

南海・東南海・東海地震の連動発生による強震動と津波の予測

東京大学教授

古村孝志

「東海地震がいつ起きてもおかしくない」と言われてから 30 年余が経過した。今後時間が経過すると、安政東海地震（1854 年）のように、東南海地震と東海地震が同時に発生する危険性が高まってくる。宝永地震（1707 年）のように、南海、東南海、東海地震の 3 つが連動発生する可能性もある。連動発生により、震度 6 弱以上の強い揺れは四国～伊豆半島まで延び、1,500 万人以上が影響を受ける可能性がある。地震直後には、海岸線が最大 1～2 m の隆起あるいは沈降し、そこに数メートルを超える大津波が押し寄せる。巨大地震による影響は、強い揺れと地殻変動、そして津波が複雑に絡み合った複合災害となる恐れが高い。100～150 年周期で繰り返す南海トラフ地震の長い歴史で、地震発生の特徴が分かっているのは、宝永、安政、そして昭和の地震の 3 例に過ぎない。しかもその発生様式は実に多様であり、限られた知見から次の地震を予測するのは難しい。宝永地震を超える超巨大地震に成長する可能性すらある。南海トラフで起きうる最大級の地震とは何か、これによる強い揺れと津波はどの程度のものかを考えるために、地球観測データと古文書や遺跡・地質調査、そしてコンピュータシミュレーションなど、あらゆる知見を総動員して考える。

2009年災害研究フォーラム

東海・東南海・南海地震の連動発生による 地震と津波の予測

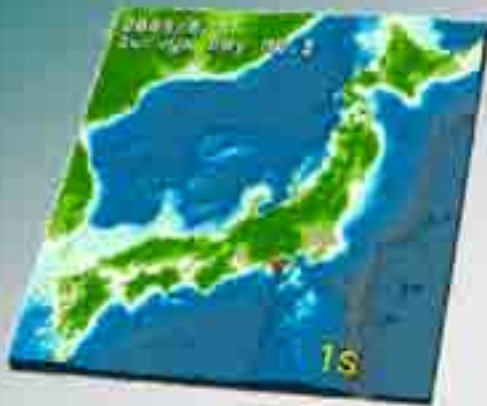
古村 孝志

東京大学総合防災情報研究センター / 地震研究所



1. 8月11日駿河湾の地震
2. 南海トラフ地震の連動発生による地震と津波

2009年8月11日駿河湾の地震(M6.5)



防災科学技術研究所
地震観測網(全国1000点)
地震計データの可視化



2009年8月11日駿河湾の地震(M6.5)

- ★東海地震(M8~8.2)
100~150年毎
- 1605年 慶長地震(M7.9)
- 1707年 宝永地震(M8.4)
- 1854年 安政東海地震(M8.4)

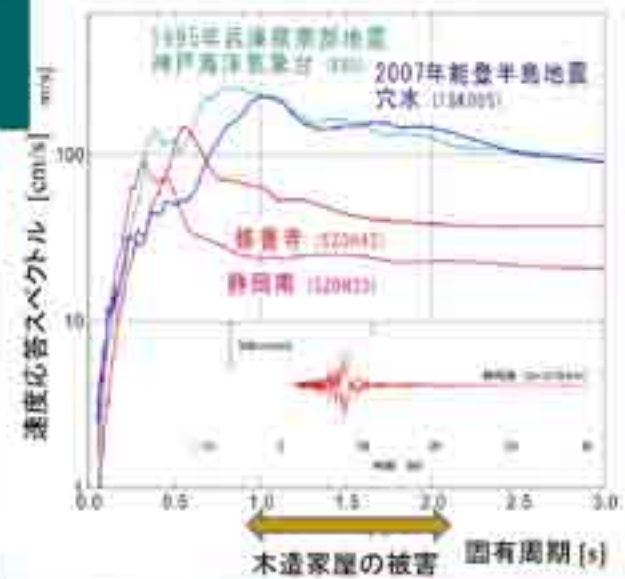


- ★静岡地震(M6.1~6.5)
30~40年毎
- 1841年 駿河久能山地震(M6.3)
- 1917年 静岡県中部(M6.3)
- 1935年 静岡地震(M6.1)
- 1965年 静岡地震(M6.1)
- 2009年 駿河湾の地震(M6.5)

