

報告2 東北地方太平洋沖地震の実像

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
2011.07.15

1

目次

- 東日本大震災
- 南海トラフ巨大地震への備え

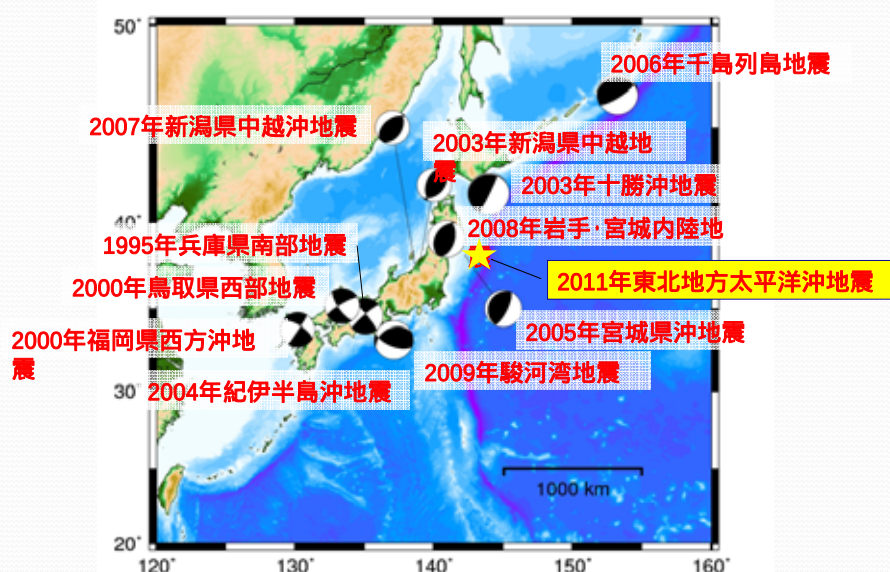
2

世界の震源分布と地震



3

最近の日本の大地震



4

内陸型の代表(兵庫県南部地震)

東灘区



東灘区



メモリアルパーク



倒壊したガントリークレーン



写真:神戸市教育委員会教育企画課資料

5

地震津波被害(東北地方太平洋沖地震)

南三陸町



南三陸町

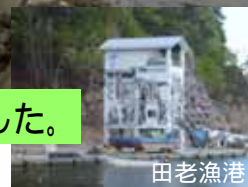


地震津波は甚大な被害をもたらした。

石巻漁港



田老漁港



女川町



女川町

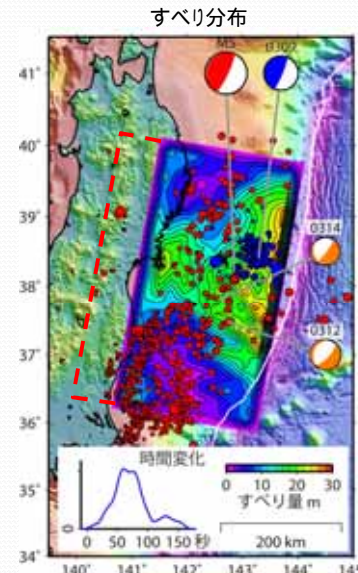


6

東北地方太平洋沖地震

- 2011年3月11日14時46分発生
- マグニチュード9.0
- プレートが沈み込むことによる
プレート境界地震
- 宮城県はるか沖が破壊開始点
- 500 km以上 × 200 km以上の大断層
(三陸沖から茨城沖)
- 断層面に沿って、20 m以上のすべり
- 特に宮城沖ですべりが大きい
- 遅い破壊伝播速度
(1.8 km/s、東京大学地震研究所)

地殻変動は解消されたのか！

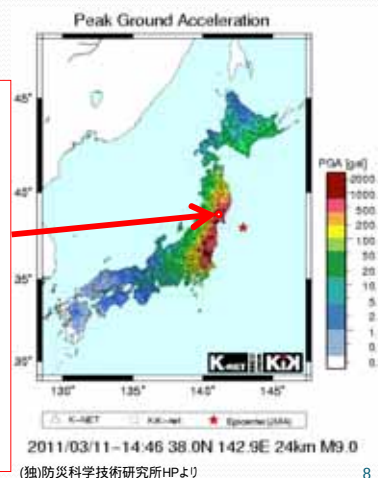
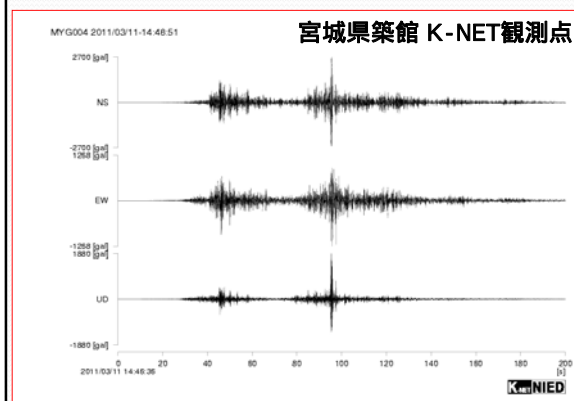


東京大学 井手 哲氏より 東京大学プレスリリース
<http://www.s.u->

7

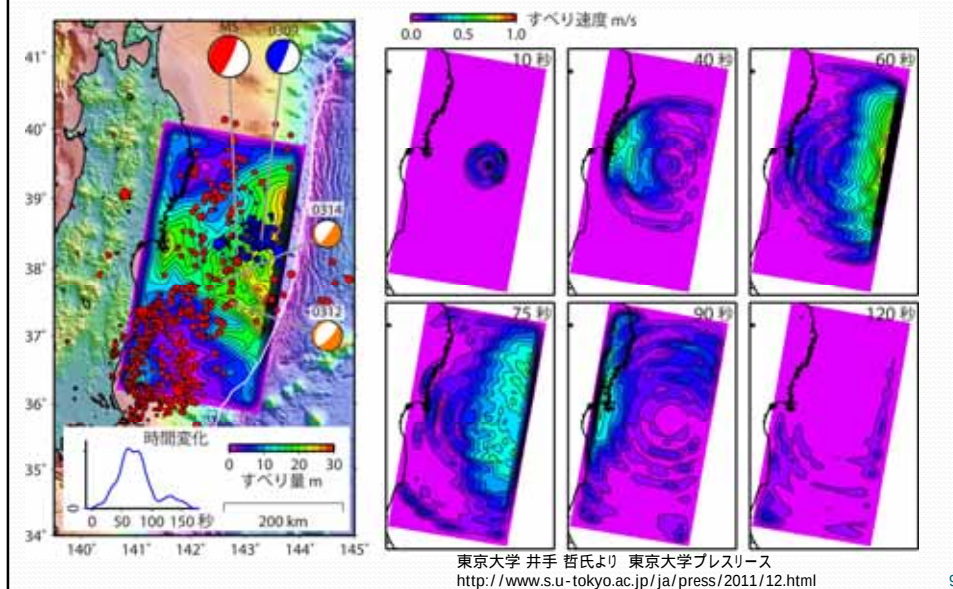
東北地方太平洋沖地震の強震動

- 宮城県築館(震度7)
- 極めて強い揺れ(最大3000ガル弱)
 - 重力加速度の3倍 -



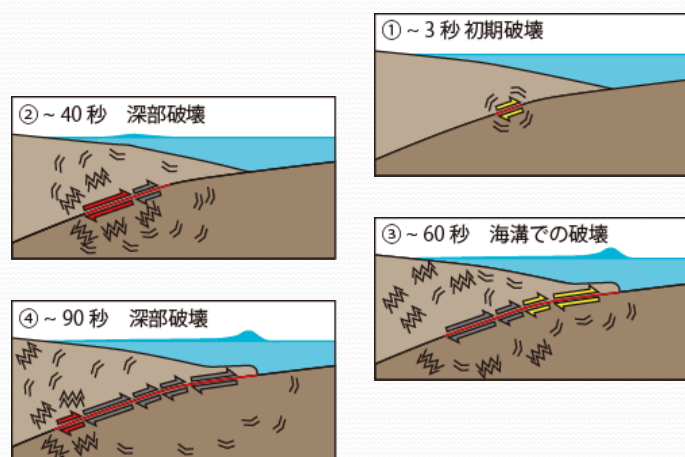
8

分析結果：破壊すべりの時空間分布



9

4つの破壊ステージ



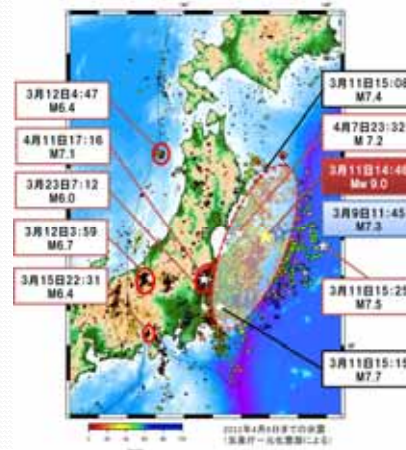
100秒以降も破壊すべりはあるがマイナー

東京大学 井手 哲氏より 東京大学プレスリリース
<http://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2011/12.html>

10

東北地方太平洋沖地震の余震

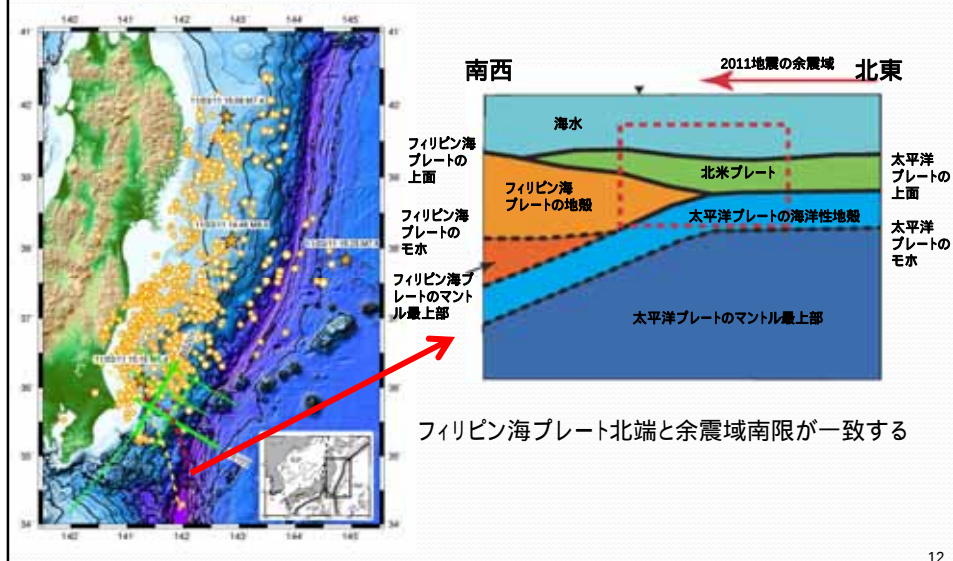
- 三陸沖から茨城沖まで
- 海溝海側にも広がる
- マグニチュード6以上の余震
- 内陸地震も活発化
 - 福島県南部
 - 長野県北部
 - 富士山南方
 - 秋田沖
 - ...



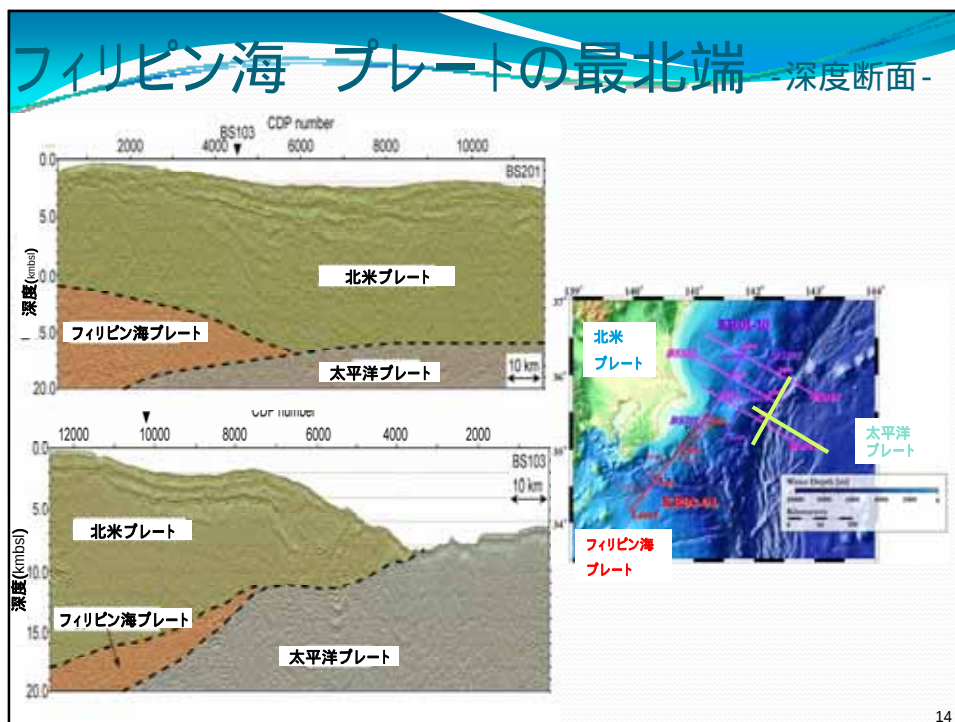
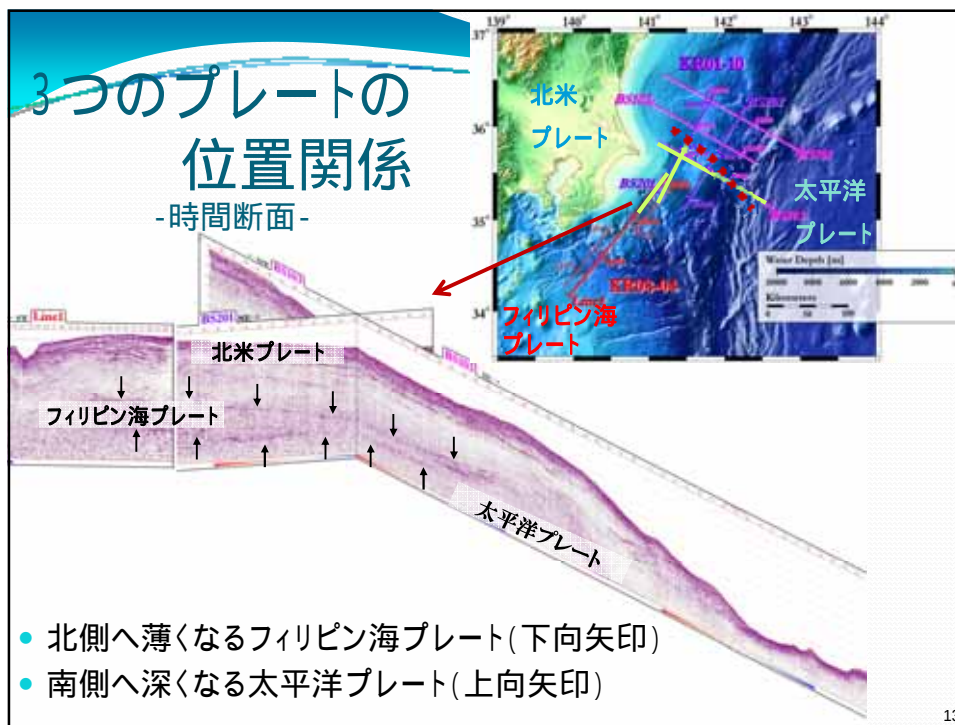
東京大学地震研究所HPより

