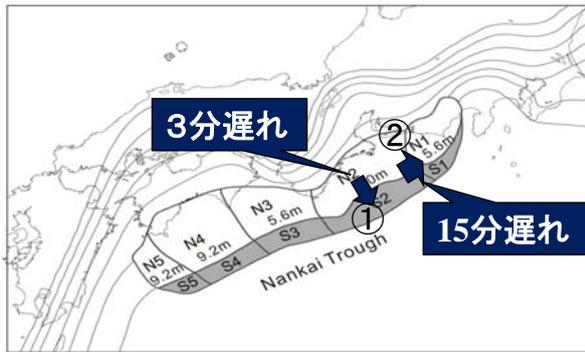


南海トラフ大連動による津波高： 遅れ破壊の影響

遅れ破壊による津波の増幅

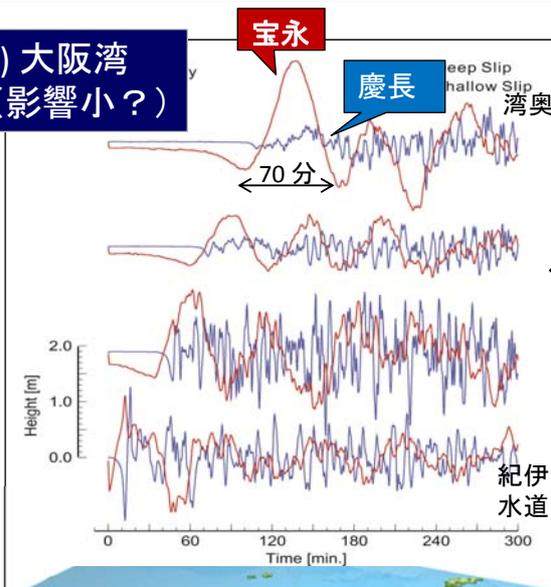


複数の震源域の連動は、「遅れ破壊」の可能性を伴う。南海トラフの地震では、数分の破壊遅れにより、津波の重なり合いと波高の増幅（最大1.5倍程度）が発生 (Imai, Satake, Furumura, 2010)。同様に、四国側の波高が高くなるパターンもあり

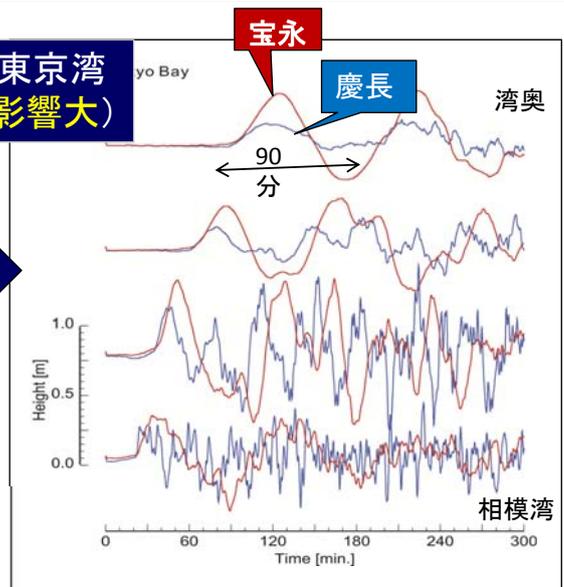


南海トラフ大連動による津波高： 湾内の津波

(a) 大阪湾 (影響小?)



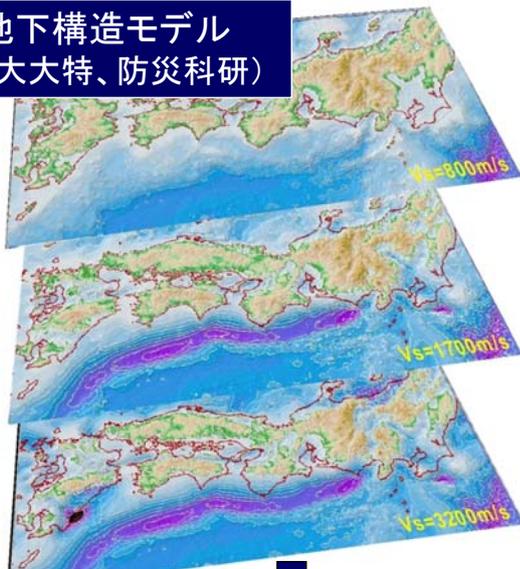
(b) 東京湾 (影響大)



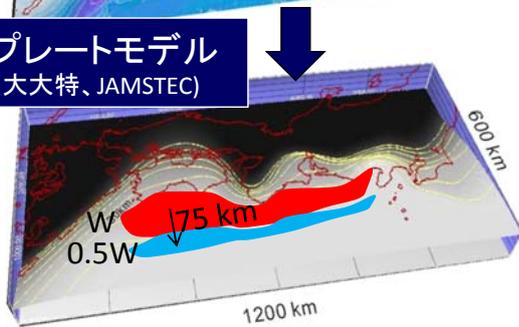
慶長地震の細長い波源は、単軸方向に短波長(短周期)津波を放射。同方向の大型湾(長周期)には進入小

南海トラフ大連動による地震動

地下構造モデル
(大大特、防災科研)



プレートモデル
(大大特、JAMSTEC)



■ 震源モデル

- (a) 宝永地震アスペリティモデル (中央防災会議, 2003)
- (b) 慶長地震モデル (a) をもとに作成 (古村・前田・今井, 2010)

・運動力学的シミュレーション
中村・宮武(2000)震源時間関数動的パラメータ(ライズタイム等可変)

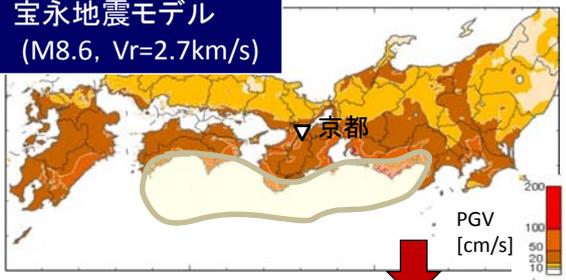
■ 地震動シミュレーション

格子間隔: 3000*1500*640
(0.4*0.4*0.2 km)
最大周波数: $f < 1$ Hz
並列計算: 256CPU (ES2)