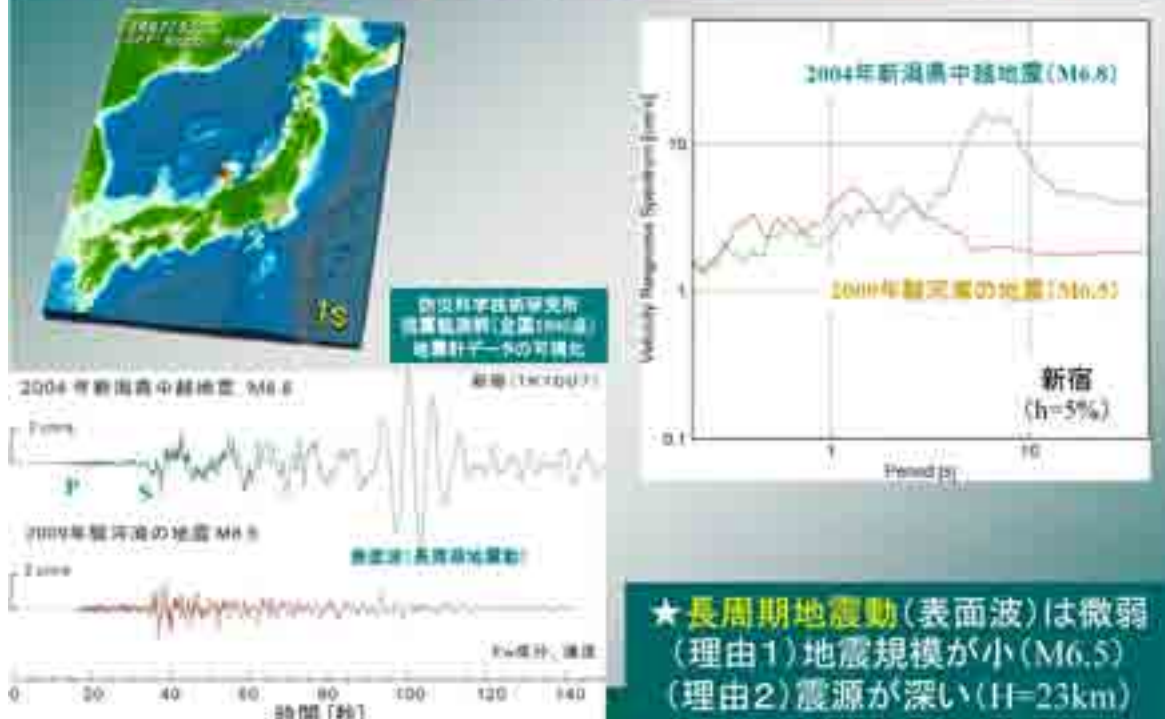
駿河湾の地震と被害：短周期地震動の放射

- ★沈み込むプレート(スラブ)内地震
- ・応力降下量大(10MPa程度)
- ・震源が深い
- ・地震波が堅いプレートを伝播

→短周期($T=0.3-0.5s$)
地震動が強い



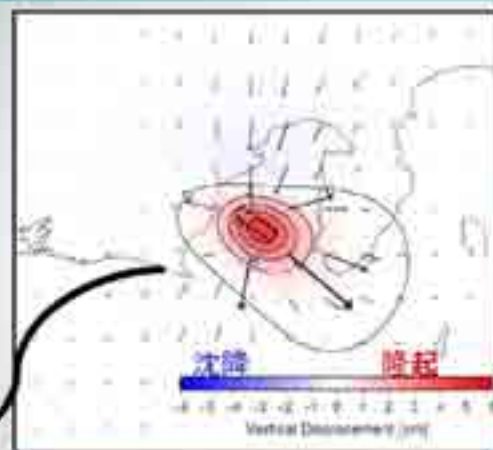
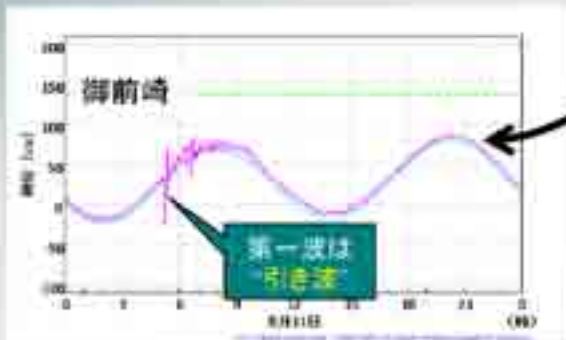
駿河湾の地震：長周期地震動の生成は微弱



駿河湾の地震：津波が発生？

今回の津波のナゾ？

- ・20～40分後に最大波が到着
- ・屋伊豆30cm、御前崎40cm
- ・初動は“引き波”