11

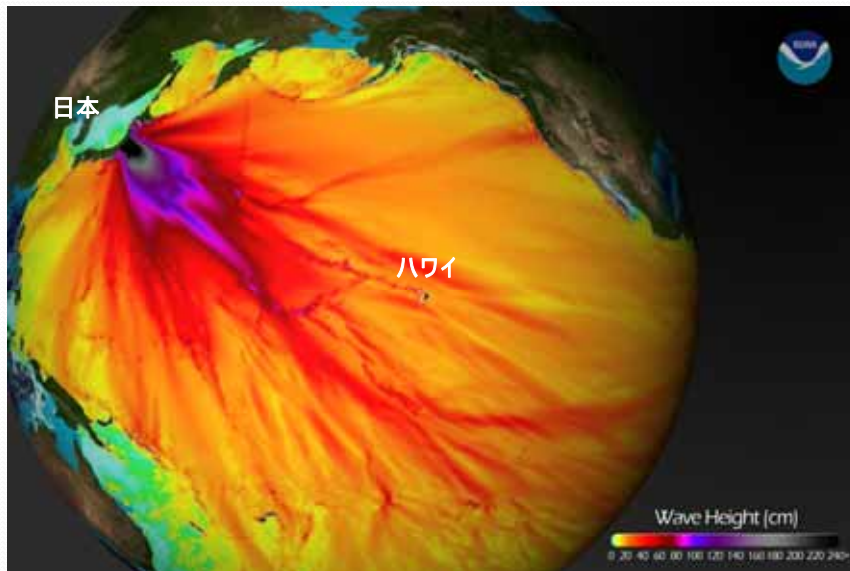
余震域南限周辺の構造調査



12



世界中に広がる津波 (東北地方太平洋沖地震)

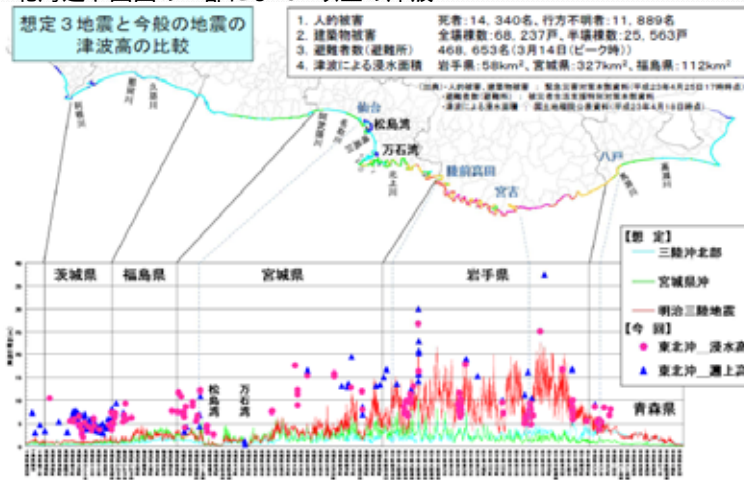


NOAA HPより

15

東北地方太平洋沖地震による津波

- 岩手県から宮城県、福島県に高い津波が襲来
- 一部では37.9 m以上の津波
- 北海道や四国の一部にも2.5m以上の津波



(出典) 想定3地震の津波高、日本海溝・千島海溝周辺型地震対策に関する専門調査会想定結果
2011年東北地方太平洋沖地震津波高、遡上高: 土木学会海洋工学委員会調査結果

16

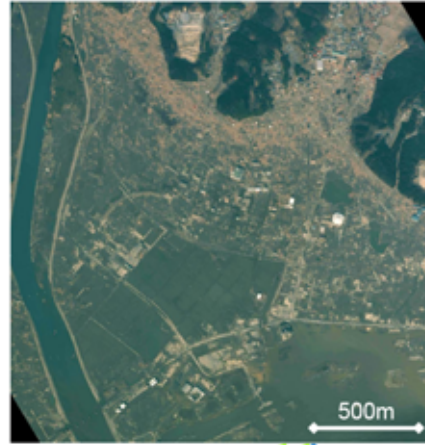
陸前高田周辺の被災状況

-津波の被害および浸水状況(新旧画像)-

被災前(昭和57年10月撮影)



被災後(平成23年3月13日撮影)

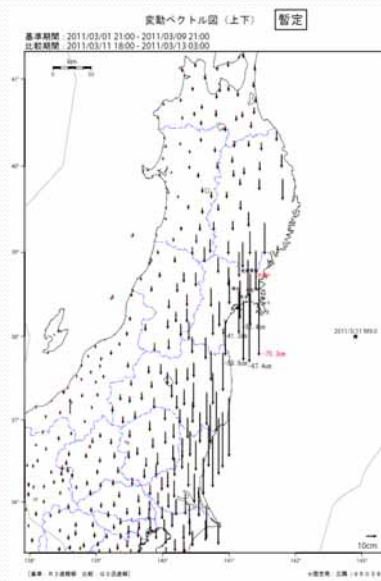
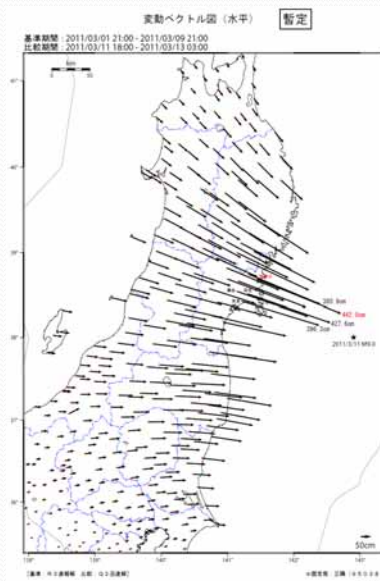


陸前高田周辺の被災状況(新旧画像)