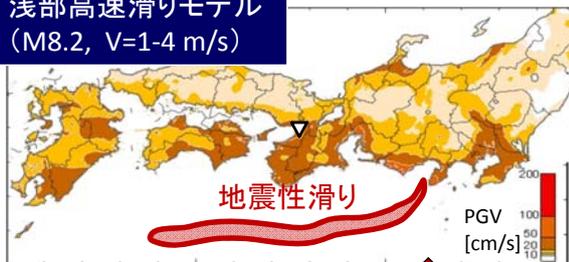
震源域の拡大に伴う地震動の変化を、震源モデルと地下構造モデルを用いて、3次元運動方程式の差分法計算により評価

南海トラフ4連動発生による地震動: 宝永+慶長地震

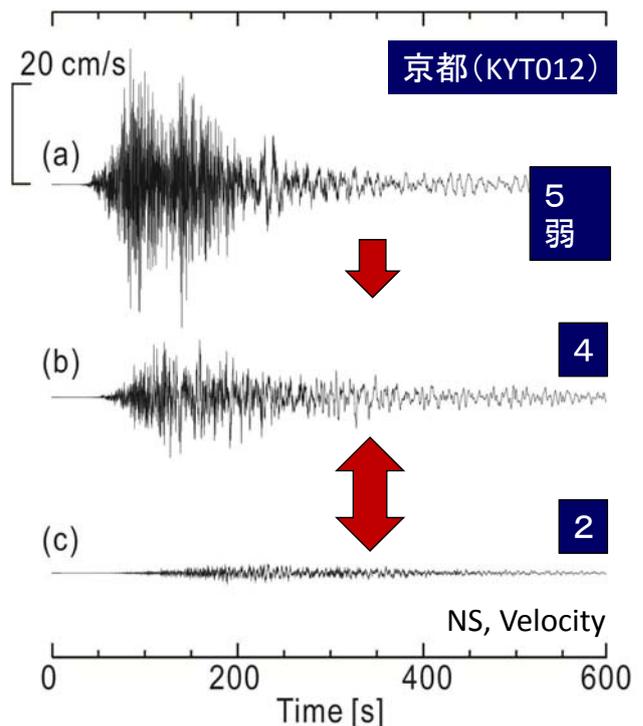
(a) 宝永地震モデル
(M8.6, $V_r=2.7$ km/s)



(b) 浅部高速滑りモデル
(M8.2, $V=1-4$ m/s)



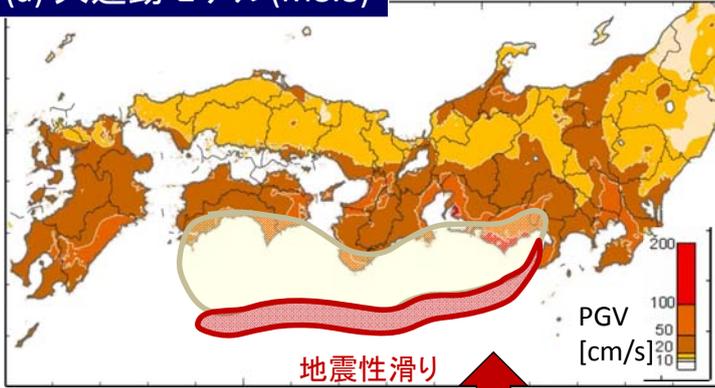
(c) 浅部ゆっくり滑りモデル
(M8.2, $V=0.2-0.8$ m/s) 慶長地震



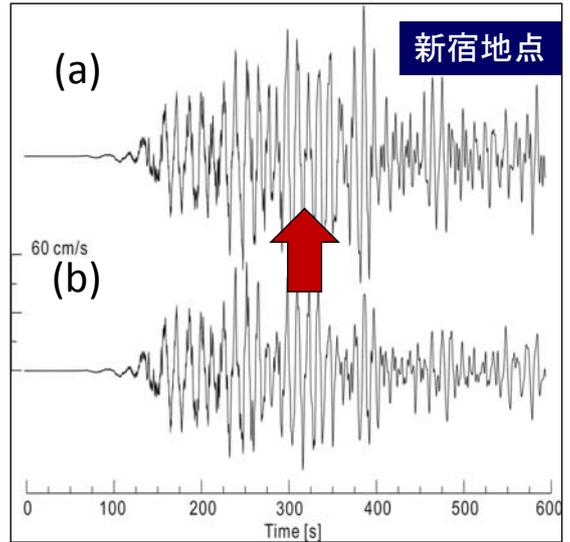
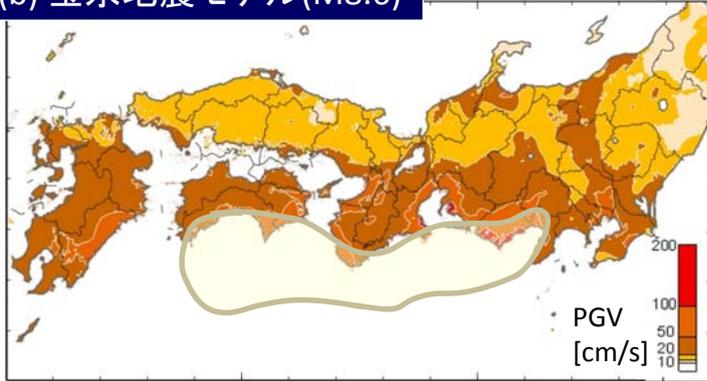
慶長地震モデルでは、宝永地震モデルより地震動は半分程度になる。さらに、ゆっくり滑り(津波地震)により、地震動は激減(無感)する

南海トラフ4連動発生による地震動：宝永十慶長地震

(a) 大連動モデル(M8.8)



(b) 宝永地震モデル(M8.6)

