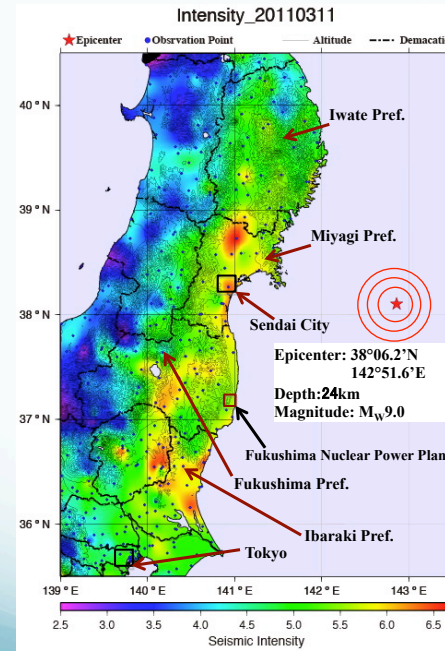


3. 11巨大地震が投げかけたもの —工学と地震学の狭間から—

東北工業大学 名誉教授
神山 眞

E-メール : mkamiyam@tohtech.ac.jp
ホームページ : http://smweb.tohtech.ac.jp/

1



2011年3月11日(金)14時46分18秒
震源:三陸沖, 深さ24km, M_w 9.0
最大震度:7 宮城県栗原市
被害概要(2012年3月11日現在)
*死者:15,854名(警察庁まとめ)
*行方不明者:3,155名(警察庁まとめ)
*構造物被害:無数(原発被害など)
*経済的被害総額:15~20兆円?
(日本国民の自然観, 社会観のパラダイム変換, 日本の進路の歴史的な転換点)

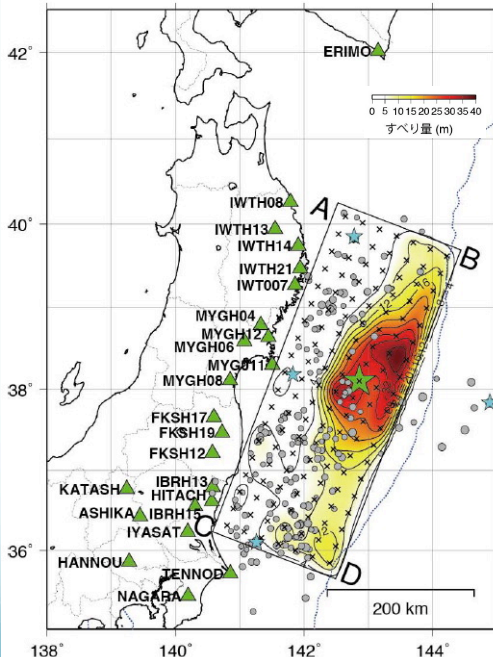
震災名
東日本大震災(4月1日, 持ち回り閣議)



津波災害の惨状

2011年東北地方太平洋沖地震

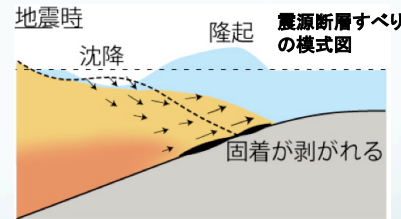
2



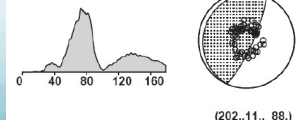
気象庁の資料による断層面とすべり分布

今回の地震の詳細な震源の姿

海底における広大な領域の断層がすべった→津波の発生



震源メカニズム解



3

東日本大震災の意味することと特徴

- ①海底の巨大な震源 (M_w 9.0, 日本海溝軸沿, 遠方)
- ②顕著な津波被害 (シームレス防災・減災の必要性)
- ③広域的な強い揺れ (震源, 伝播経路, サイト)
- ④多種多様な広域的被害 (地震動&津波, サイト, 原子力)
- ⑤余震, 誘発地震, 地殻変動 (歪列島, 序曲, 将来)
- ⑥社会的なインパクト (複合的, 総合的, 継続的, 精神的)
- ⑦科学技術のあり方 (専門家への不信, 期待, 狭間の問題)