国土地理院

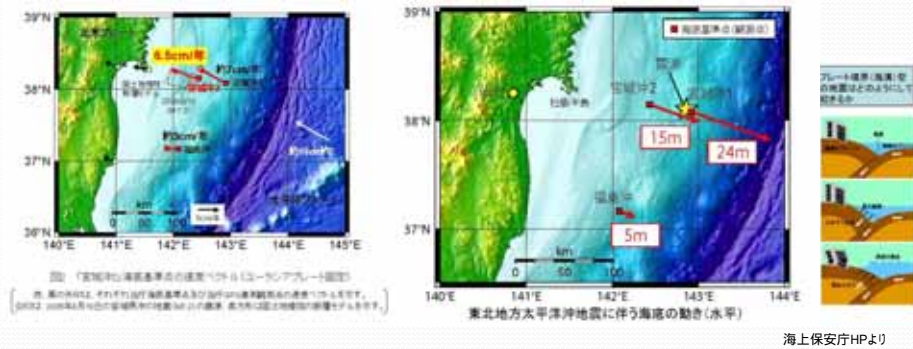
17

東日本で顕著な地殻変動



18

海底にも広がる地殻変動



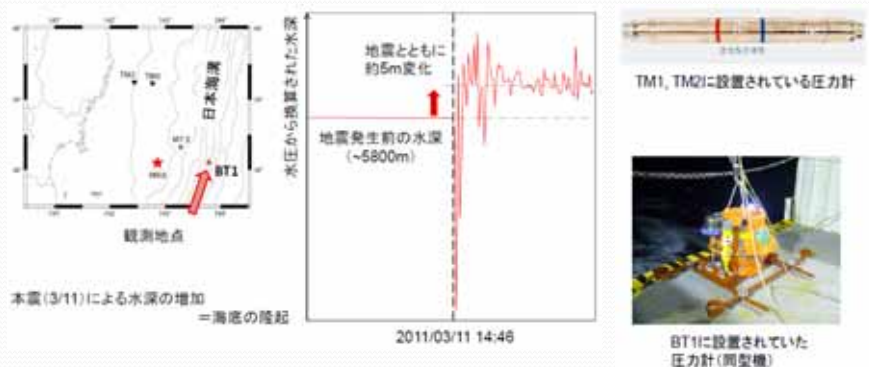
2005年8月16日 (M7.2) 10 cm東へ移動

その後、6.5-7.0 cmで西へ移動

2011年3月11日 (M9.0) 24 m東へ移動

19

海底水圧計が捉えた地殻変動

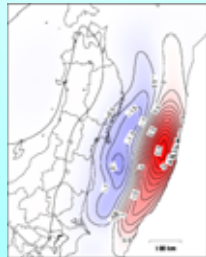


東北大学 日野亮太他資料より

20

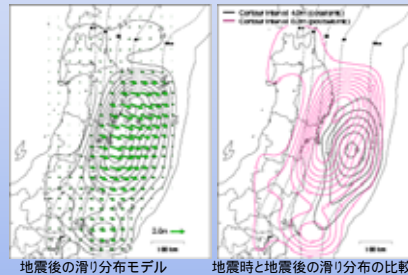
地殻変動から推定される断層運動

隆起・沈降の地殻変動パターン



沖合陸側が沈降 → 海面が上昇
沖合海側が隆起 → 津波が励起

プレート境界上のすべり分布



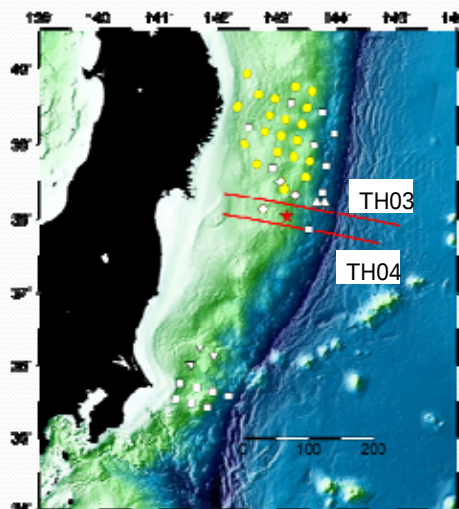
三陸沖～宮城沖～福島沖
茨城沖から千葉沖
の広い範囲で発生

国土地理院HPより

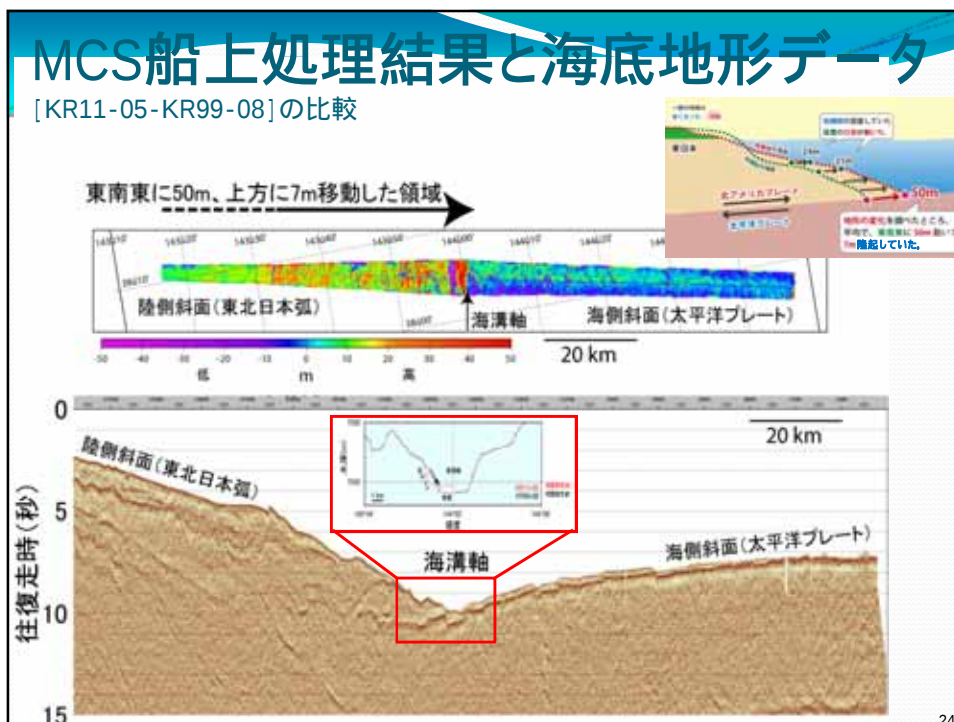
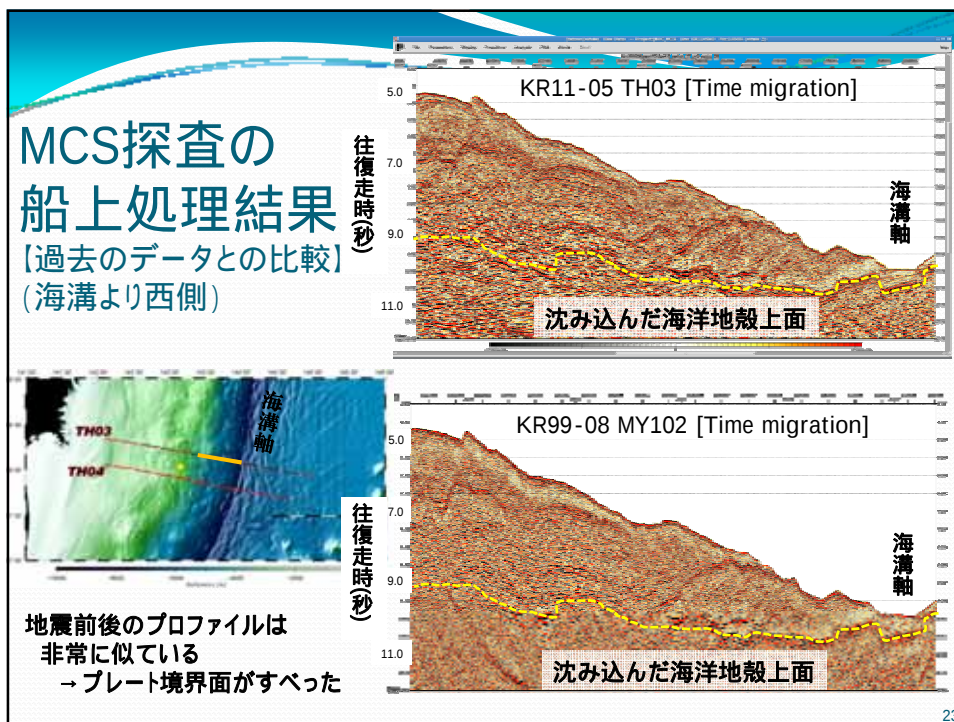
21

東北地方太平洋沖地震発生後 「緊急調査」航海を実施

- 2011年3月14日～3月31日(18日間)、深海調査研究船「かいれい」を用いて、緊急調査航海を実施した。
- JAMSTEC・東大震研・東北大の海底地震計・海底圧力計の設置・回収作業の実施。
- 反射法地震探査の実施。
- 海底地形調査の実施。



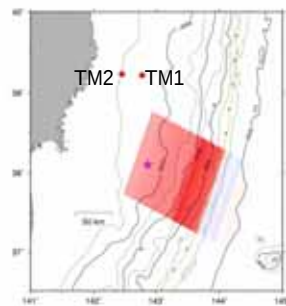
22



地震発生前後の海底 地形変化に基づく 津波シミュレーション

釜石沖ケーブル観測点での波形の比較

津波初期水位分布



観測波形(地震研究所HPより)

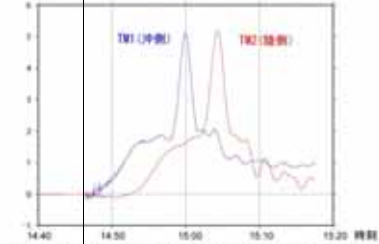
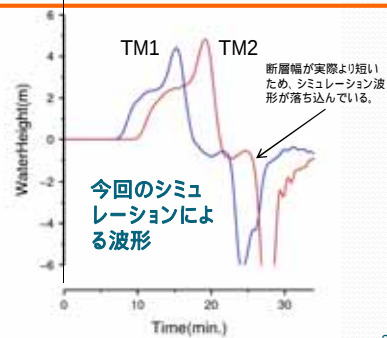
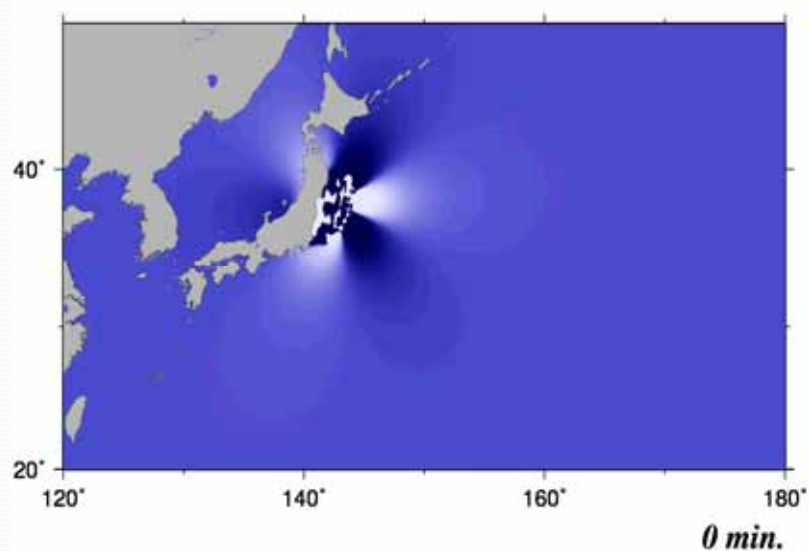


図2 津波水位計の観測記録。14時00分頃、東日本大震災の揺動が水圧計に伝わり、TM1(左側)では、その時から徐々に水位が上昇している。約2m上昇し、約15分頃にさらに約3mの急激な水位上昇が観測された。約20分頃、約3mの急激な水位低下が観測された。TM2(右側)では、TM1から約4分遅れて同様の水位変動を観測した。



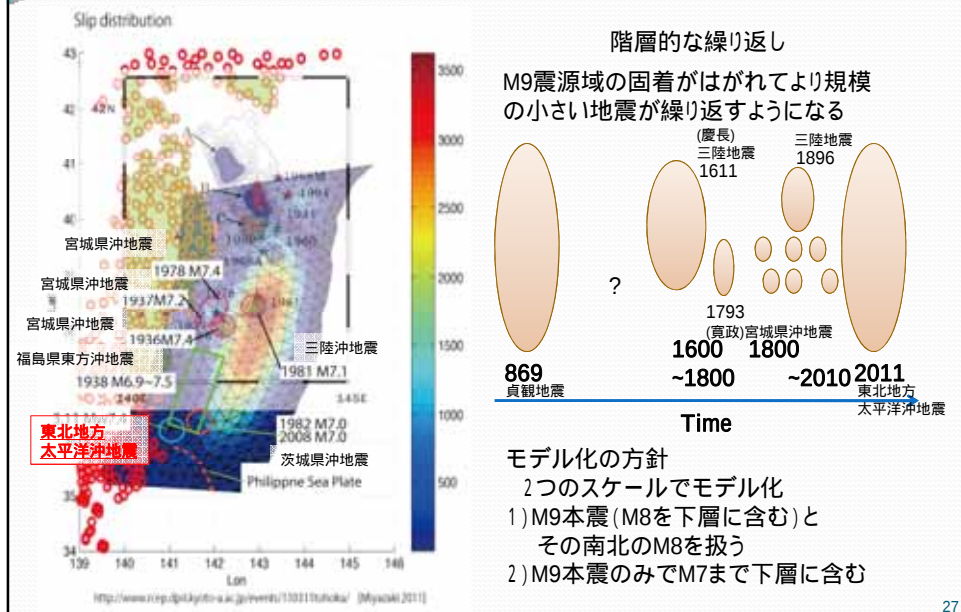
25

東北日本周辺における津波の波動伝播



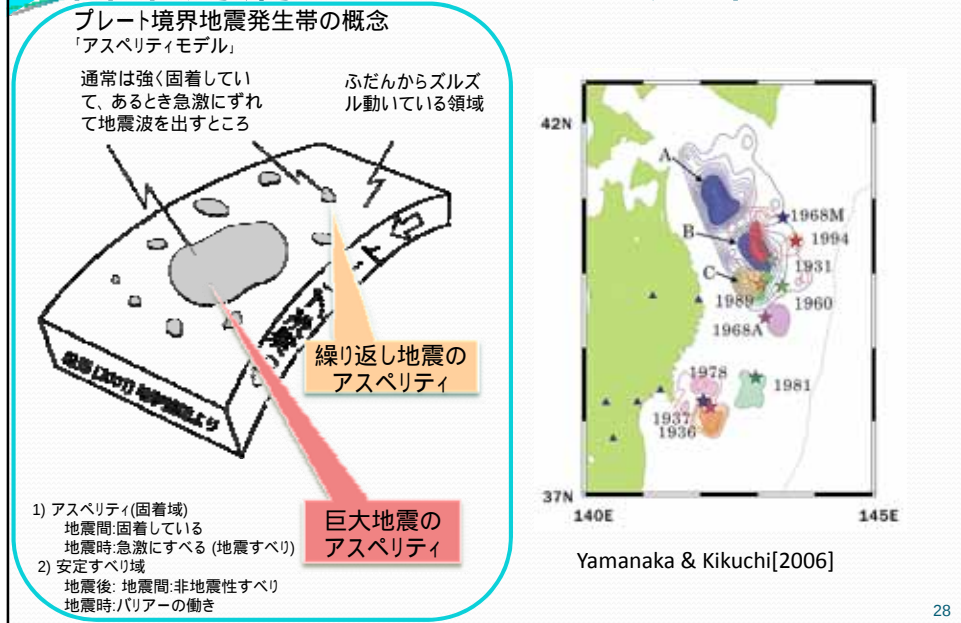
26

東北地方太平洋沖地震のモデル化



27

日本海溝のアスペリティ分布



28



宮城沖での地震を含むパターン

南北含めた全体のすべり $M>9$

中心部のみのすべり ほぼM9

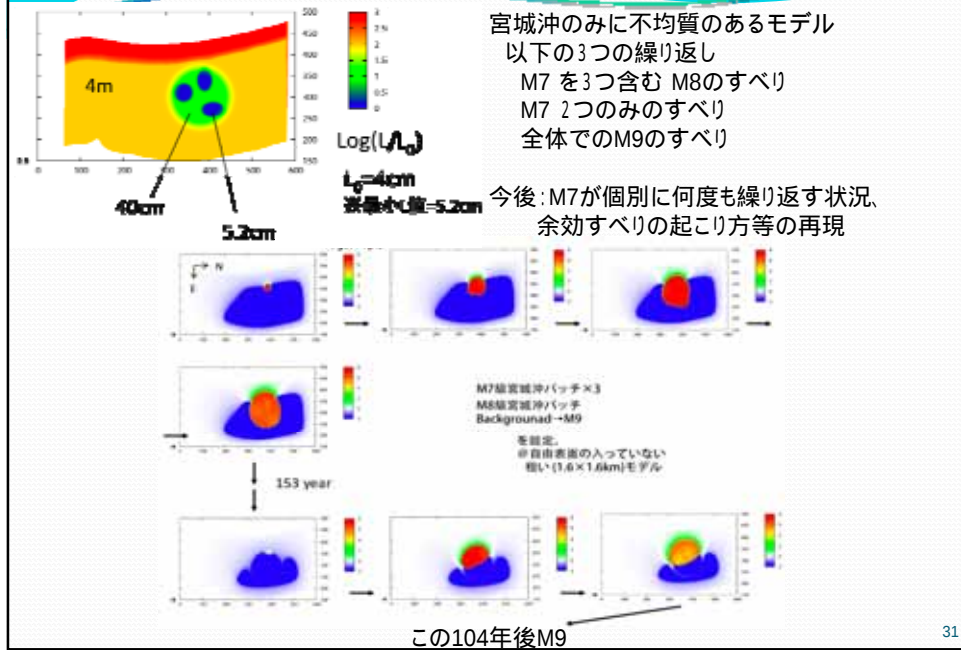
内部や外部の個別すべり ほぼM8

今後：釜石沖の安定すべり域

福島～茨城沖の安定性の高い領域の導入



東北地方太平洋沖地震のモデル化(2)



31

南海トラフ巨大地震への備え

32

南海トラフの海底地形と震源域

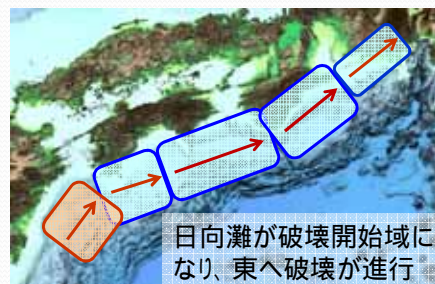
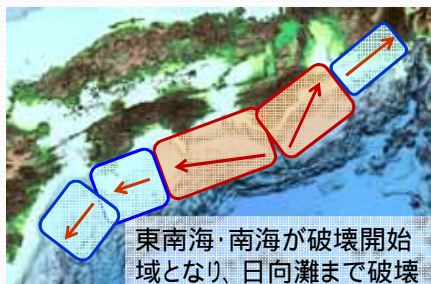
100年から150年周期で繰り返しM8クラスの地震が発生している。
過去には、東海・東南海・南海地震が同時に発生したこともある。