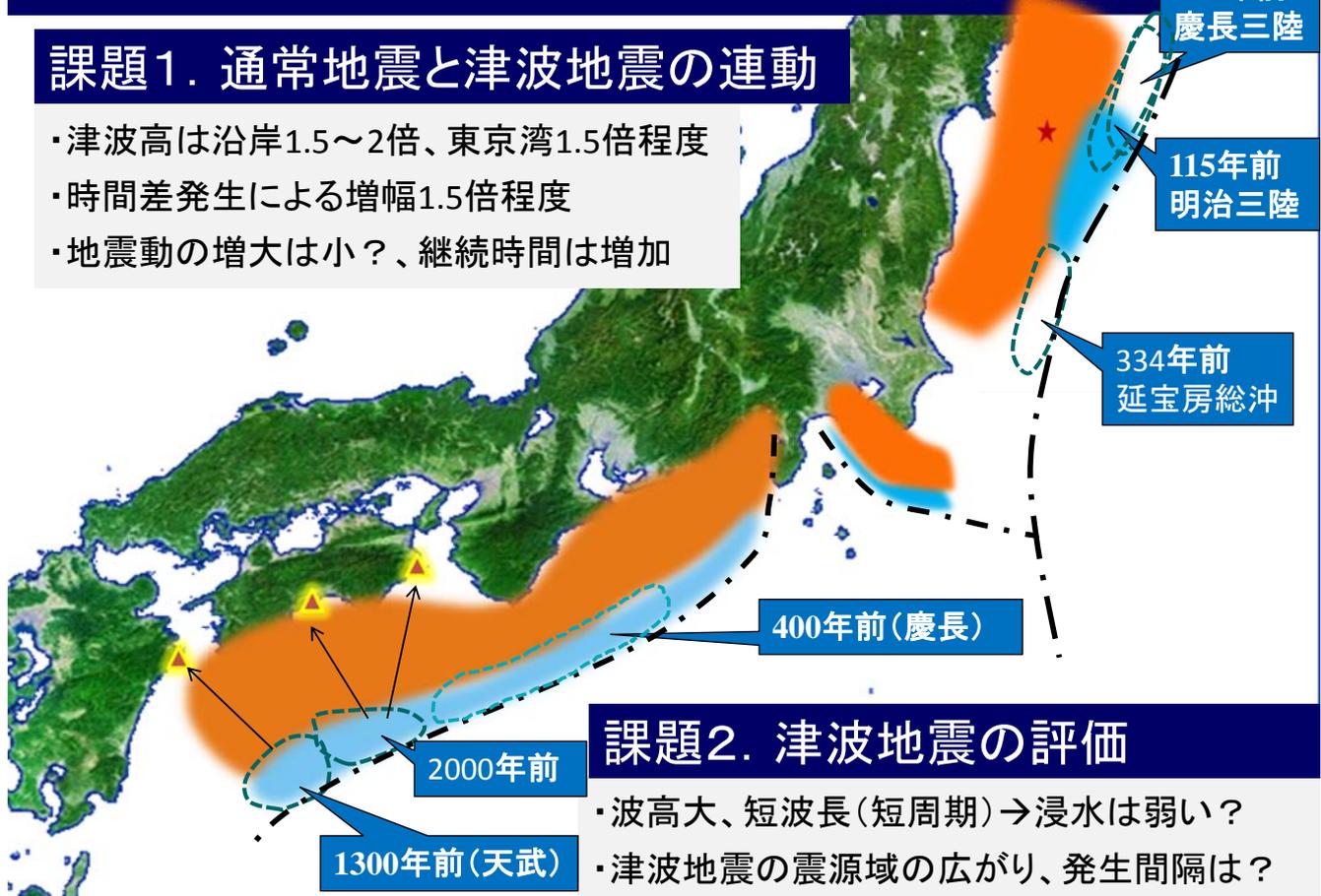


大連動モデルでの地震動増幅は1.8倍(震度0.5)程度。継続時間の増加も1.5倍程度

南海トラフ巨大地震の震源モデル検討課題

課題1. 通常地震と津波地震の連動

- ・津波高は沿岸1.5~2倍、東京湾1.5倍程度
- ・時間差発生による増幅1.5倍程度
- ・地震動の増大は小?、継続時間は増加



課題2. 津波地震の評価

- ・波高大、短波長(短周期)→浸水は弱い?
- ・津波地震の震源域の広がり、発生間隔は?

南海トラフ巨大地震の震源モデル検討課題

★レベル1 モデル

- ・3連動(宝永地震)モデルをベース、既往最大波源の評価
安政東海地震、明応地震の津波高を組み込む
- ・時間差発生(破壊開始点、破壊遅れ)による増幅を評価
- ・東海、東南海、南海地震単独発生は別途評価しない

★レベル2 モデル

- ・レベル1モデル+浅部プレート境界大滑り
- ・その他、L1評価に同じ



文献

[1] Furumura, T., K. Imai, and T. Maeda, A revised tsunami source model for the 1707 Hiei earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryujin Lake, Kyushu, Japan. , J. Geophys. Res., v116, B02308, doi:10.1029/2010JB007918, 2011

[2] Imai, K., K. Satake., and T. Furumura, Amplification of tsunami heights by delayed rupture of great earthquakes along the Nankai trough, Earth Planets Space, 62, 427-432, 2010.

[3] Maeda, T., T. Furumura, S. Sakai, and M. Shinohara, 2011, Significant slip on shallow portion of the fault to develop significant tsunami of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Earth Planet and Science, 63, 803-808, 2011.

[4] Saito, S. and T. Furumura, Three-dimensional tsunami generation simulation due to sea-bottom deformation and its interpretation based on the linear theory Geophys. J. Int, 178, 877-888, 2009.