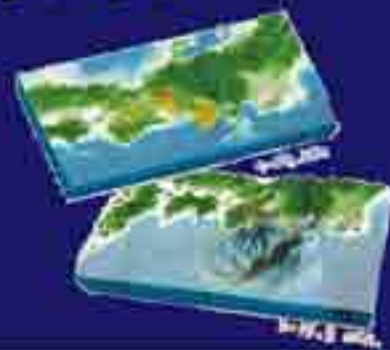


地震による地殻変動は最大“4cmの隆起”
→“40cmの引き波”と矛盾

海底地滑り等による津波か？

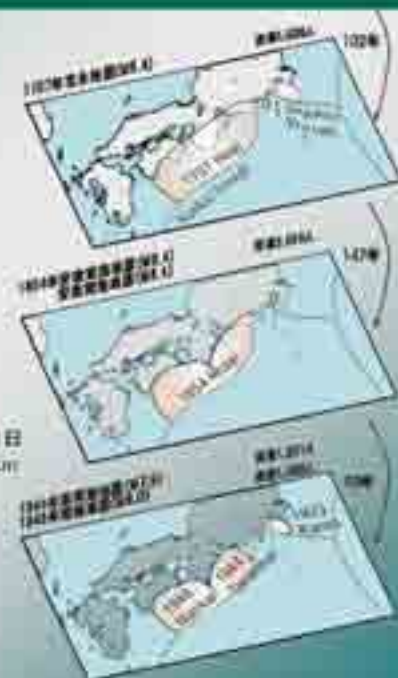
観測記録：気象庁資料による

南海トラフ巨大地震による 強震動、地殻変動、津波

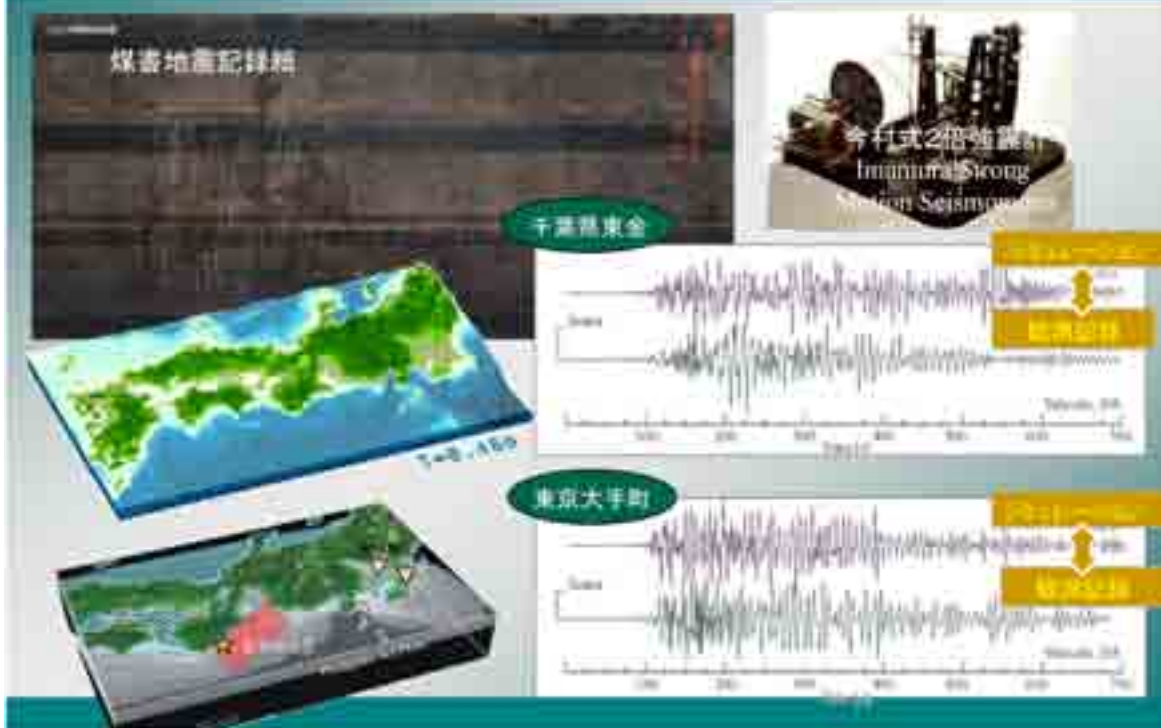


南海トラフ巨大地震

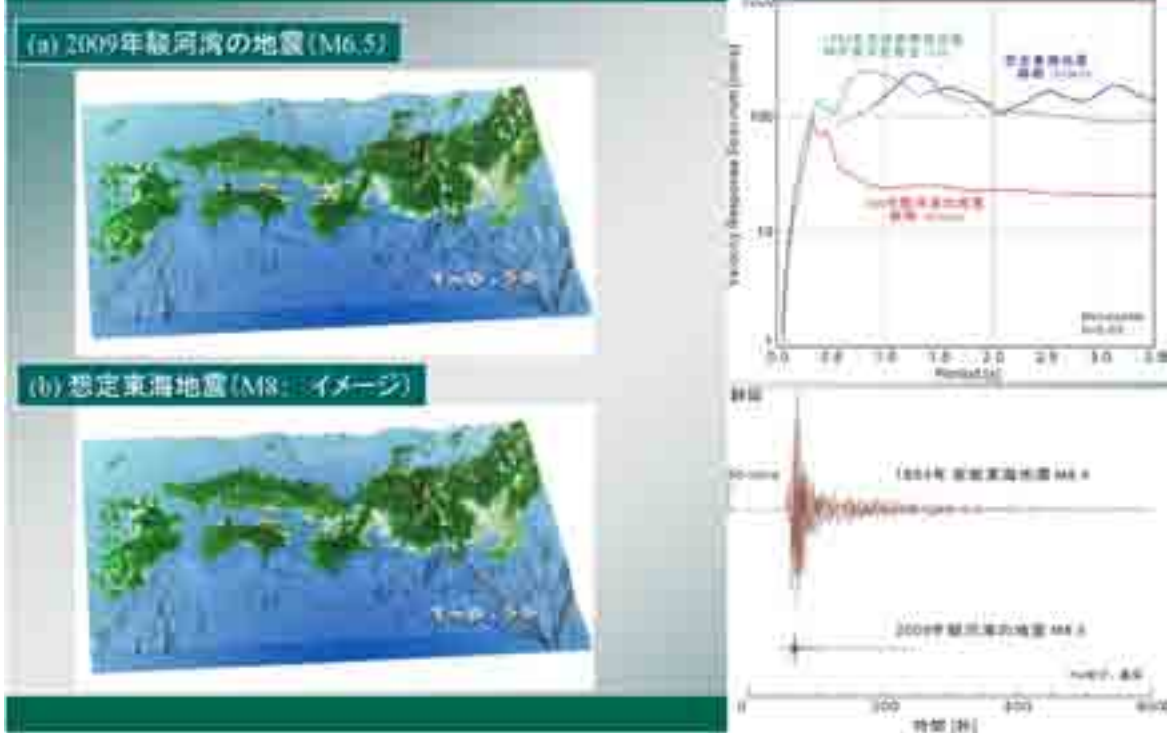
30年発生確率
東海地震: 90%以上
東南海地震: 60%
南海地震: 50%