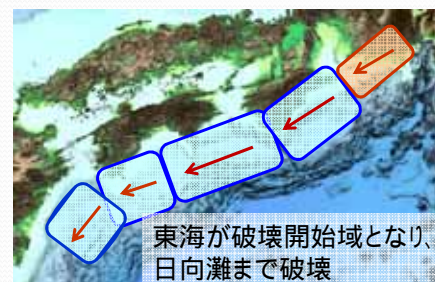
- 1596年慶長豊後地震
- 1596年慶長伏見地震
- 1605年慶長地震
- 1611年慶長三陸地震
- 1677年延宝房総沖地震
- 1703年元禄江戸地震
- 1707年宝永地震
- 49日後富士山噴火
- 1793年三陸沖地震
- 1853年安政地震半年前に伊賀上野地震
- 1854年安政地震
- 1855年安政江戸地震
- 1896年明治三陸沖地震
- 1933年昭和三陸沖地震
- 1944/1946年昭和東南海・南海地震
- 2011年東北地方太平洋沖地震

33

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



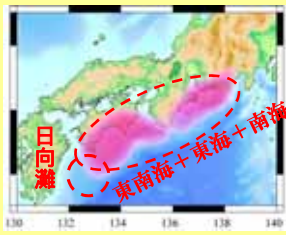
34

南海トラフ巨大地震の発生様式

1707年

宝永地震

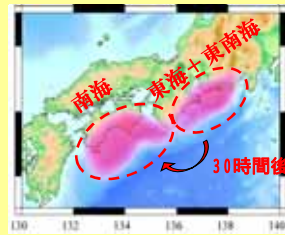
東海・東南海・南海地震
が同時に発生



1854年

安政地震

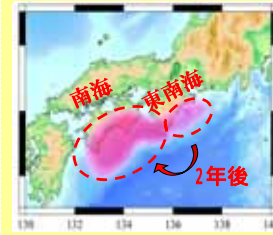
東海・東南海地震が同
時に発生し、南海地震
が直後に発生



1944/1946年

昭和地震

東南海地震が発生し、南
海地震が引き続き発生



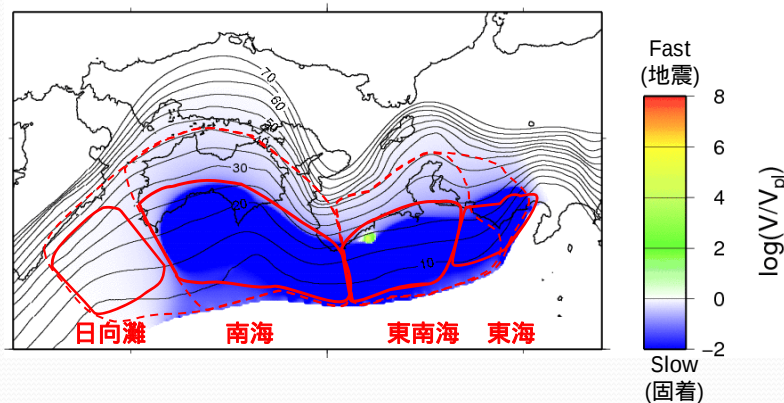
過去2回は東南海地震が先行して発生

35

地震発生サイクルシミュレーション

シミュレーション結果も東南海地震震源域が破壊域である

01009y_297d_22h_14m_24s



36

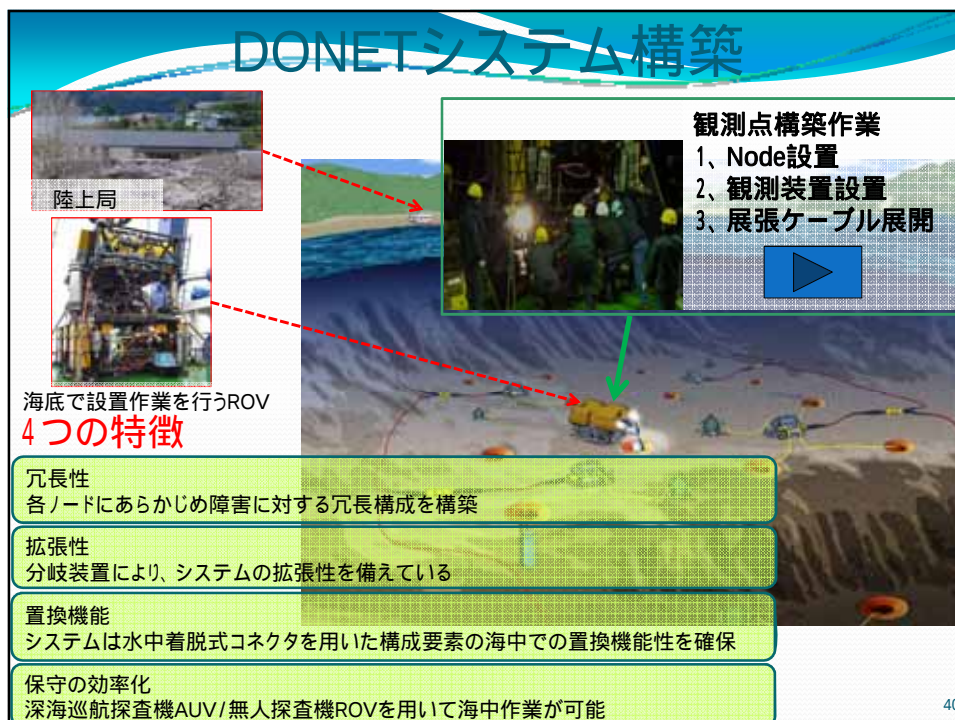
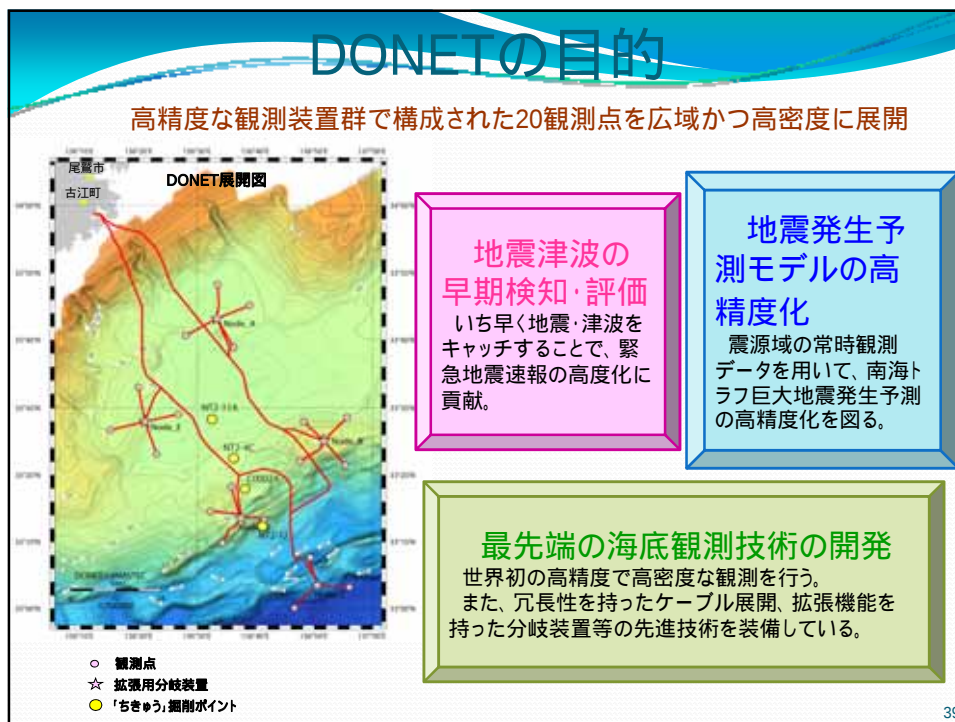
地震・津波観測監視システム

Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis (DONET)