南海トラフの巨大地震モデル検討会

寒川先生提供資料

第5回会合

平成23年11月24日

南海トラフの巨大地震モデル検討会

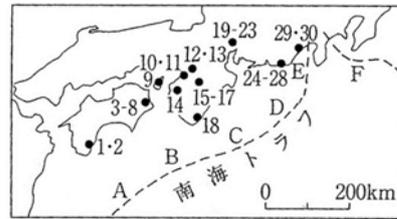
南海トラフから発生した 巨大地震の痕跡

産業技術総合研究所 寒川 旭

西暦で示したのは史料から求めた地震の発生年。数字で示したのは遺跡で見つかった。地震痕跡で、上の図の●は遺跡の位置、下の図の●は地震痕跡の年代を示す。

- 1 アゾノ、2 船戸、3 宮ノ前、
- 4 神宅、5 古城、6 中島田、
- 7 黒谷川宮ノ前、8 黒谷川郡頭、
- 9 志筑庵寺、10 石津太神社、
- 11 下田、12 池島・福万寺、
- 13 瓜生堂、14 川辺、
- 15 カヅマヤマ古墳 16 赤土山古墳、
- 17 酒船石、18 川関、19 東畑庵寺、
- 20 尾張国府跡、21 門間沼、
- 22 地藏越、23 田所、
- 24 御殿二之宮、25 袋井宿、
- 26 元島、27 坂尻、28 鶴松、
- 29 上土、30 川合

(1～30は遺跡名)

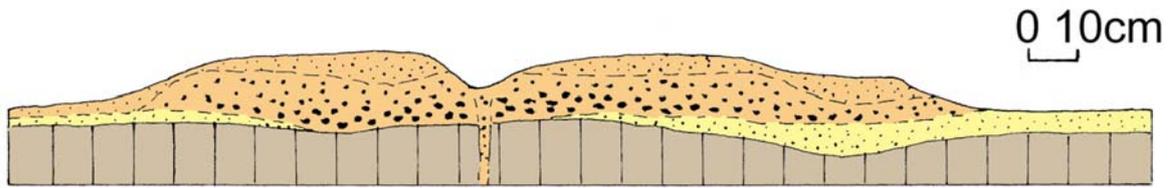


南海トラフの地震年表 (寒川、2011より)