地震動シミュレーションモデルの検証



駿河湾の地震と想定東海地震の比較



1946年南海地震による地殻変動

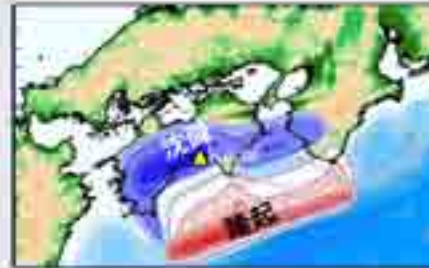
南海地震の翌日



現在の高知市街地



写真：高知大岡村教授、高知県危機管理課による



1946 南海地震



地震時に発生する地殻変動は、高知市街地を1~2m沈降させる。そして、もどに戻るには数十年を要する。

南海地震による大津波と長い継続時間

1946年南海地震による津波記録
(土佐清水)

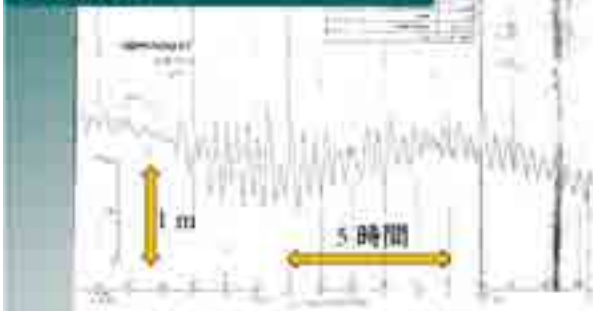


Photo: JIA Takashima



南海地震による津波は、土佐湾で十数時間続いた。津波自身に加えて、漂流物による被害多数。

南海トラフ巨大地震の 地震—津波連成シミュレーション

地震—津波連成シミュレーション

(a) 一般的な津波シミュレーション

浅水、長波方程式(2次元)

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + \kappa \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} = 0$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + \kappa \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} = 0$$

3) 津波伝播計算は、浅水・長波方程式により評価

2) 海水面の変動(初期津波)を仮定

1) 海底地殻変動を、Okada (1985)のプログラム等により解析的に計算(均質媒質)

(b) 地震—津波連成シミュレーション

ナビエ・ストークス式(3次元)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - \mu \nabla^2 u + \kappa \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} - \mu \nabla^2 v + \kappa \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

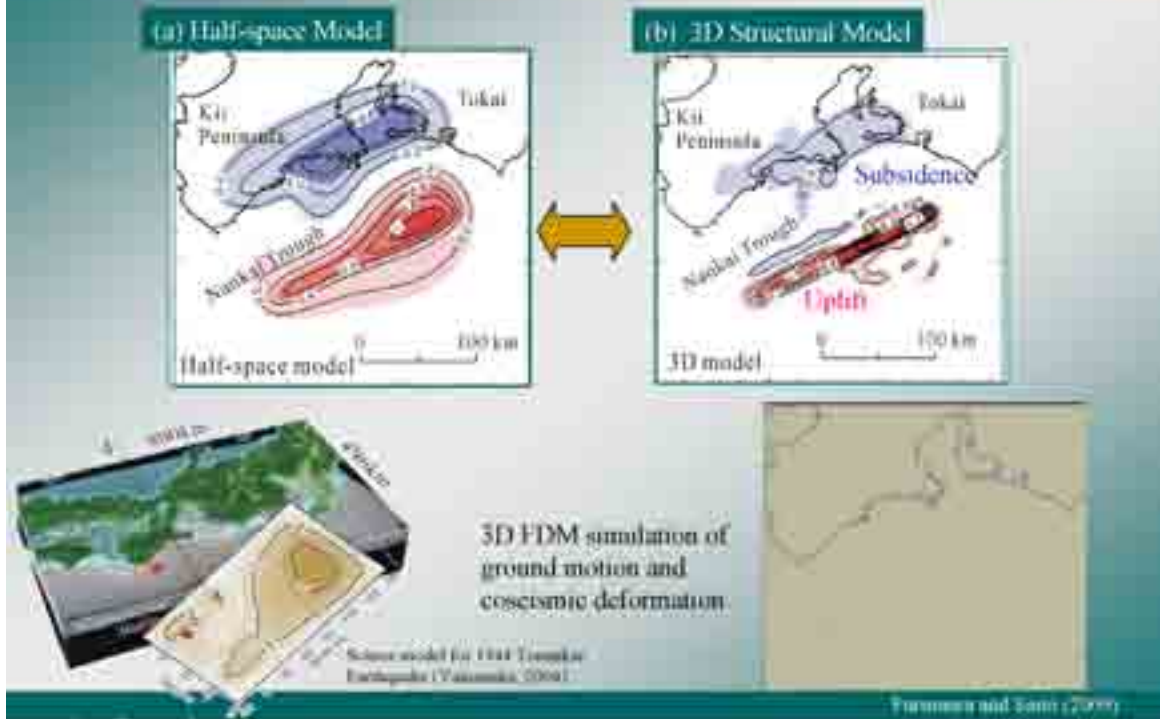
$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} - \mu \nabla^2 w + \kappa \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