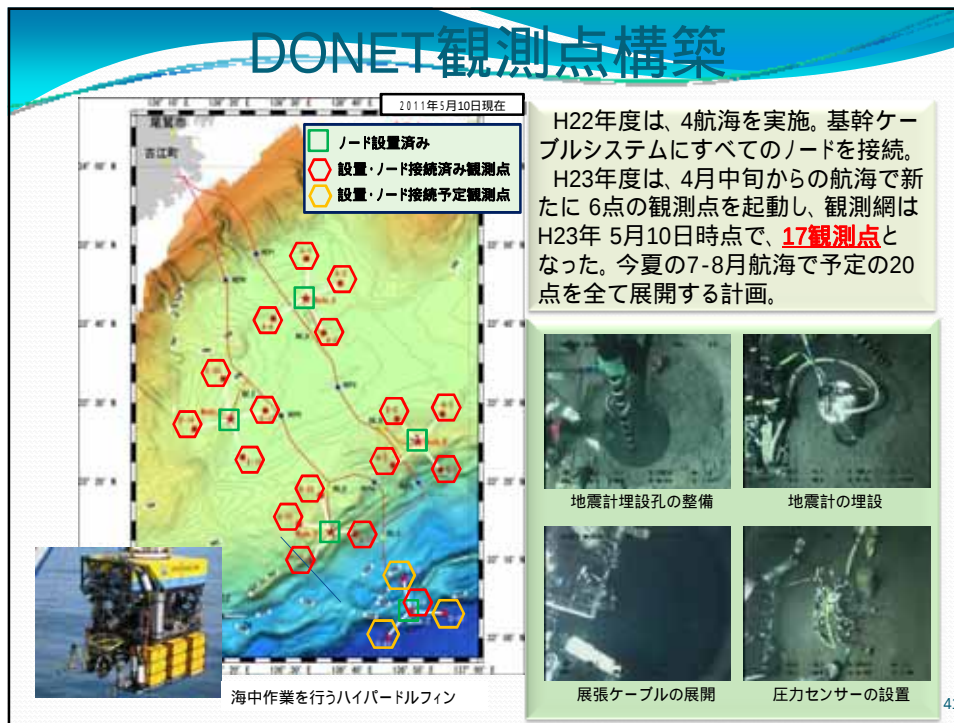
37



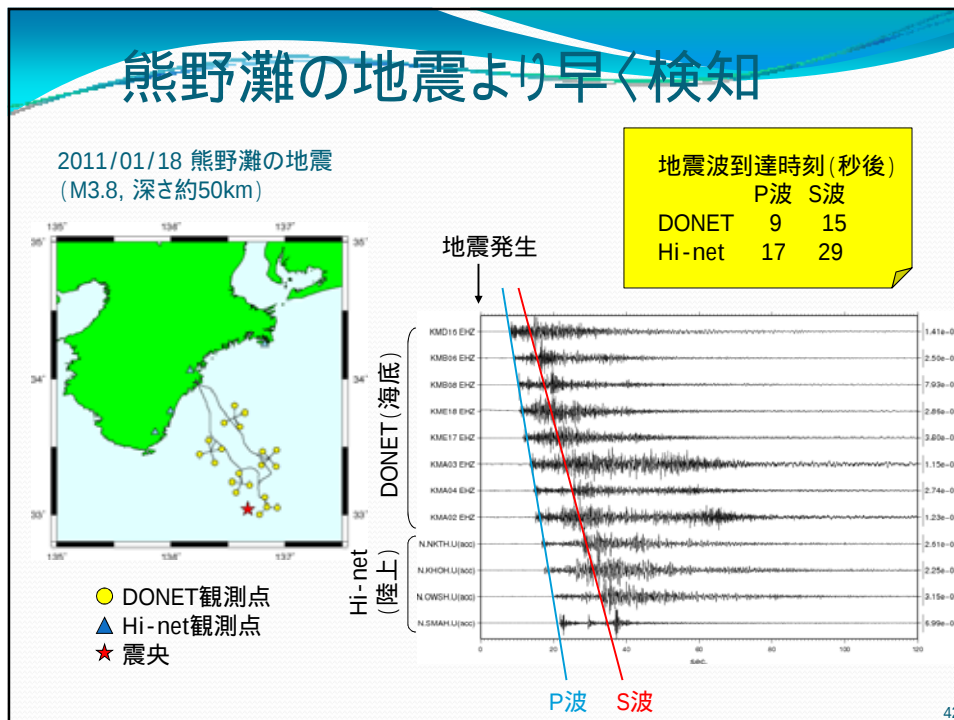
38

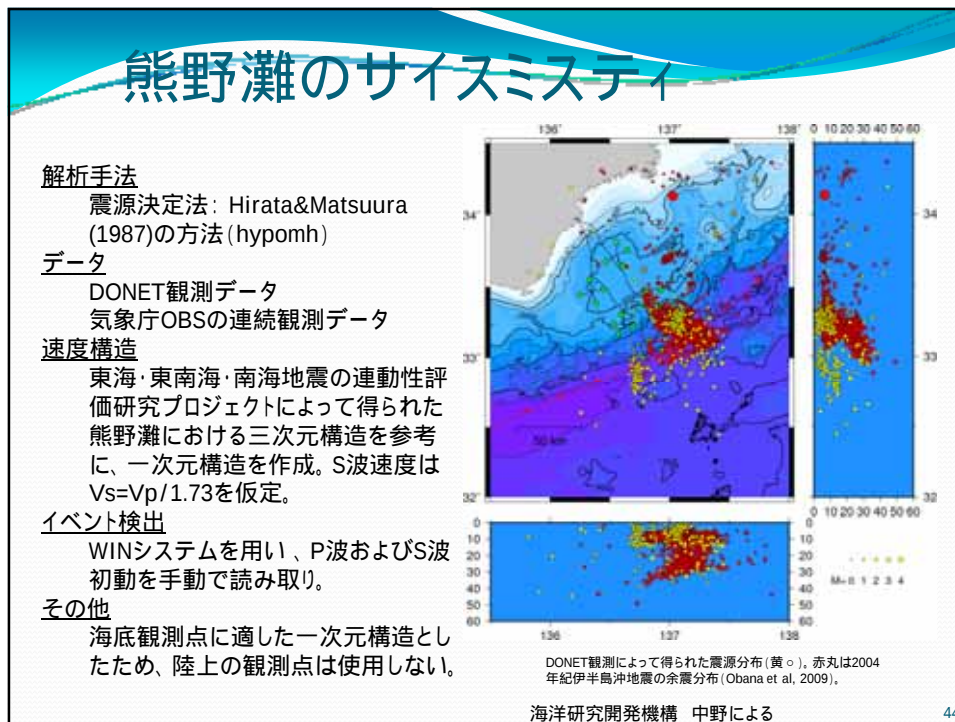
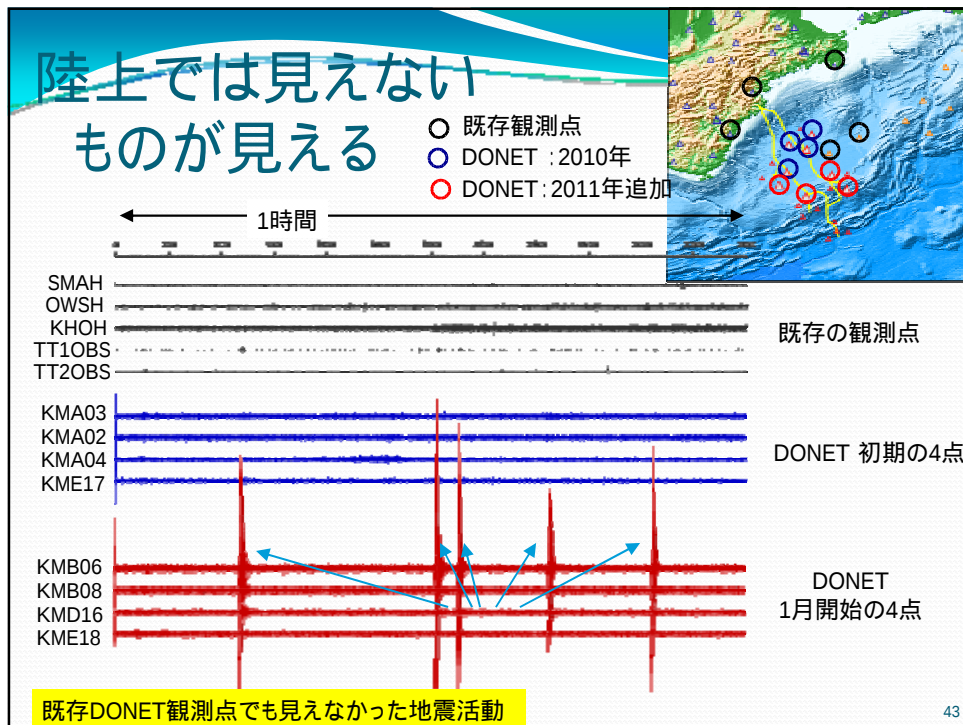


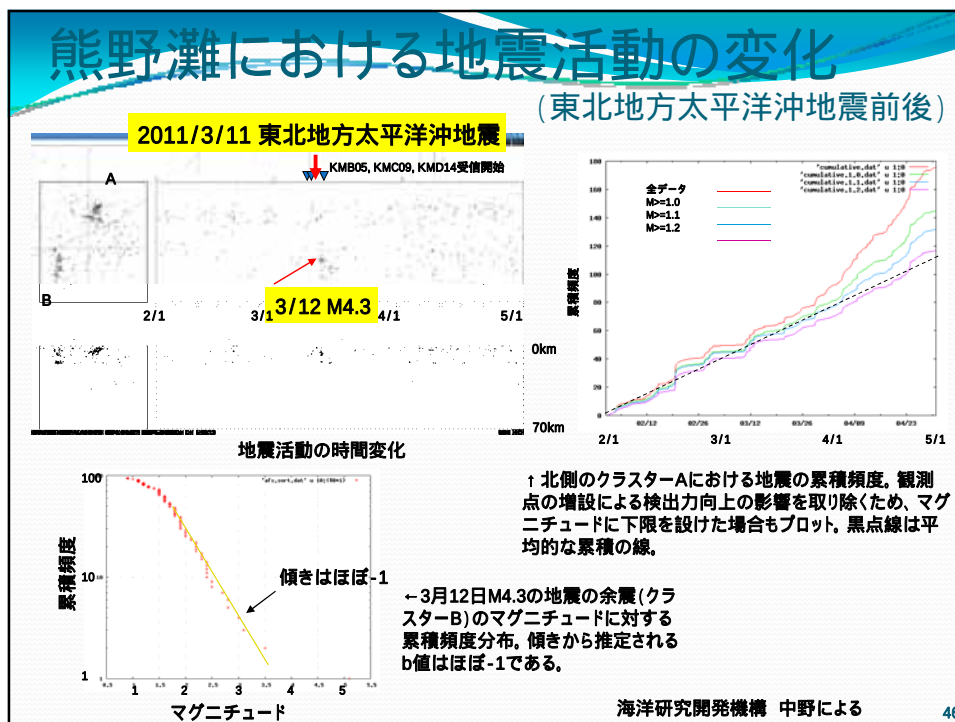
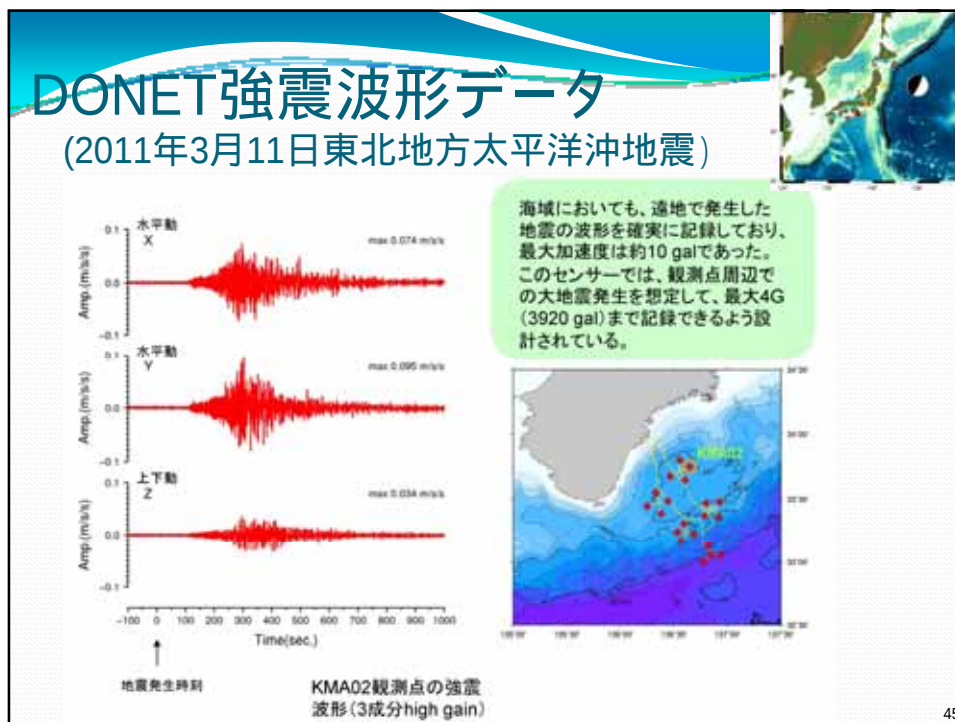
DONET観測点構築



熊野灘の地震より早く検知

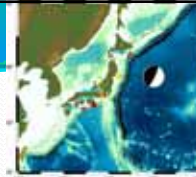






水圧波形データ

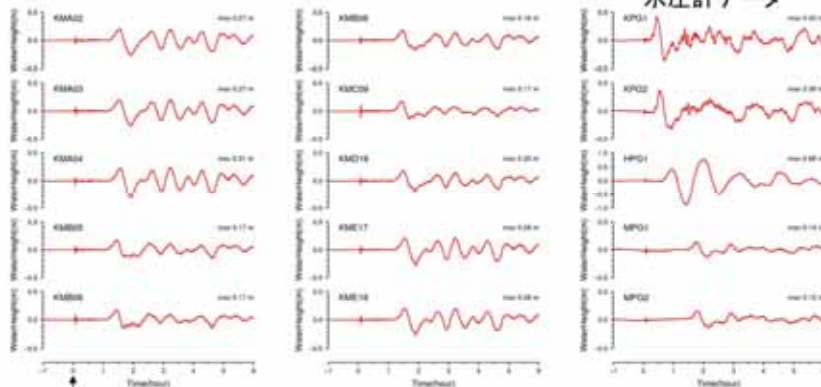
(2011年3月11日東北地方太平洋沖地震)



DONET水圧計データ

釧路・初島・室戸ケーブル

水圧計データ

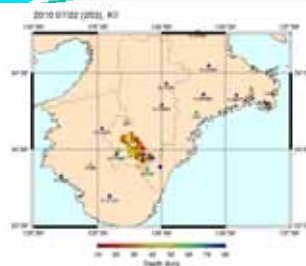


地震発生時刻
フィルター処理後(100-10000秒の帯域)の波形
DONET観測点での津波波高は、約20~30 cmである。

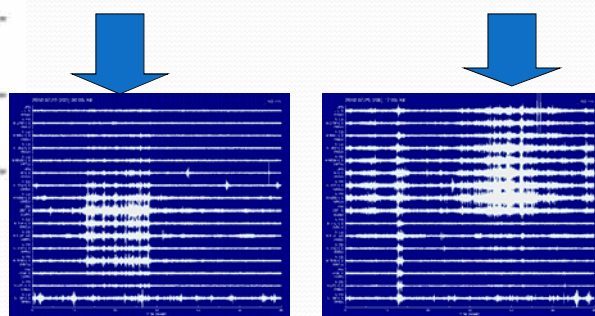
47

深部低周波微動の観測(2010/07/22~26)

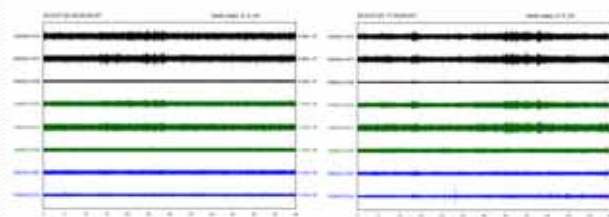
紀伊半島下での低周波微動が活発化



ATMOS(広島大学, Suda et al., 2009)による深部低周波微動の震源分布



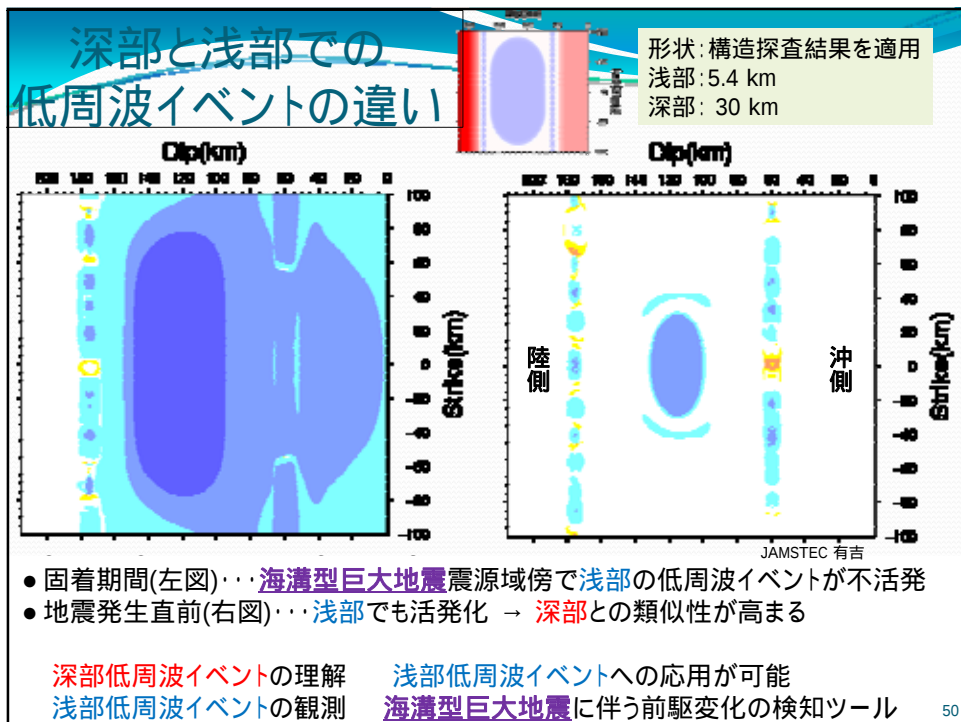
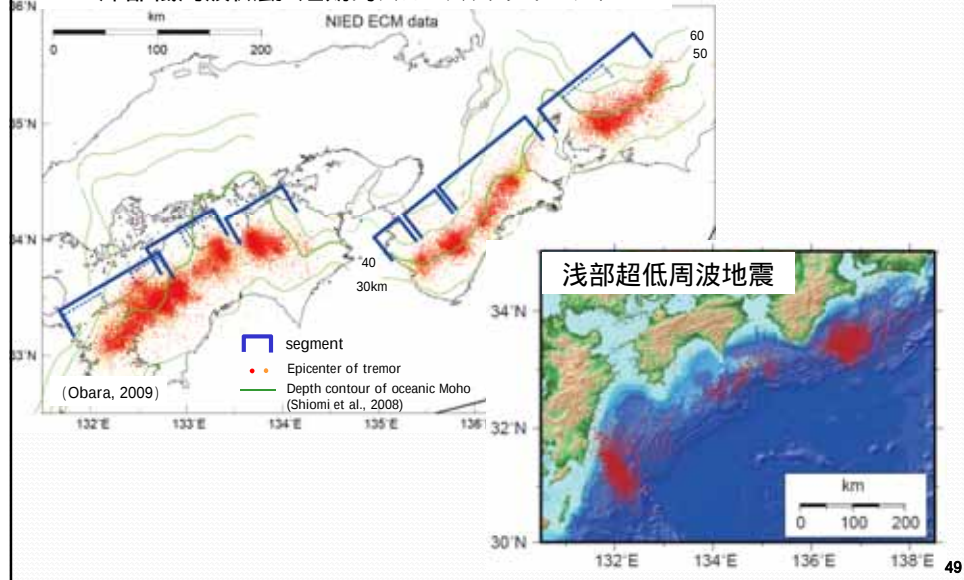
DONET観測点でも微動のシグナルが確認された。