南海地震 東海地震
 東南海地震 東海地震



1995年兵庫県南部地震の噴砂

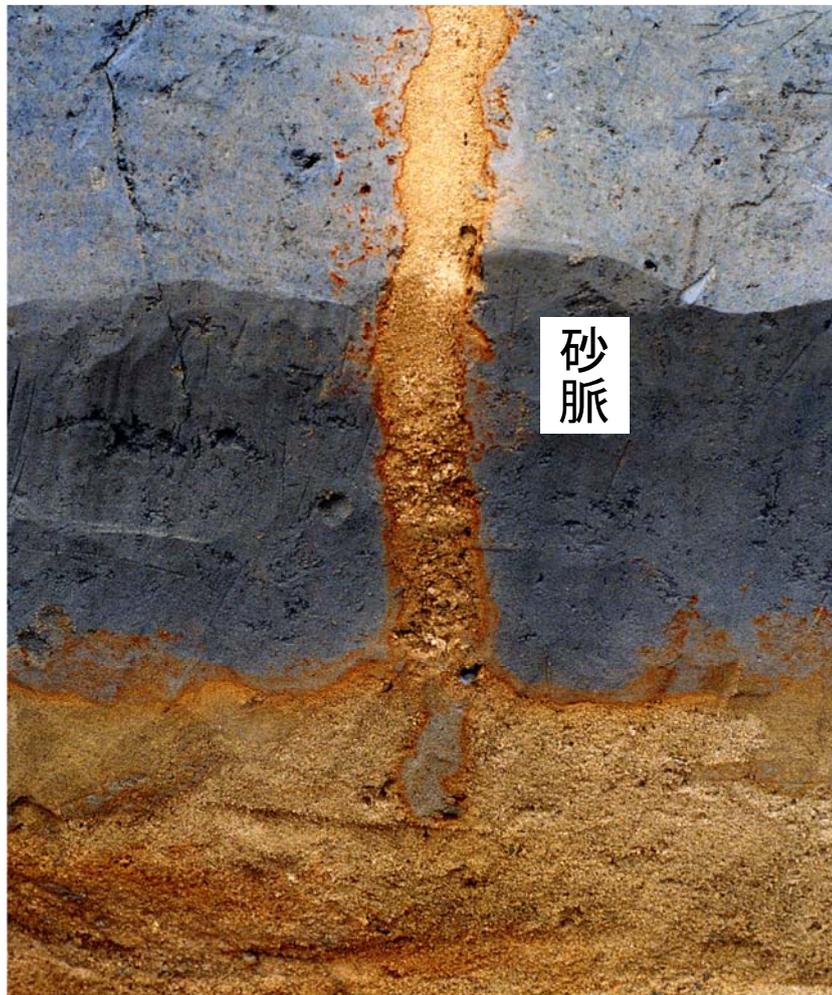


西宮浜北部における噴砂丘の断面図

京都府八幡市木津川河床遺跡の液状化跡



木津川河床遺跡の液状化跡

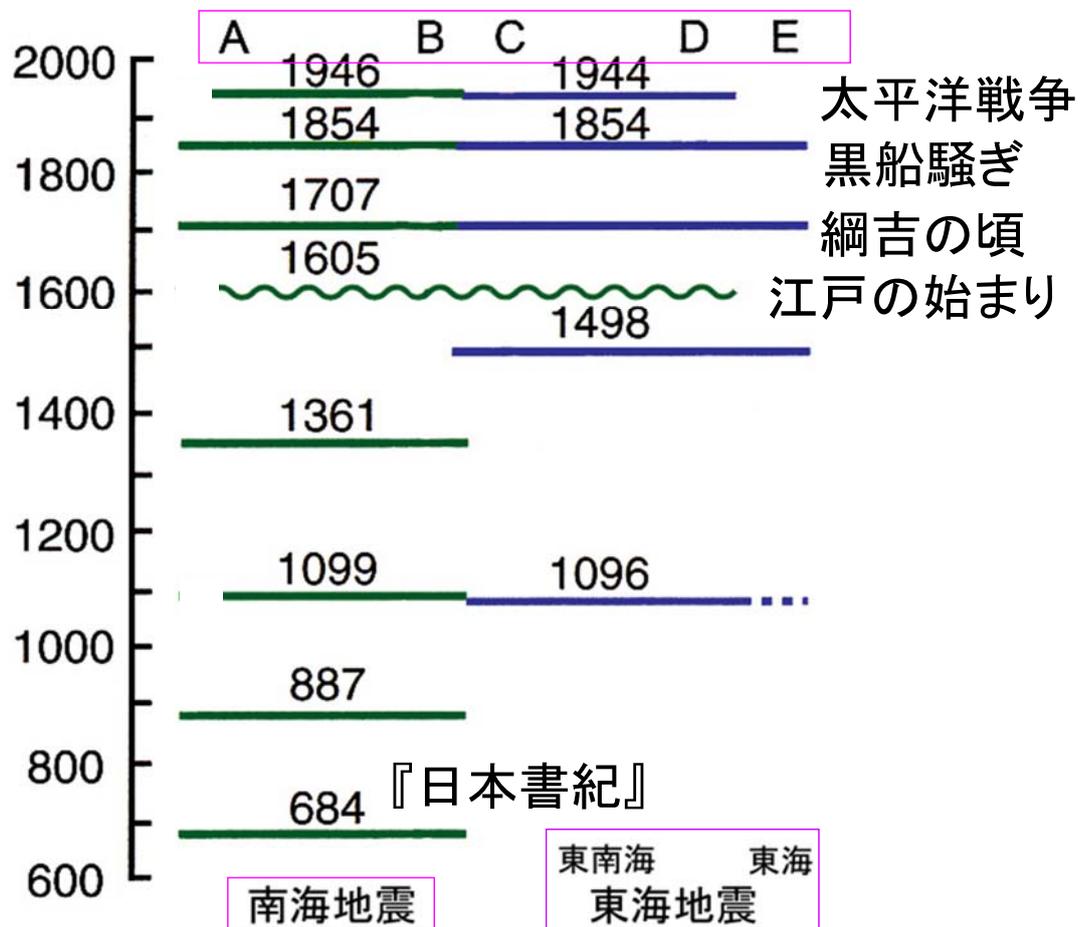


砂脈



地震後の地層
— 地震
地震前の地層

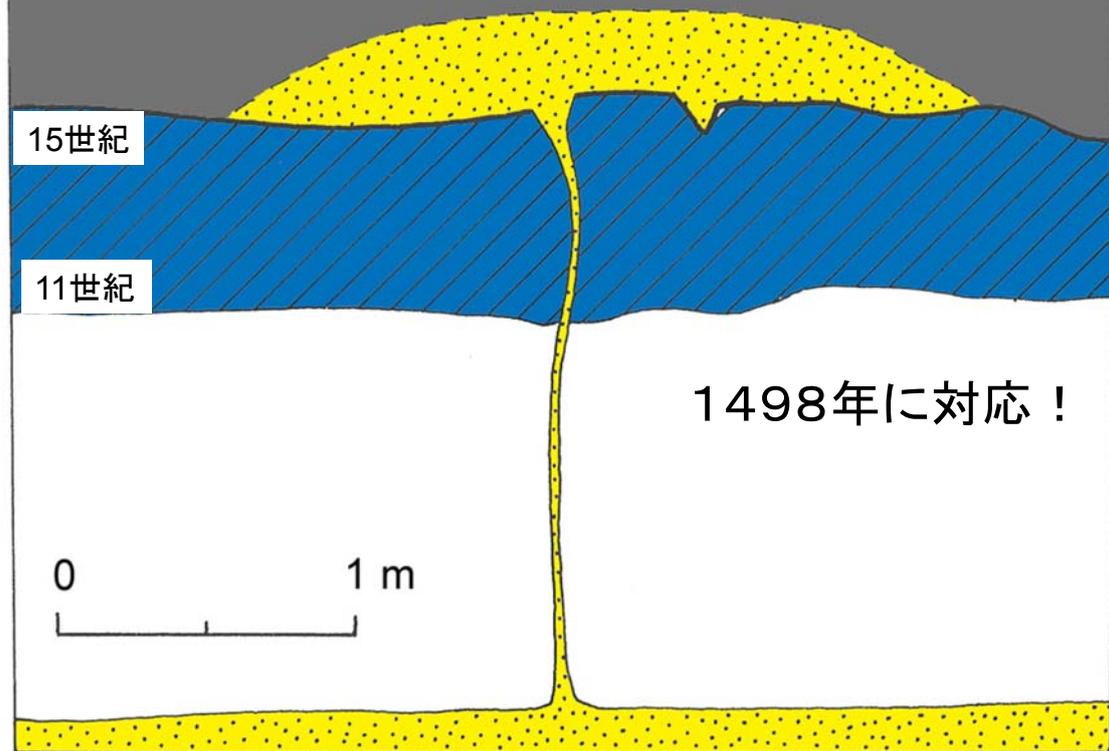
遺跡で地震の年代を絞り込むことができる！



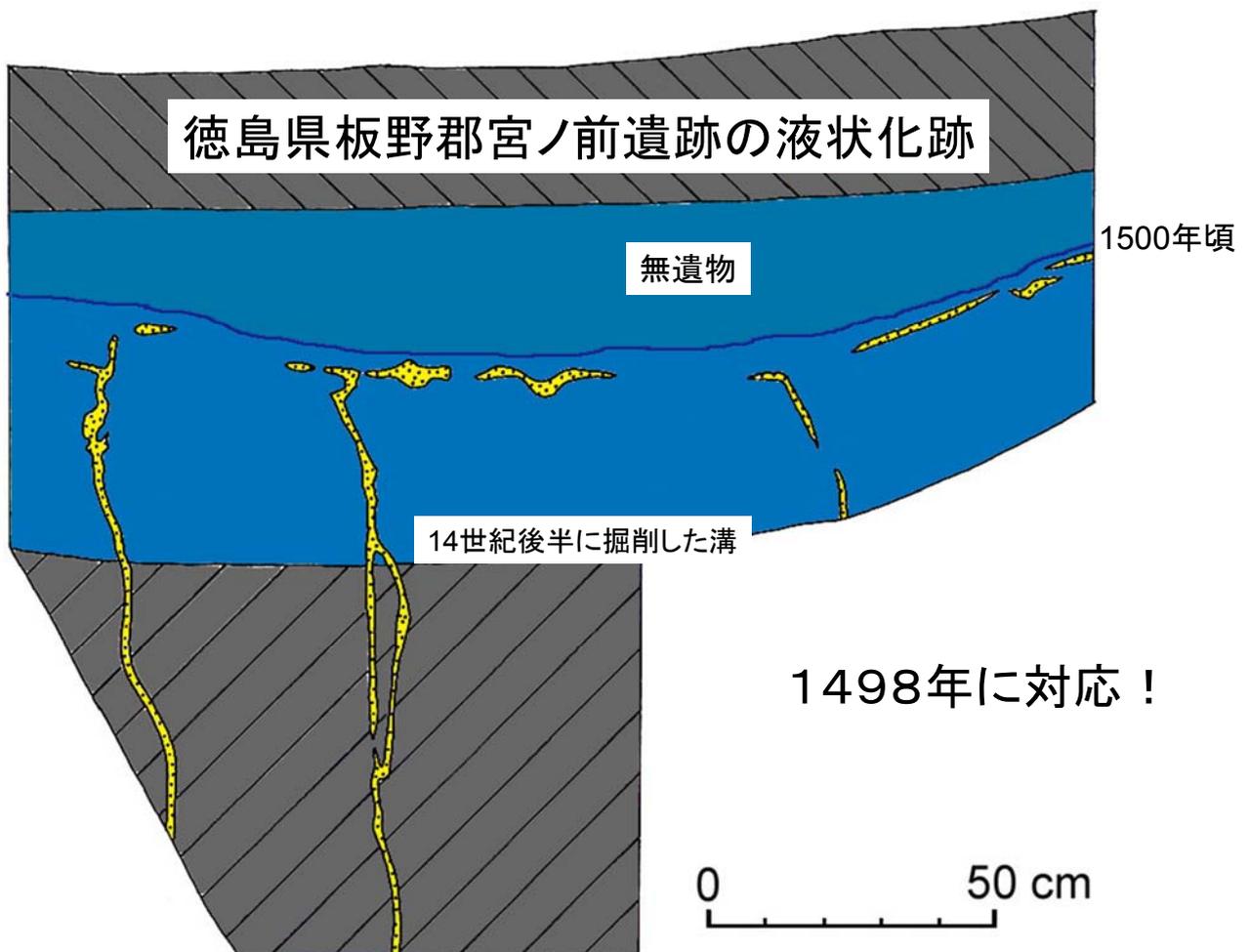
『日本書紀』の天武十三(684)年条