2) 津波発生と伝播は、3次元ナビエ・ストークス式により評価

1) 海底地殻変動は、地震動計算の結果を利用(3次元不均質構造)

Joshi and Furusawa (2005), Furusawa and Sakai (2007)

地震—津波連成シミュレーション(1)地震動、地殻変動



地震—津波連成シミュレーション(3)津波伝播

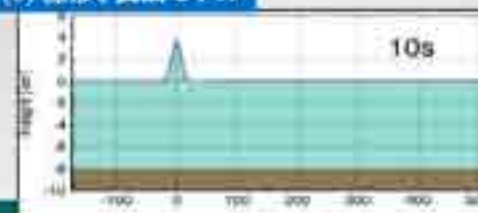
深海を伝わる津波は分散を起し、波群が長く延びる



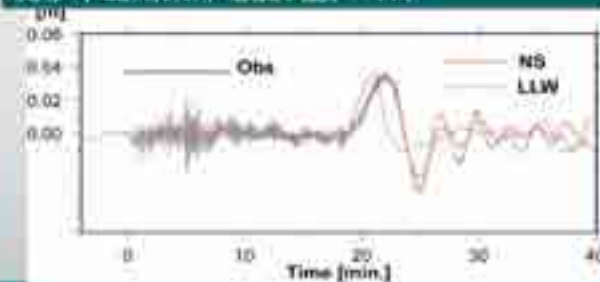
(a) ナビエ-ストークスモデル



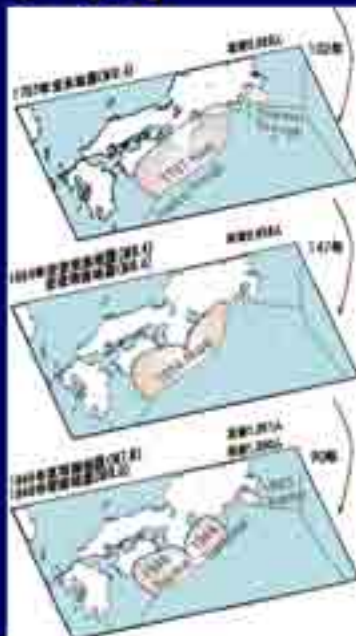
(b) 線形、長波モデル



紀伊半島南東沖地震、室戸岬沖



南海トラフ巨大地震シナリオ 1707年宝永地震



1707年宝永地震の震源モデル(レビュー)

(1) 津波高



(2) 地殻変動

(3) 震度分布



宝永地震の震源モデル

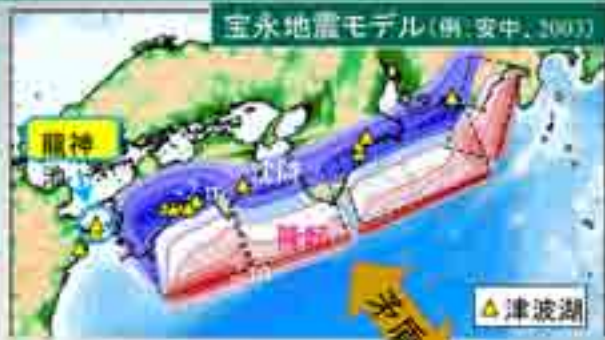


図は、中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」資料による

宝永地震の震源モデルの再評価(1) 観測データの矛盾

近年の観測研究との矛盾点

- ・龍神池(大分県佐伯市)の津波堆積物
1707宝永、1361正平、694天武地震
- ・津波湖の保存性(年間2.5mm)