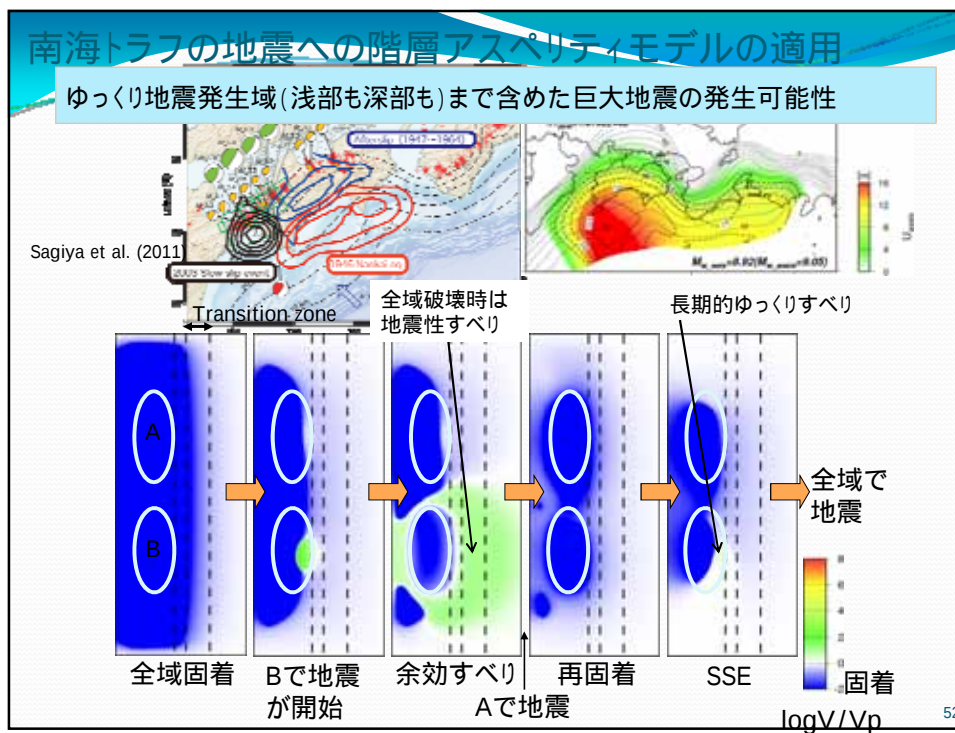
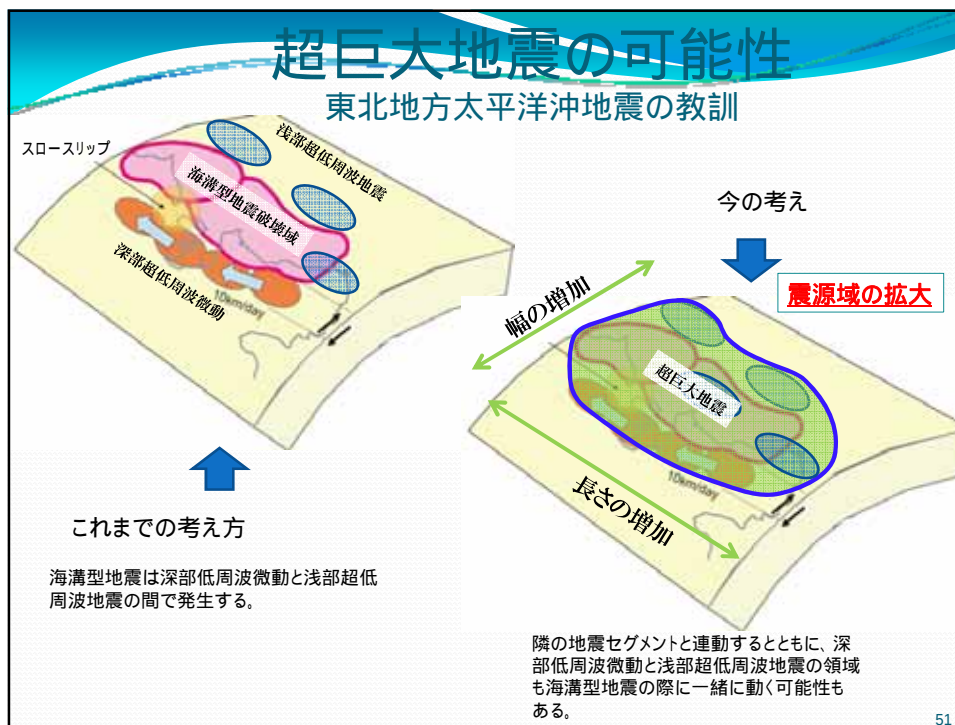


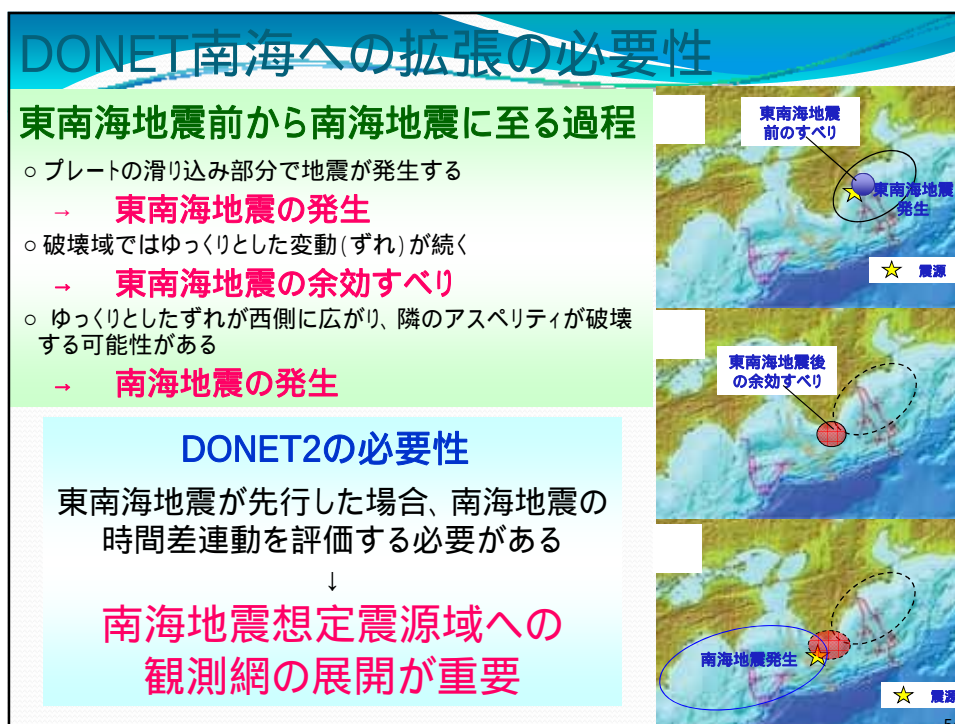
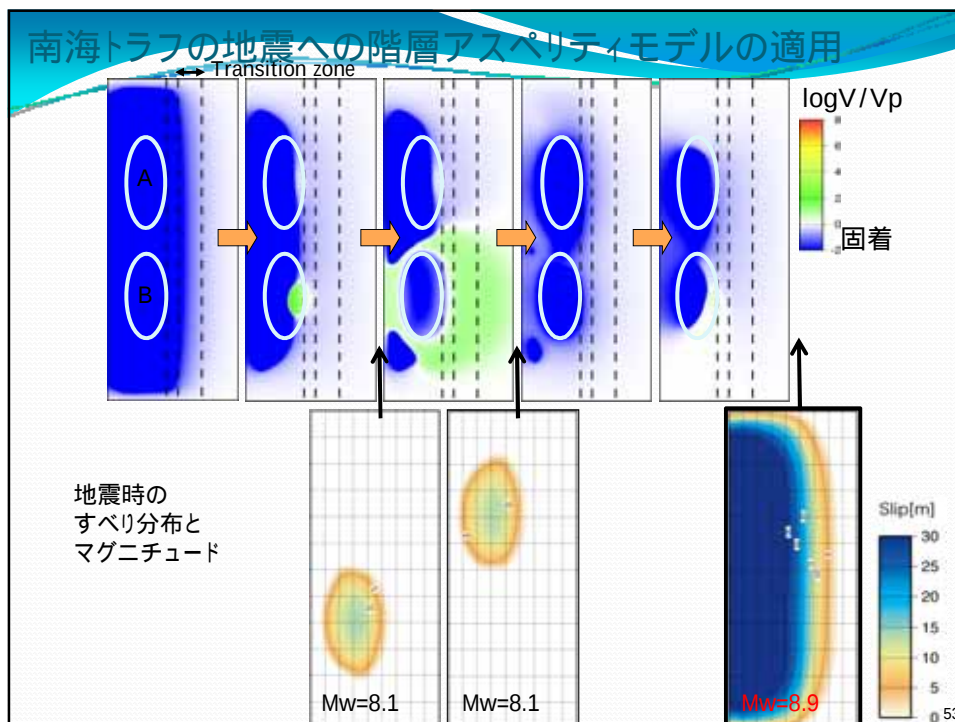
48

低周波地震の発生状況

深部低周波微動・短期的スローリップイベント



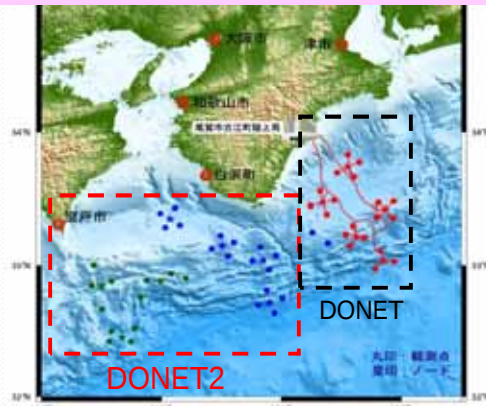




DONET 2

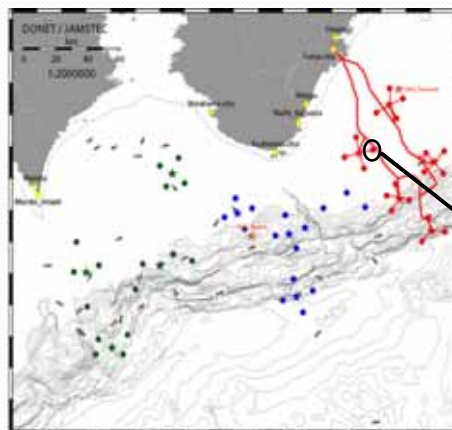
DONETは、**東南海地震震源域**でリアルタイムモニタリングを行う
非常に重要なシステム