人定(午後十時)に逮りて、大きに地震る。
 国挙りて男女叫び唱ひて、不知東西ひぬ。
 則ち山崩れ河涌く。諸国の郡の官舎、及び百姓の
 倉屋、寺塔神社、破壊れし類、勝て数ふべからず。
 是に由りて、人民及び六畜、多に死傷はる。
 時に伊豫湯泉、没れて出でず。
 土左國の田苑五十余万頃、没れて海と為る。
 土左國司言さく、大潮高く騰りて、海水飄蕩ふ。
 是に由りて、調運ぶ船、多に放れ失せぬ

高知県四万十市アゾノ遺跡の液状化跡



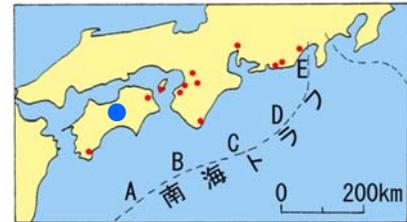
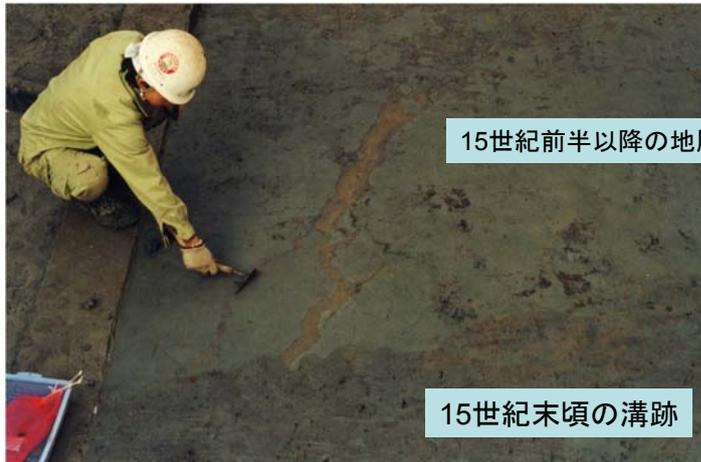
徳島県板野郡宮ノ前遺跡の液状化跡



『新居浜市の黒島神社の文書』
(明治時代の記録)