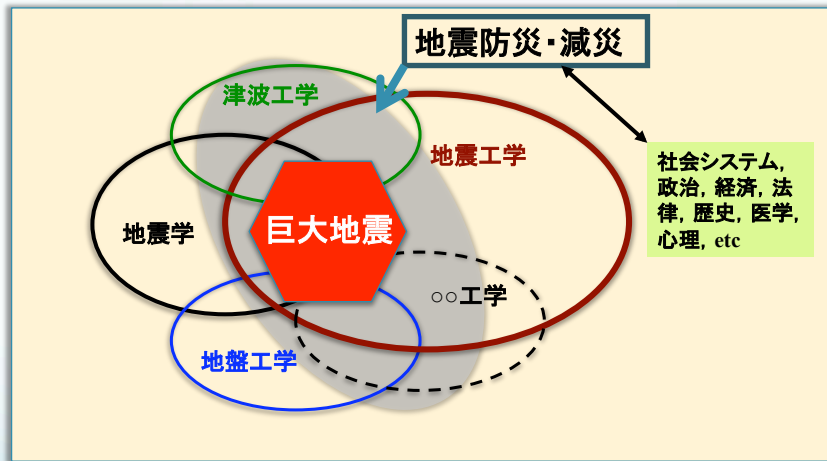
巨大性
シームレス
狭間問題

Paradigm Shift

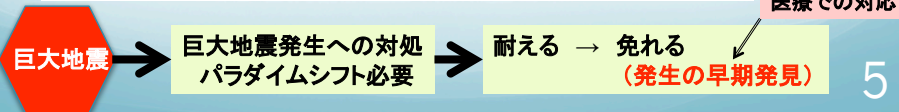
日本の今後の生き方を
根本的に考え直す必要
を迫るもの

4

地震防災・減災—工学と地震学との狭間問題



狭間問題への対処 = 木を見て森を見ない → 木も見て森も見る



GPS(Global Positioning System)

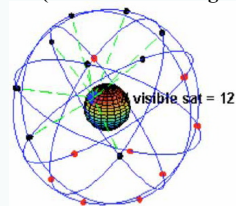
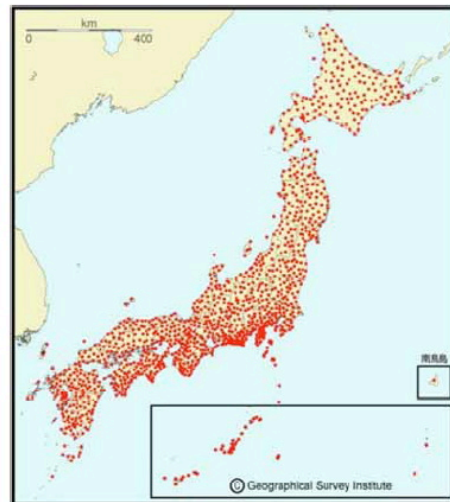


Image figure of satellite orbits



Image photo of satellite

- 1994年から国土地理院が本格整備
- 日本全国に約1,233点
- 連続稼働, 正確な日座標値



早期発見
ツール

地殻変動の観測網の整備

一部、国土
地理院の資
料から

6

GEONET(GPS Earth Observation Network)について

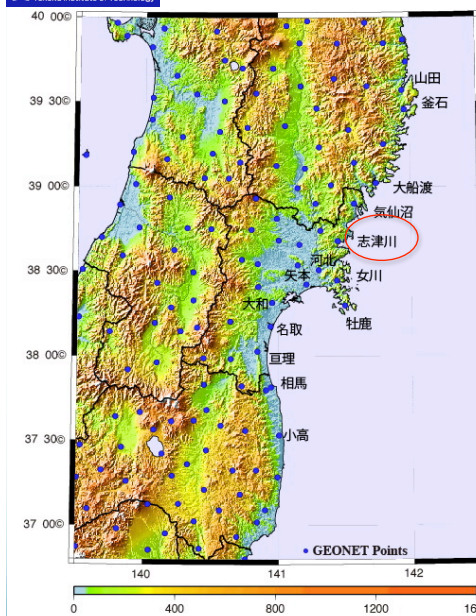
3.11巨大地震とGEONET観測点(電子基準点)



(宮城大和観測点、東北理工専門学校)