しかし、**東南海地震と南海地震の連動性を評価**するためには
南海地震震源域でのリアルタイムモニタリングを行う
新たなシステム**DONET2**が必要

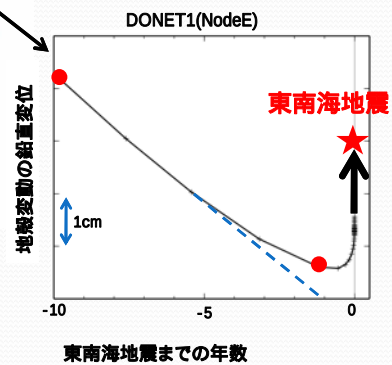


55

東南海地震発生前から東南海発生に至るまでに 期待される地殻変動観測データ

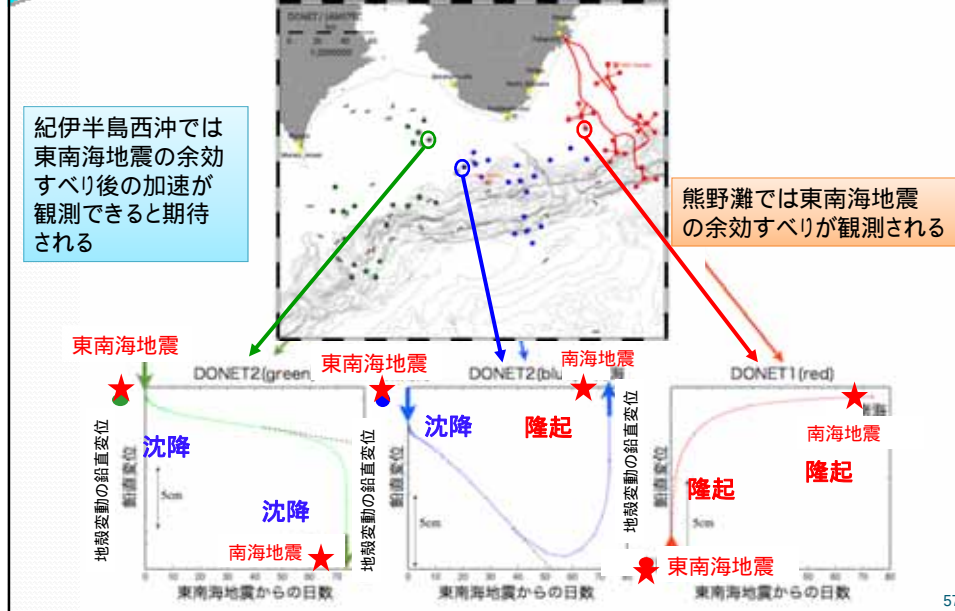


東南海地震前にすべりの
加速が熊野灘で発生



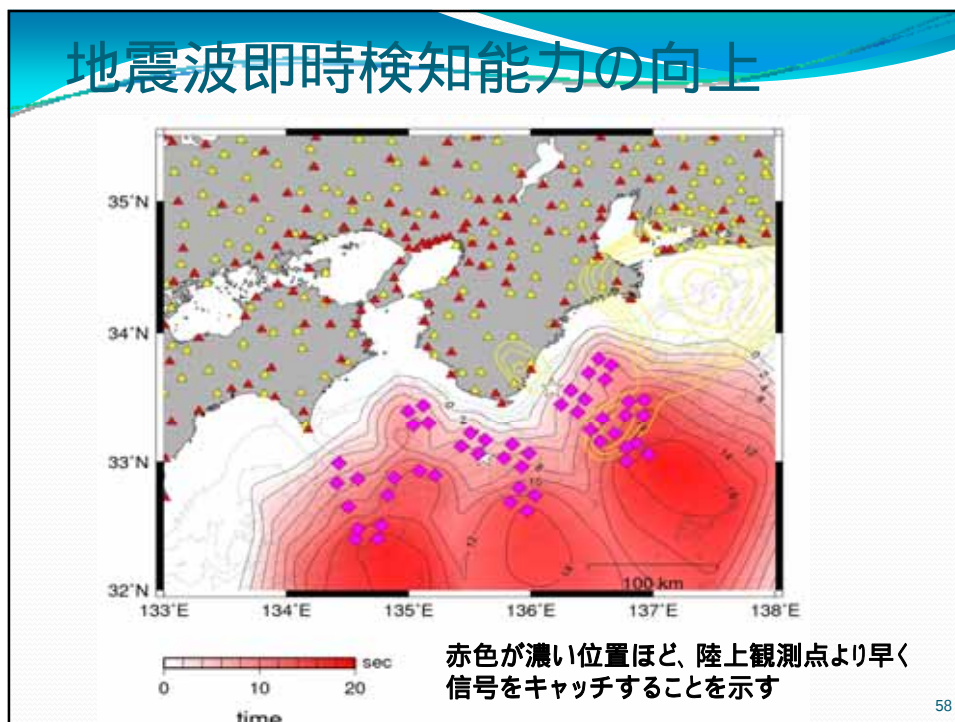
56

東南海地震発生後から南海地震発生に至るまでに期待される地殻変動観測データ



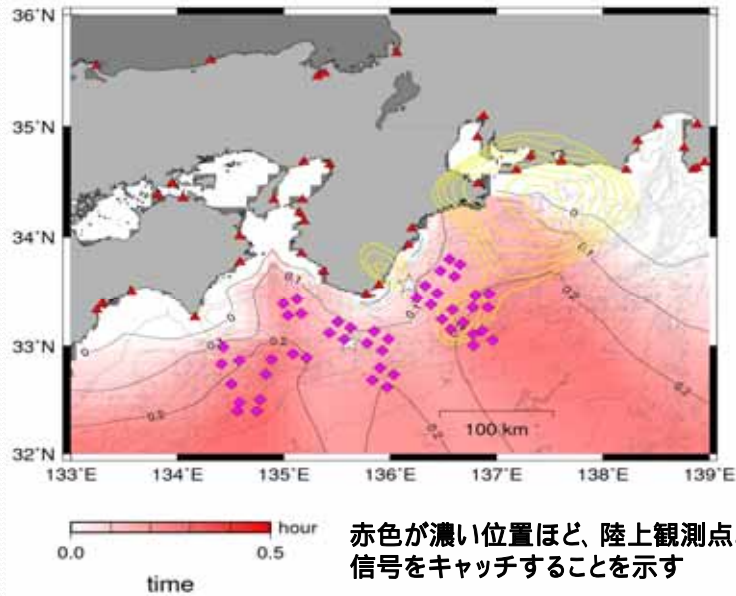
57

地震波即時検知能力の向上



58

津波即時検知能力の向上



赤色が濃い位置ほど、陸上観測点より早く信号をキャッチすることを示す

59

津波増幅率

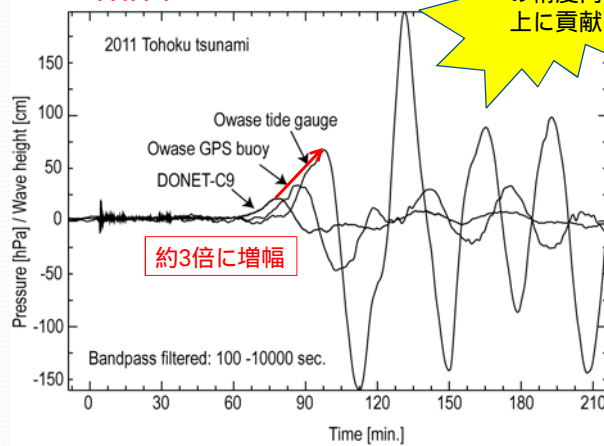
沖合津波波形から沿岸の津波高を瞬時に推定

a) 東北地方太平洋沖地震

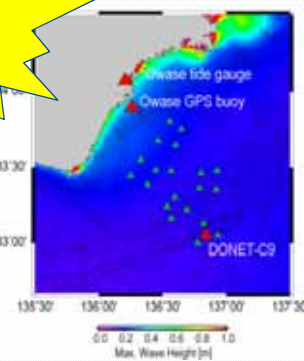
沿岸での津波波高

= 増幅率 × DONETデータ

津波予測
の精度向上に貢献



2011年東北地方太平洋沖地震の、DONET観測点、GPS波浪計、尾鷲検潮所の津波記録



DONETで検知された沖合約20cmの津波(第一波)が、20分後に沿岸検潮所に約70cmの津波となって到達。沖合と沿岸の間の津波増幅率がわかれば、DONETで津波を検知後、すぐに沿岸津波高を瞬時に推定可能。

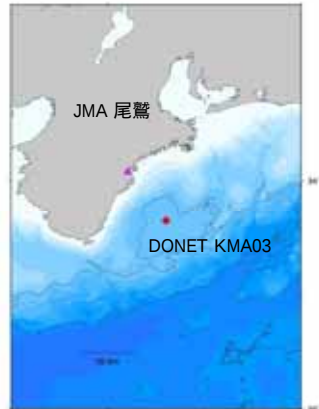
60

津波増幅率

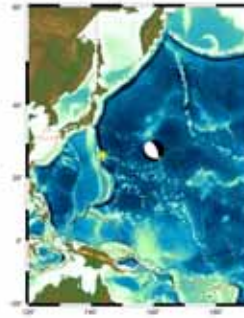
沖合津波波形から沿岸の津波高を瞬時に推定

b) 2010年父島近海で発生した地震

2010年12月21日父島周辺で発生した地震に伴う津波



DONET観測点とJMA観測所の位置



- ・2010年12月21日17時20分(UTC)
- ・震央父島周辺
- ・深さ10 km
- ・Mw 7.4
- ・北西-南東方向に走向を持つ正断層型

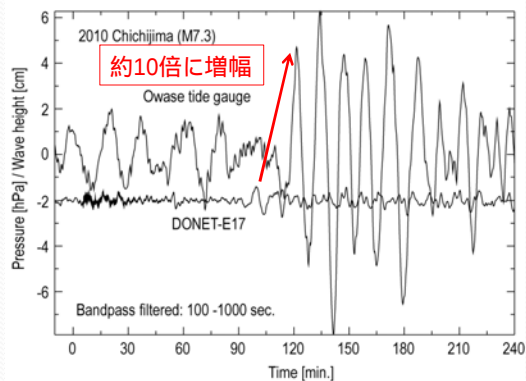
61

津波増幅率

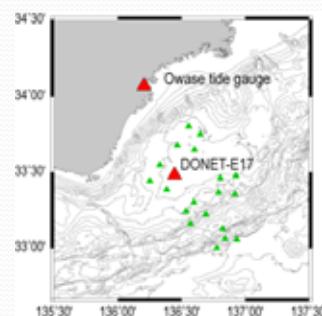
沖合津波波形から沿岸の津波高を瞬時に推定

b) 2010年父島近海で発生した地震

津波増幅率は、津波の入射方向や震源距離によって異なる。



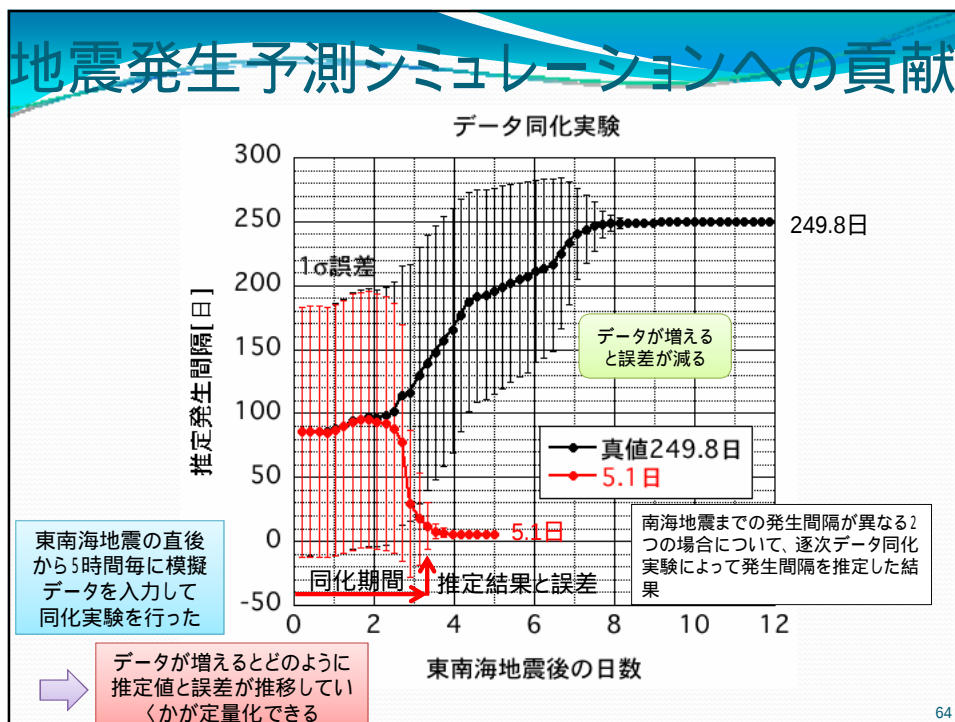
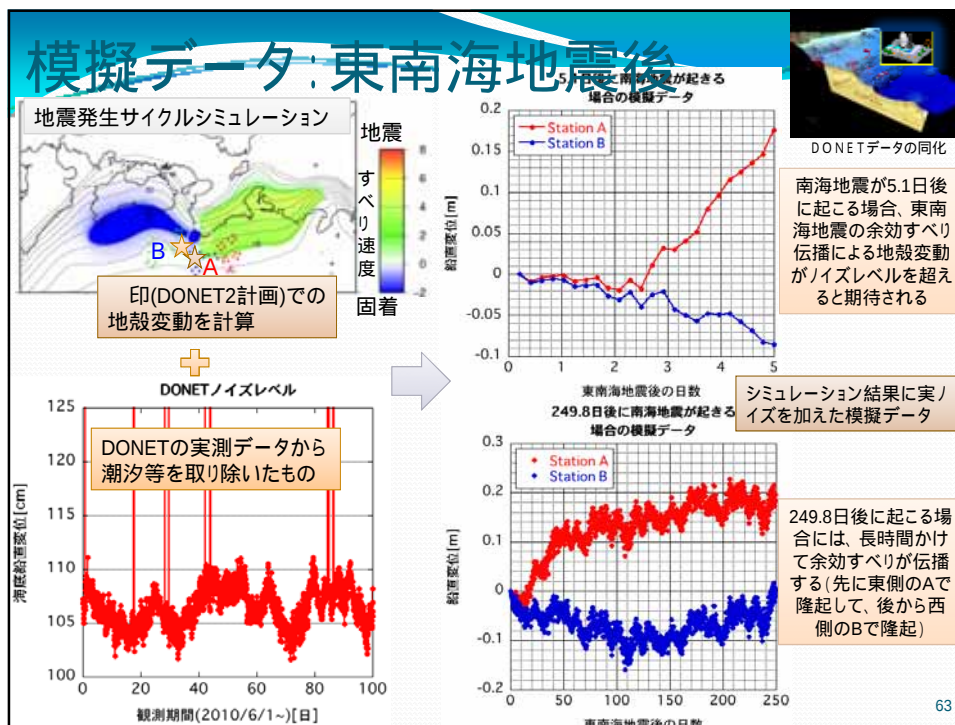
2010年父島近海で発生した地震のDONET観測点、尾鰭検潮所の津波記録



DONETで検知された沖合約0.6mmの津波(第一波)が、22分後に沿岸検潮所に約5cmの津波となって到達。

- 今後、膨大な津波シミュレーションを行い、震源位置と津波増幅率の関係を明らかにする。

62



世界一の「京速」コンピュータの利活用

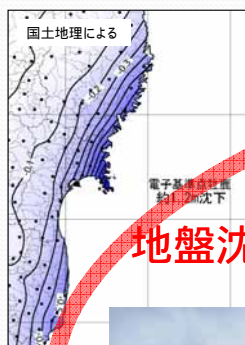
(被害想定の高度化)