明応七年(1498年)の震災に、大地大に潰崩し、
島の六七分は流失し、此度二三の遺島となれり

明応七年の震災に罹り、
本殿拝殿共破壊し、住民四方に散乱し



東大阪市瓜生堂遺跡



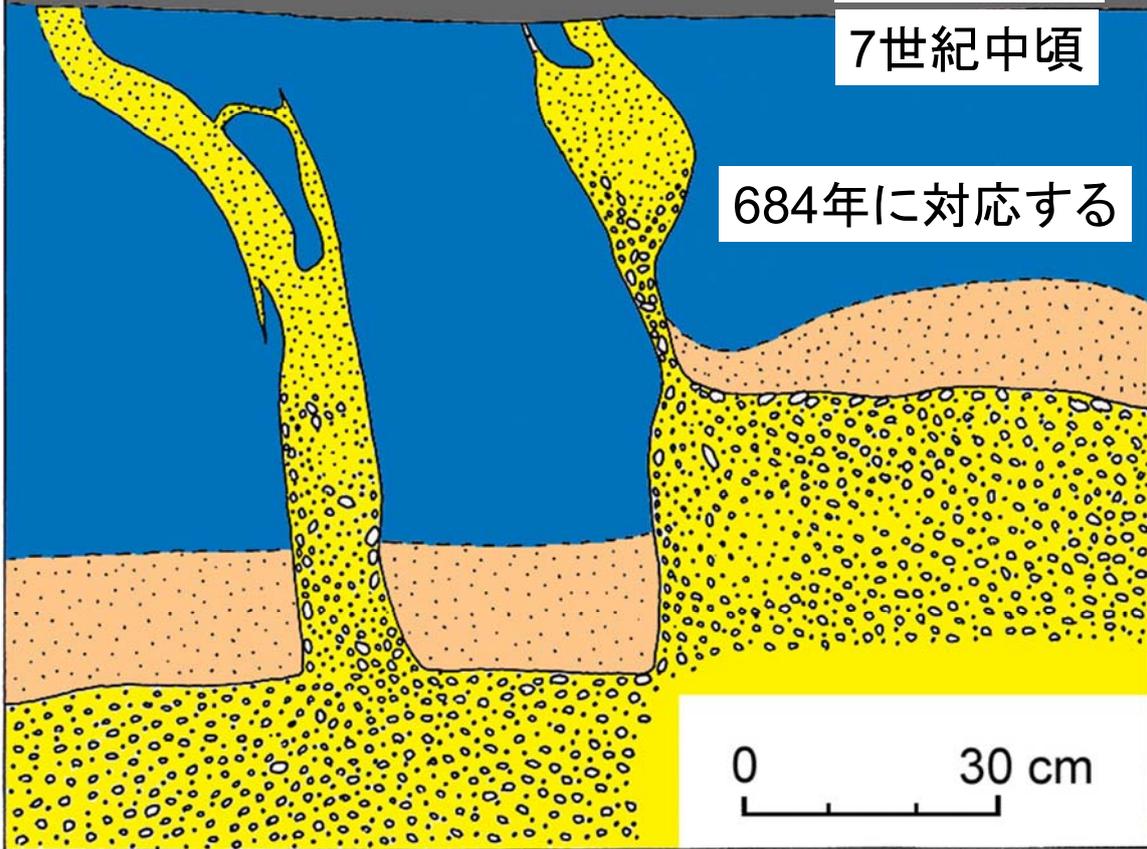
静岡県袋井市坂尻遺跡の調査風景

静岡県袋井市坂尻遺跡の地震跡

8世紀初頭

7世紀中頃

684年に対応する

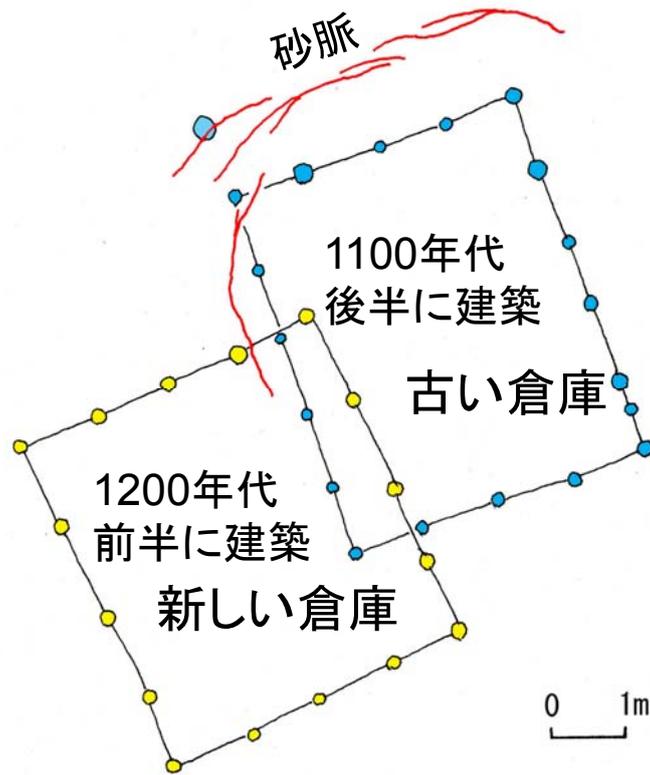


静岡市川合遺跡の砂脈

684年に対応



和歌山県那智勝浦町川関遺跡の地震跡



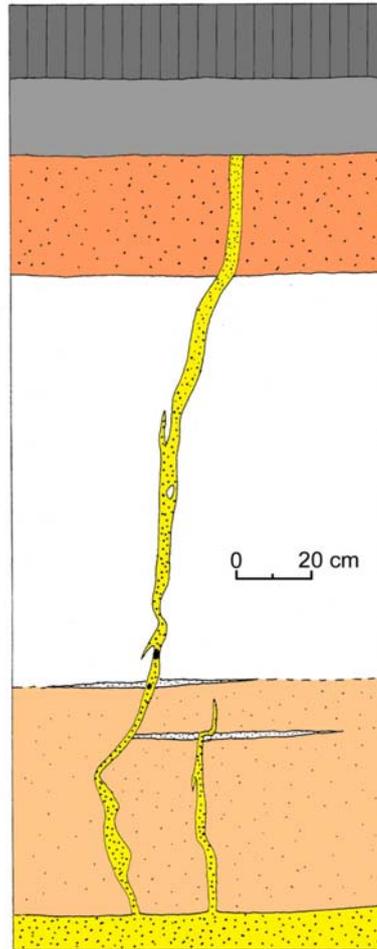
1854年安政南海地震



淡路市志筑廃寺の地滑り跡

徳島県板野郡神宅遺跡の液状化跡

明治時代



江戸後期の磁器→

安政南海地震に対応

神戸市教育委員会が発掘調査



明治18年大日本帝国陸地測量部測量 仮製地形図(2万分の1)