2) 豊後水遣一日向灘における津波堆積物の調査



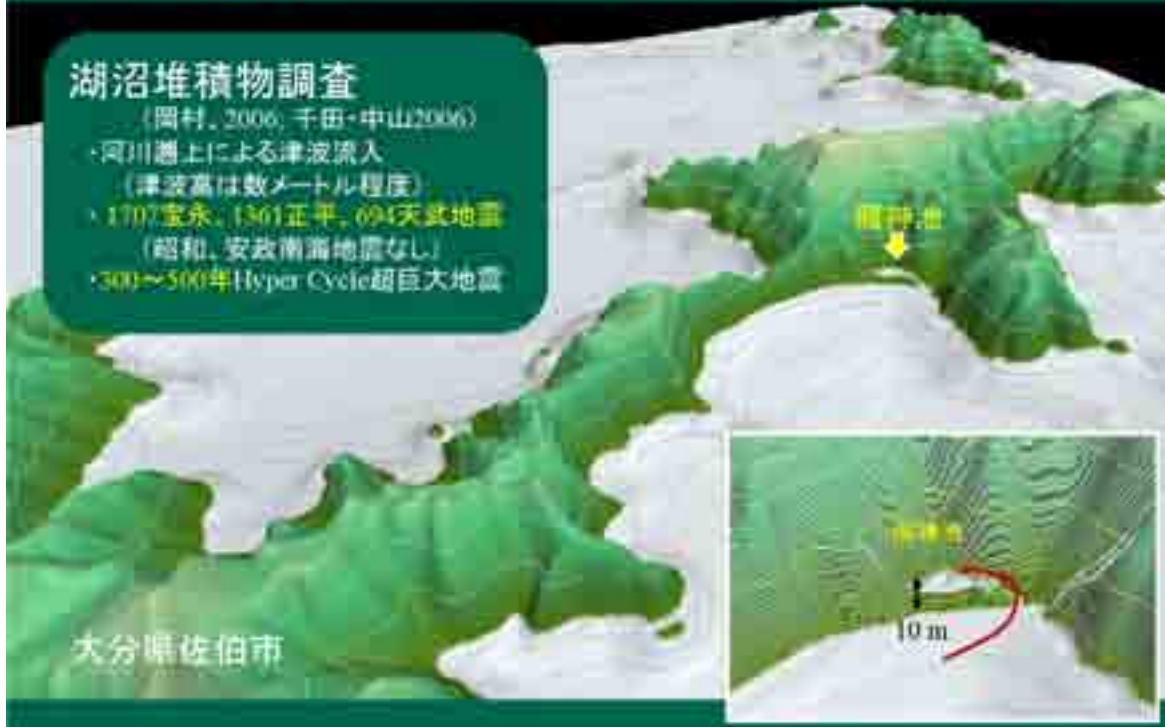
2) 地殻変動観測 (GEONET) 上下変動 1999/08 - 2009/08



1707年宝永地震による津波(佐伯市、龍神池付近)

湖沼堆積物調査

- (岡村, 2006; 千田・中山2006)
- ・河川遡上による津波流入
(津波高は数メートル程度)
- ・1707宝永、1361正平、694天武地震
(昭和、安政南海地震なし)
- ・300~500年 Hyper Cycle 超巨大地震

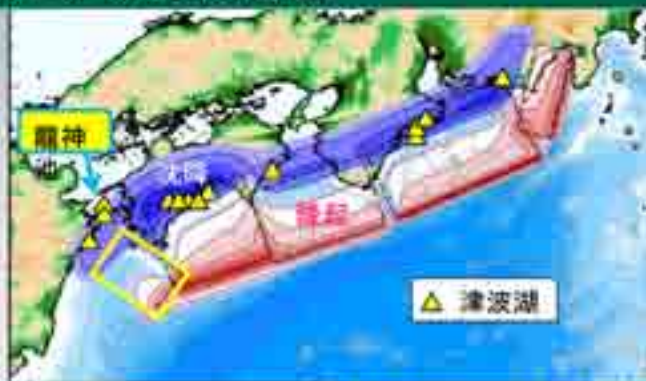


1707年宝永地震の震源モデルの再評価

最新の地球観測データ:

(GPS地殻変動、プレート固着域
プレート形状、地震活動)

- ・豊後水道～日向灘の地殻変動
- ・足摺岬～土佐湾～室戸岬の地殻変動



(2) 地殻変動観測 (GEONET)
上下変動 1999/08 - 2009/08



(b) GPS地殻変動解析に基づく
プレート固着域の評価



日向灘セグメントを追加
サイズ: 70*100 km
滑り量: 4.7m
Mw = 7.8

参考 (GEONET による滑り):
水藤 (2009) 本大会 112
橋本・笠谷・松浦 (2009)
本大会 A32-01

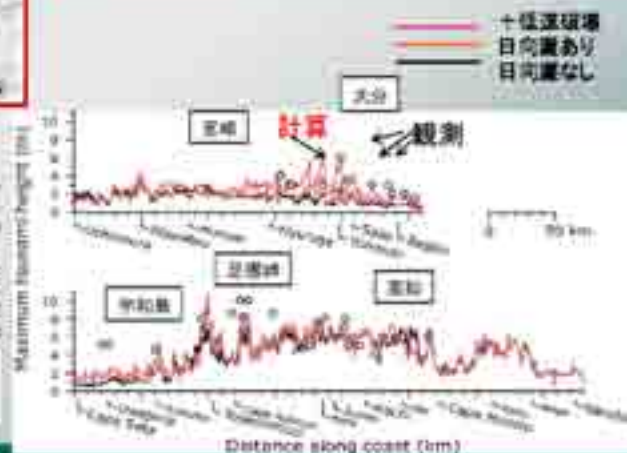
1707年宝永地震: 津波シミュレーション



修正宝永地震モデルの効果

- ・大分～足摺岬での津波高が増大 (1.5倍)
- ・断層の低速破壊による、日向灘への強い津波放射の指向性 (ディレクティビティ)