すべての観測点の日々の座標F3のデータは誰でも入手可能
<http://terras.gsi.go.jp/ja/ngs060.php>

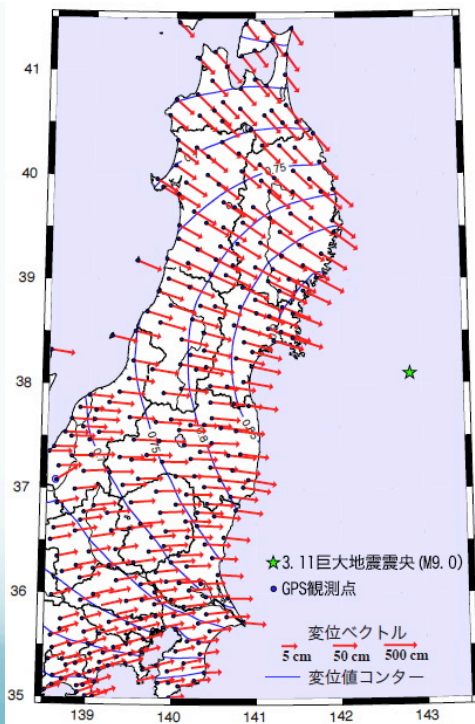
7



今回の地震によるGEONETデータ



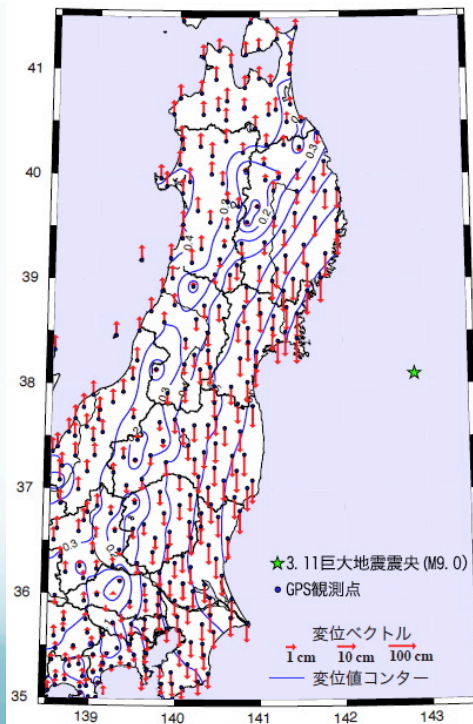
志津川観測点の2011/1/1からの座標変動



地震発生:
2011年3月11日
5:46:18UTC

今回の地震による
永久変位ベクトルの
分布(水平方向)
(3月10日12:00UTC
と
3月12日12:00UTC
の座標から算定)

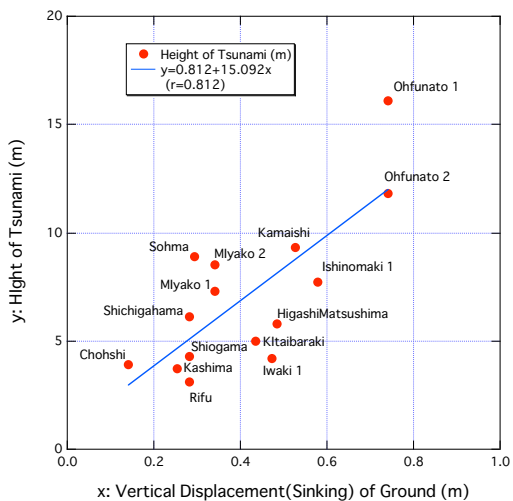
最大水平変位
女川:5m



地震発生:
2011年3月11日
5:46:18UTC

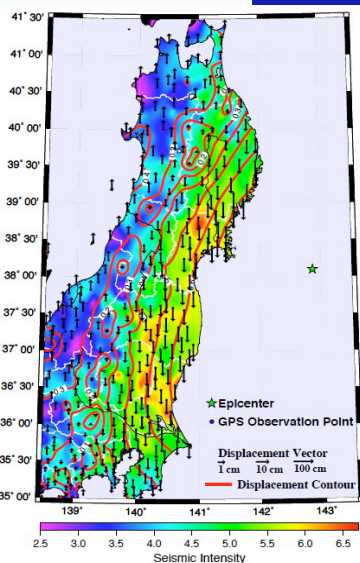
今回の地震による
永久変位ベクトルの
分布(鉛直方向)
(3月10日12:00UTC
と
3月12日12:00UTC
の座標から算定)