1361年8月3日午前4時頃 正平16年6月24日寅刻

『斑鳩嘉元記』

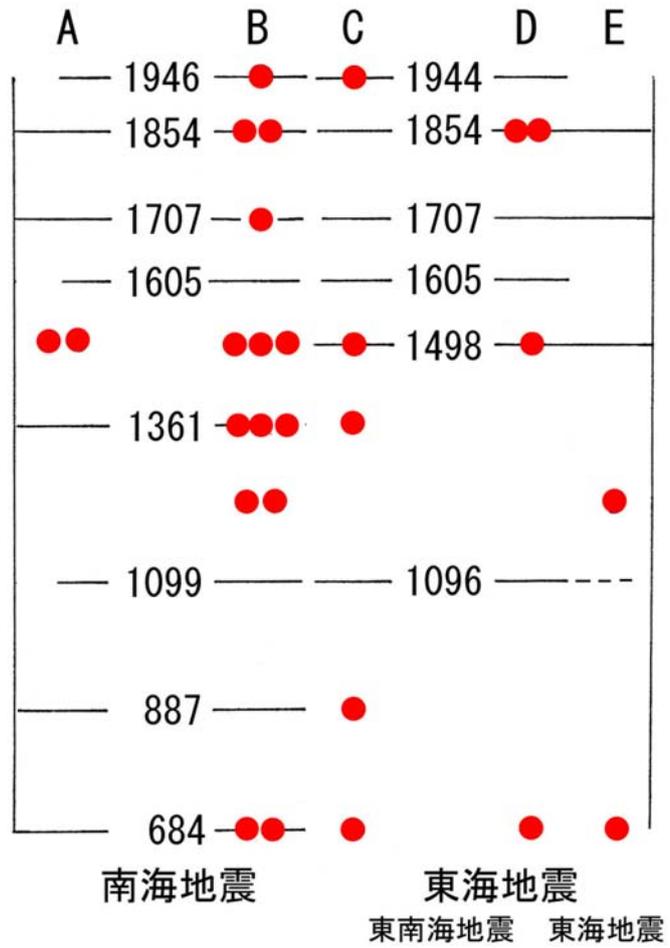
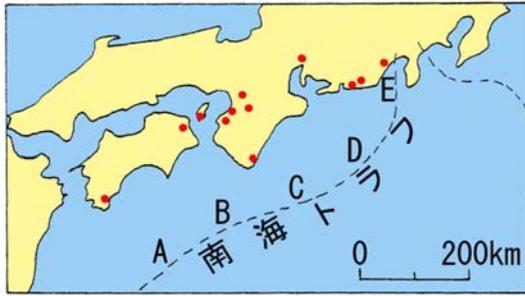
法隆寺の御塔の九輪の上が燃え落ち、
金堂東の間の仏壇の下が燃えて崩れ落ちた。
薬師寺金堂の二階が傾いて破れ
御塔・中門・廻廊が悉く倒れ、西院も顛倒、諸堂破損。
唐招提寺の塔の九輪が大破損、西廻廊は皆顛倒。
天王寺の金堂が倒壊した

『太平記』

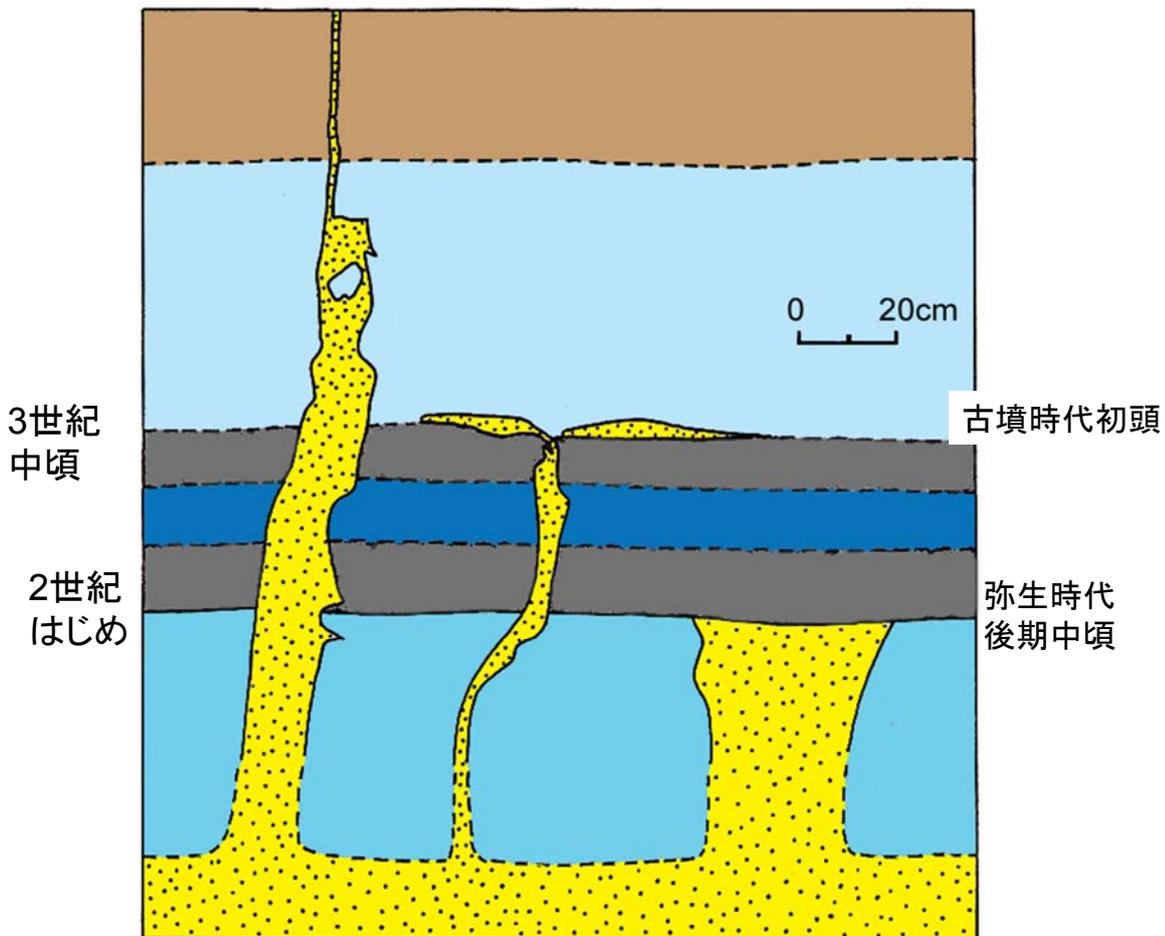
阿波の雪の港という浦には、にわか
大山の如くなる潮みなぎり来て在家一千七百余、
ことごとく引き潮に連れて海底に沈みしかば、
家々に所有の僧俗・男女、牛馬・鶏犬、一つも残らず
底の藻屑と成りにけり
天王寺の金堂ほど崩れたる堂舎はなく、
紀州の山々ほど裂けたる地もなければ



徳島県由岐町(現・美波町)の康暦碑



南海トラフの地震年表



徳島県板野郡板野町黒谷川宮ノ前遺跡



噴砂を覆う焼土跡



徳島県板野町 黒谷川郡頭遺跡

弥生時代Ⅴ期(後期)
中頃の液状化跡



大阪府堺市の下田遺跡の液状化跡
(古墳時代初頭)