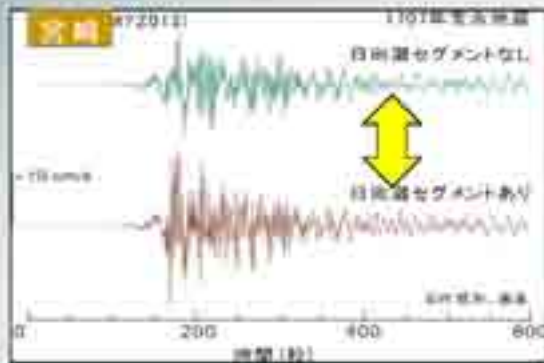
津波シミュレーション



1707年宝永地震による強震動



(a) 低速破壊or日向震なし



(b) 日向震あり and 高速破壊



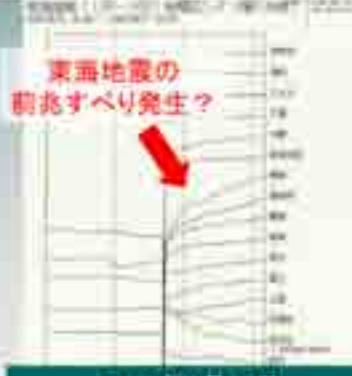
南海トラフ巨大地震の予知 観測・理論・シミュレーション研究



東海地震の予知と警戒宣言



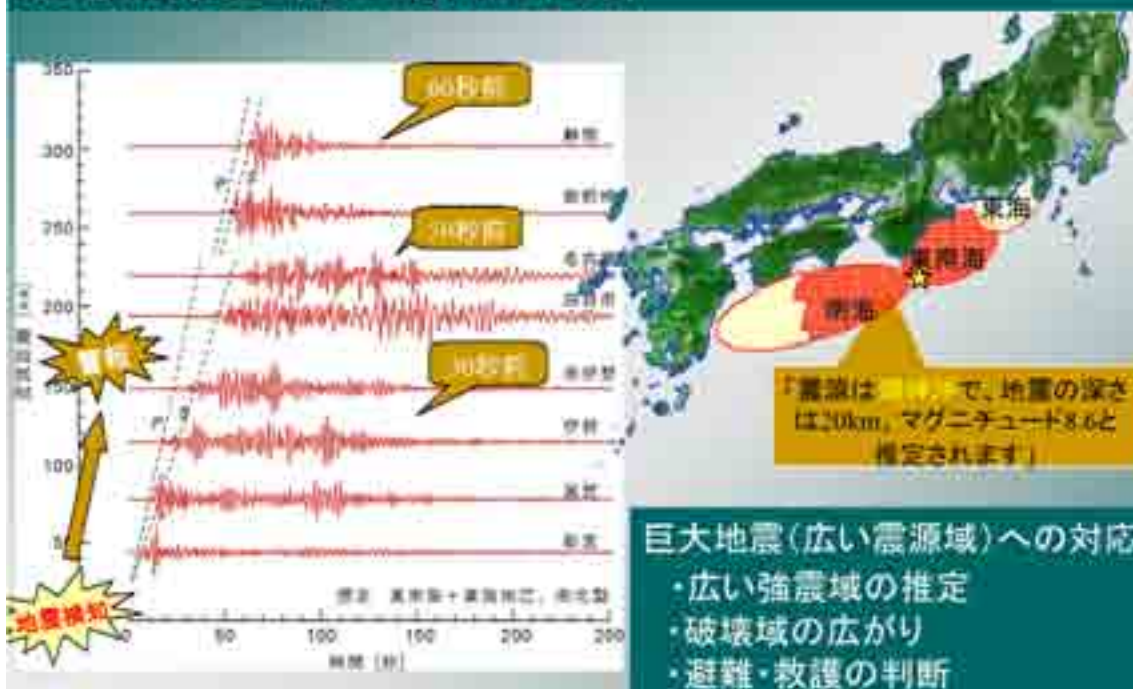
東海地震の
前兆すべり発生?