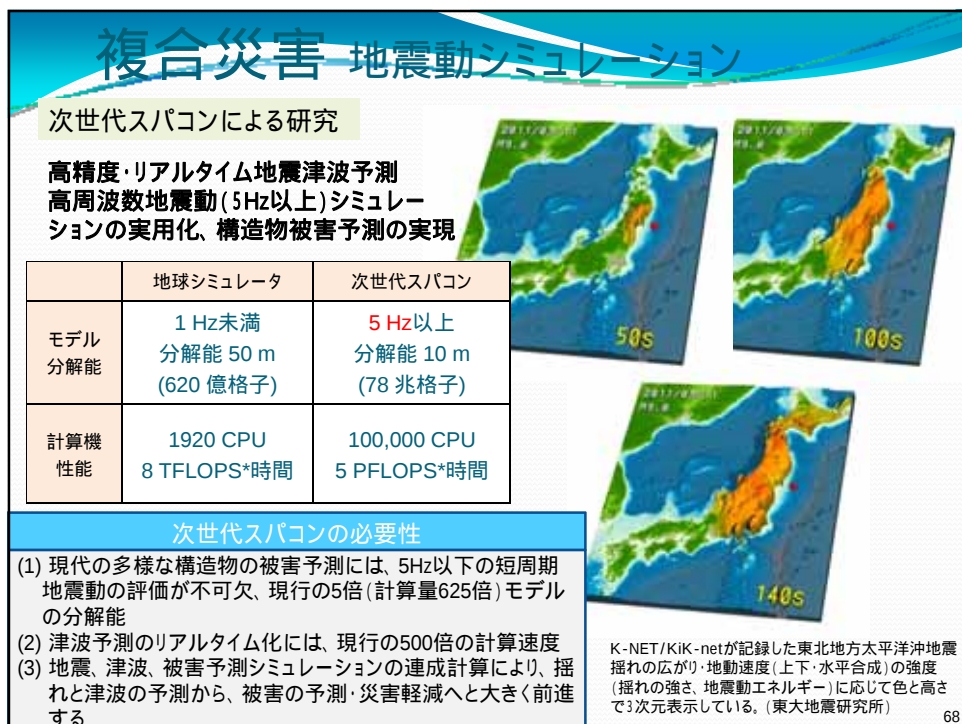
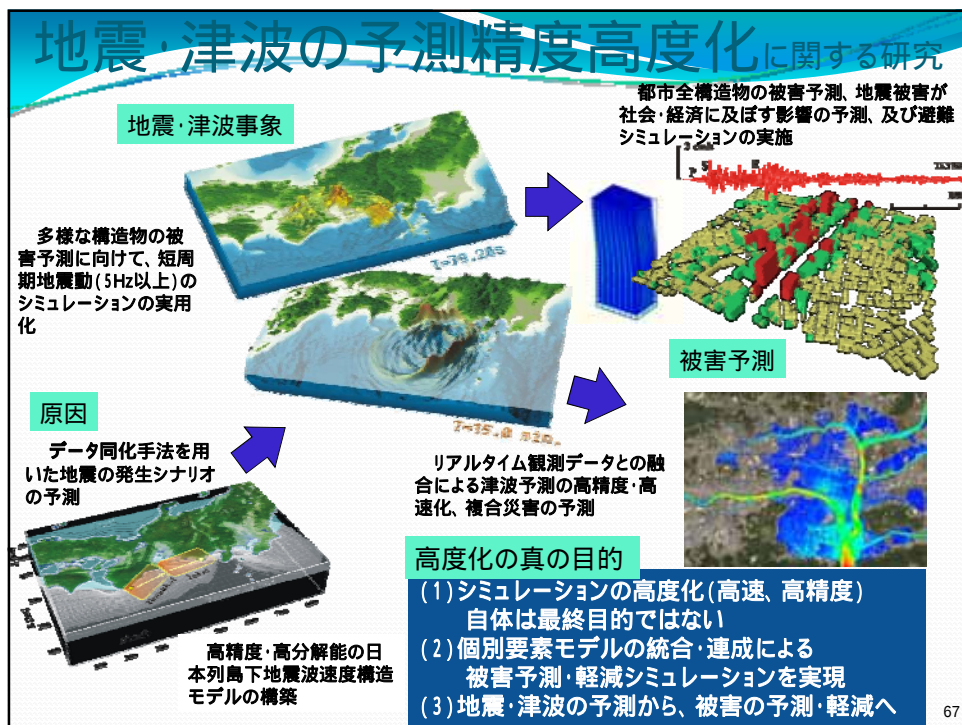
神戸市 独立行政法人理化学研究所 計算科学研究機構 (RIKEN AICS)

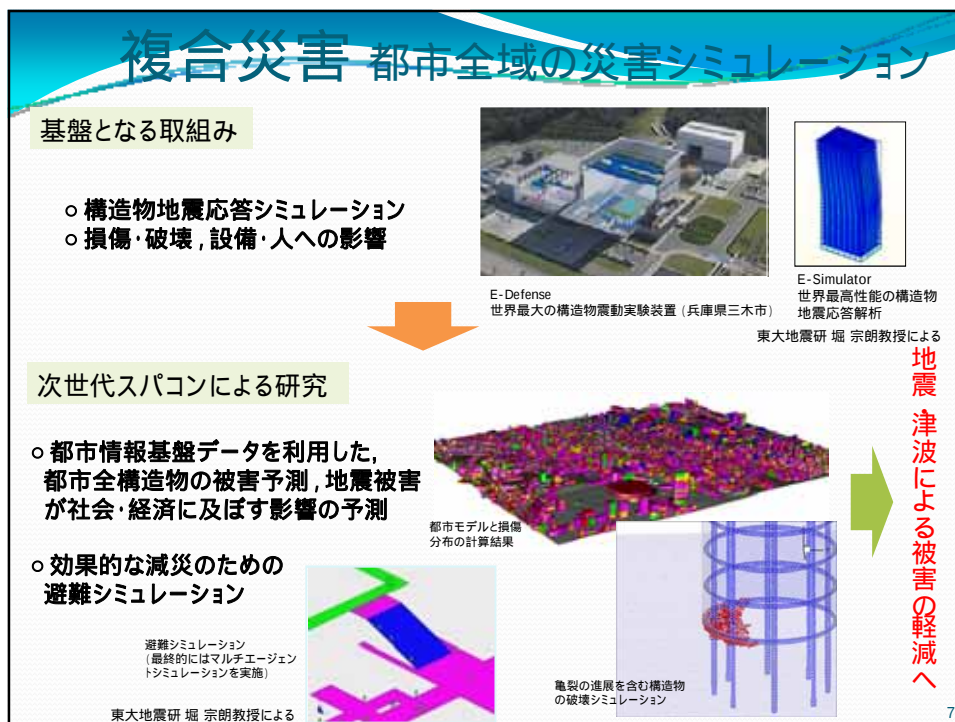
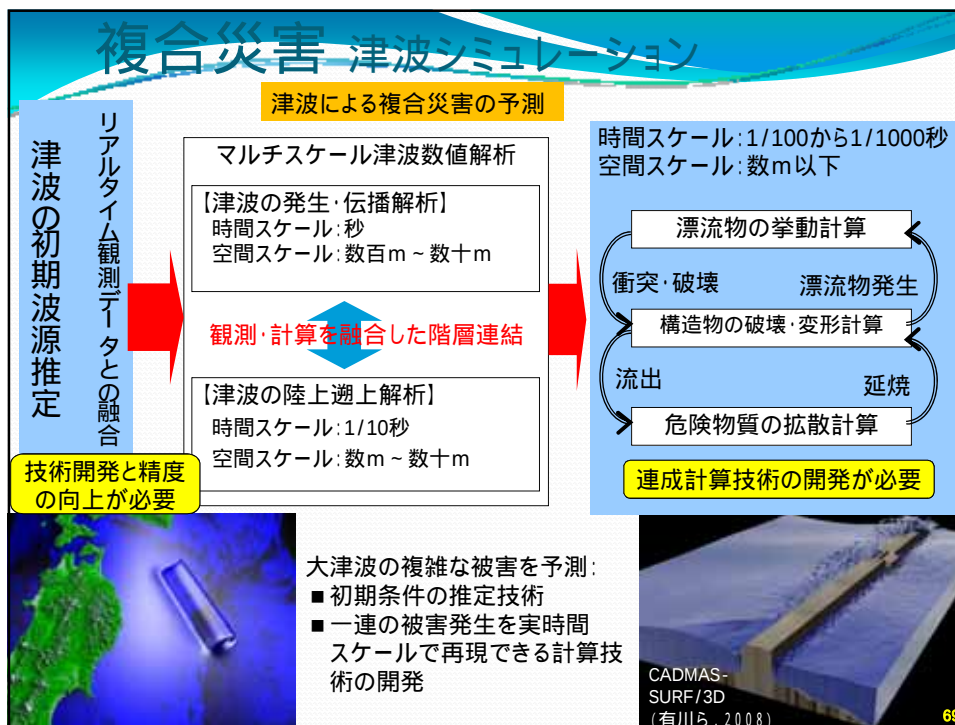
65

複合災害



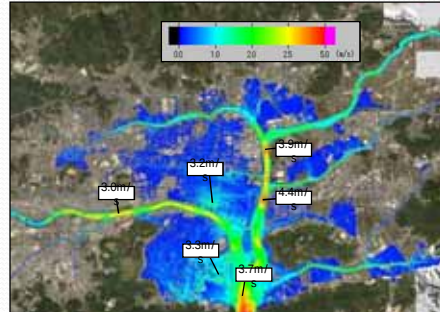
66





高知市における複合災害 津波から長期湛水

- 津波の襲来
高さ3m、流速3m/s以上の津波
津波漂流物による2次的被害
建物の倒壊物が避難経路をふさぐ
市街に流入
- 長期湛水(ちょうきたんすい)
流入した海水は長期にわたり留まる
- 孤立化
四国以外でも甚大な被害が発生
四国内の幹線道路の寸断
津波浮遊物による港の無力化



津波の最大流速分布
(東北大学今村教授による)

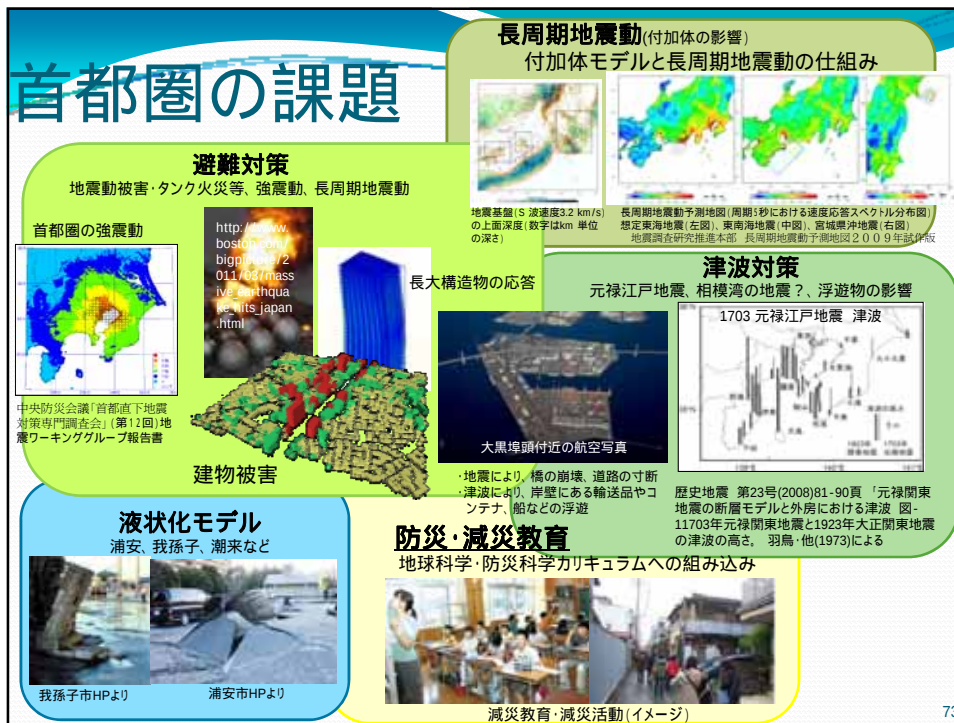


昭和南海地震直後高知市内(上)
と現在の市内(下)
(高知大学岡村教授HPより引用)

71

東日本大震災の教訓を活かす 評価システムの構築

72

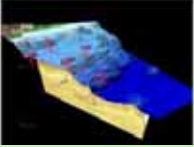


73



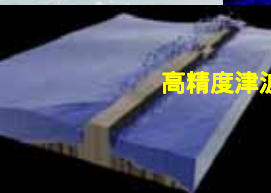
74

今後の展望

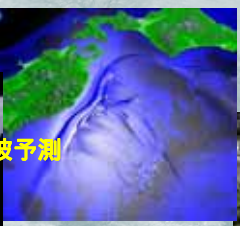
 DONET 震源域のリアルタイムモニタリング	 ちきゅう 震源域掘削 プレート境界物質採取 坑内計測	 スーパーコンピュータ データ同化 予測モデルの高度化	 海域精密調査 震源域(地震の巣)の 解剖実験
---	---	--	---



高精度地震動予測



高精度津波予測



耐震設計・耐波設計の高度化

首都圏及び南海トラフでの早急の防災対策が必要

75



JAMSTEC
<http://www.jamstec.go.jp/>







*Dense Oceanfloor Network System
for Earthquakes and Tsunamis*

76