最大鉛直変位
女川:1m



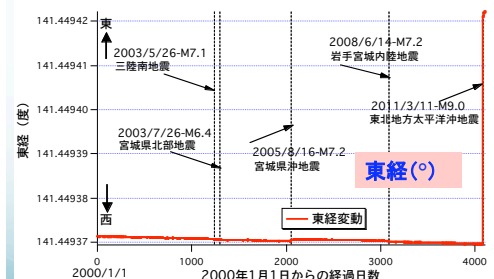
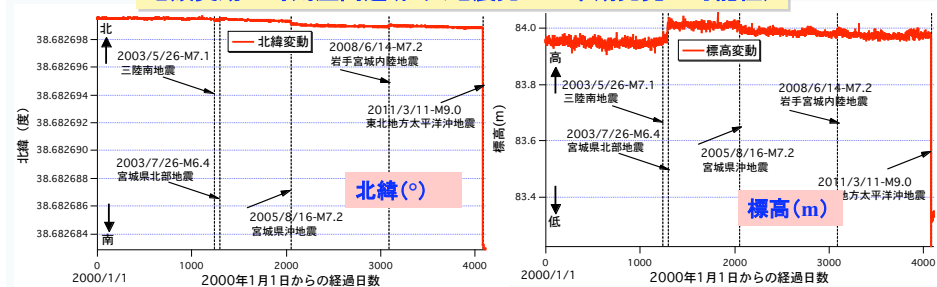
津波高さと鉛直地殻変動の大きさとの相関

上下方向の地殻変動の大きさとその工学的問題での重要性



震度と鉛直地殻変動の分布相関

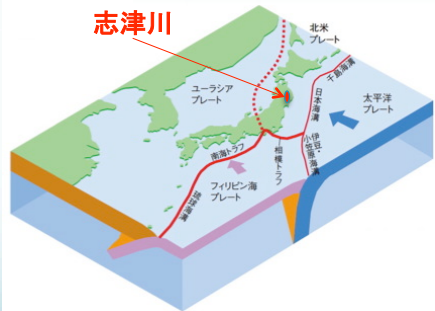
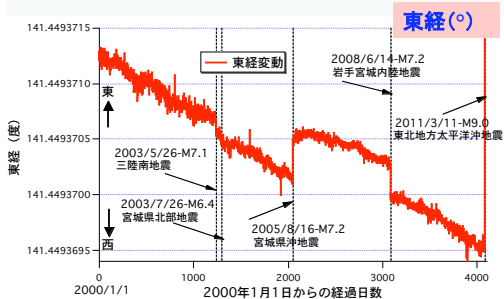
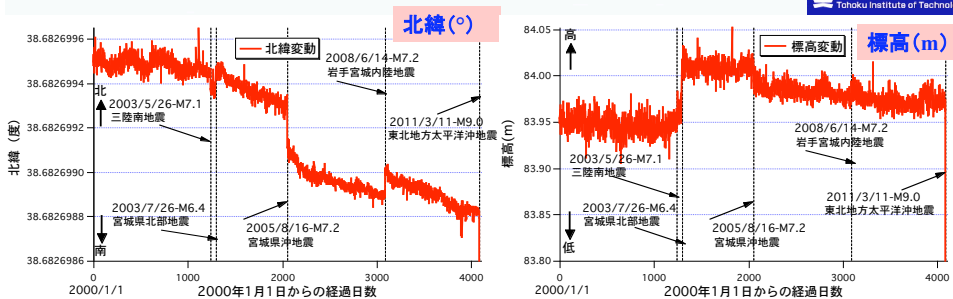
地殻変動の時刻歴問題(巨大地震発生の早期発見の可能性)



志津川における約10年の座標変動
(2000年1月1日から2011年5月20日まで)

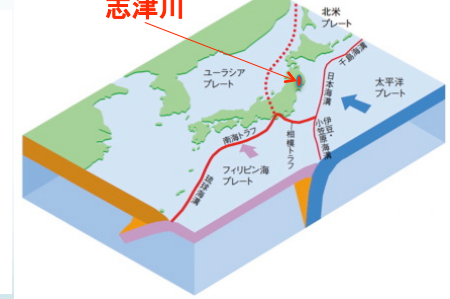
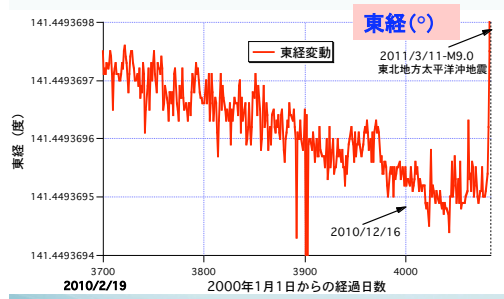
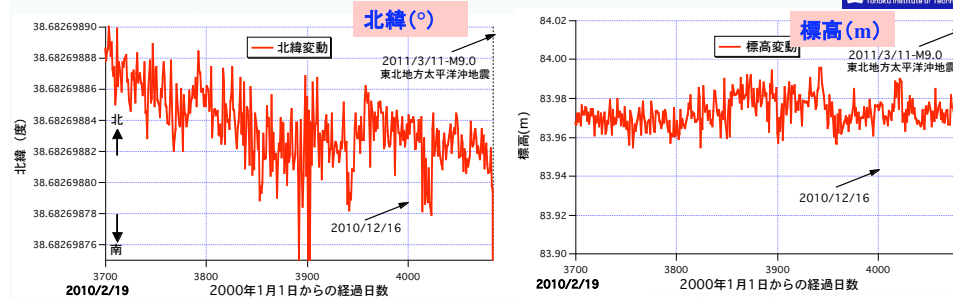