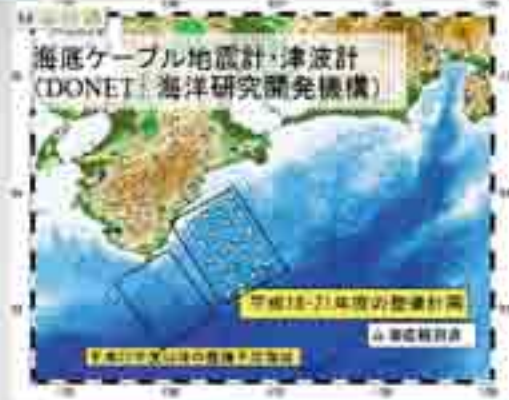
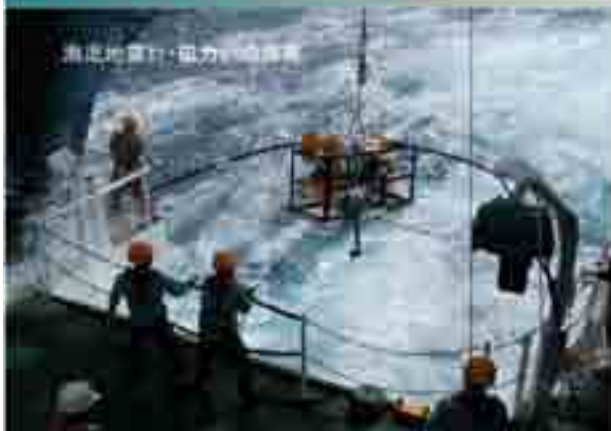
東海地震の警戒宣言とその影響

- ★東海地震の予知は、初めて
 - 3~4回の経験が必要?
 - 警戒宣言に過度に頼った防災対策の限界
- ★警戒宣言による経済損失1200億円/日

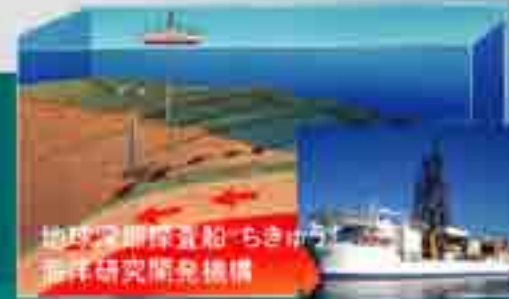
緊急地震速報の活用と限界



海域強震観測、地殻変動観測への期待



- ★ 震源域の直上に観測機器を設置
- ・ 地殻変動観測、前兆滑り
- ・ 津波波源域の直接把握
- ・ 緊急地震速報の高度化



超並列スーパーコンピュータへの期待

- ★ 計算機は、10年で1000倍高速化
- ★ 多数のCPU(数万個)を用いた並列計算



次世代スパコン(2012-10 PFLOPS)



理化学研究所

新型地球シミュレータ(2009-130TFLOPS)



JAMSTEC

<http://www.top500.org>

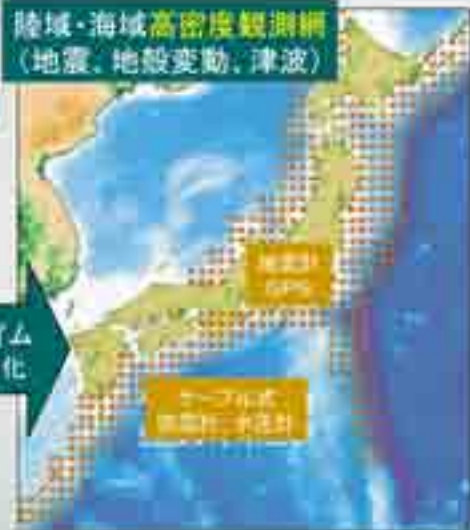
地球変動の未来予測—地震予報

仮想地球を計算機内につくる
観測データ同化による実地球とのシンクロ

仮想地球: Earthquake Simulator (ES)



リアルタイム
データ同化



地表データから地殻モニタリング(インバージョン)
・地殻変動、地殻応力分布のリアルタイム診断
・強震動、大津波のリアルタイム予測

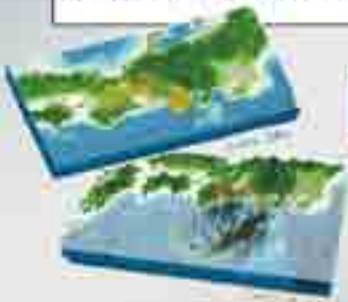
南海・東南海・東海地震による強震動と津波の予測 -まとめ-

(1) 2009年駿河湾の地震(M7.5)

- 30~40年周期で繰り返し発生するプレート内地震
- 東海地震(M8, 100-150年周期)はこれと関係なく発生
- 短周期(T=1s)地震動を強く放射、短周期地震動被害

(2) 南海トラフ地震の規則性・多様性

- 1707年宝永地震—最大級?
- 日向灘セグメントの破壊可能性(津波調査、地震発生論)
- 新しい宝永地震モデルと地震動、津波への影響



(3) 南海トラフ巨大地震の発生に備えて

- 地震予知(警戒宣言)への期待と課題
- 緊急地震速報の課題
- 海域観測の重要性と地震予知(中期評価)への期待

地震保険研究 22

2009年災害研究フォーラム講演録
「地震活動と地震動の予測」
—研究の最前線と今後の展開—

平成22年（2010年）3月発行

発行 損害保険料率算出機構（損保料率機構）

〒101-0054 東京都千代田区神田錦町1-9

TEL 03-3233-4141（代表）

URL <http://www.nliro.or.jp/>

印刷 日本印刷株式会社

〒101-0021 東京都千代田区外神田6-3-3