日本列島のプレート



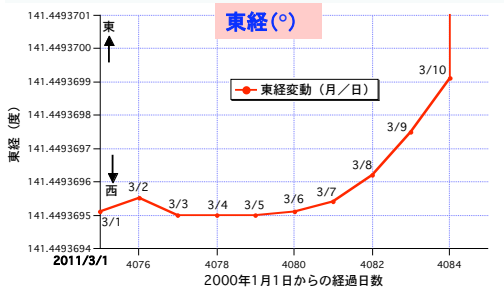
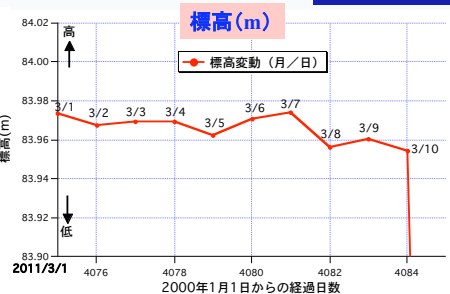
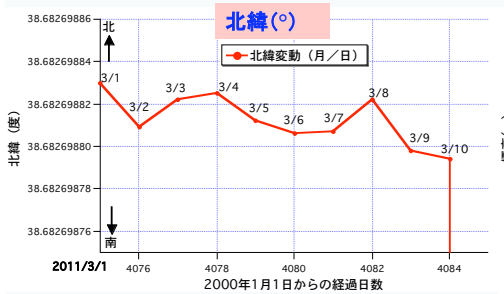
志津川における約10年の座標変動(縦軸の拡大)
(2000年1月1日から2011年5月20日まで)

3



志津川における約1年の座標変動(縦軸の拡大)
(2010年2月19日から2011年5月20日まで)

14

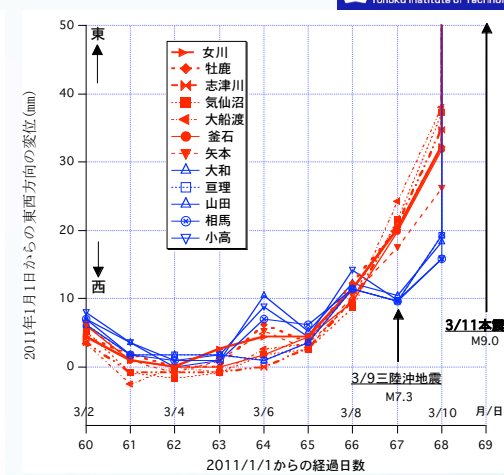
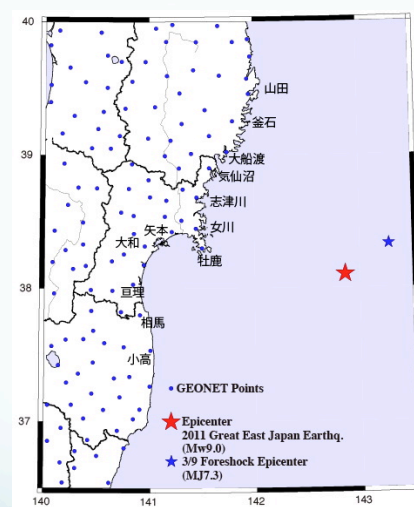


東西方向変位:
短期的には西側への変位が停止して、本震発生3日前頃から東側に変位方向が逆転して増大を続け、本震発生で東方向へ大きく変位した

明確な予兆?

志津川における約10日の座標変動(縦軸の拡大)
(2011年3月1日から2011年5月20日まで)

15

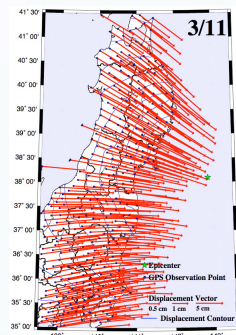
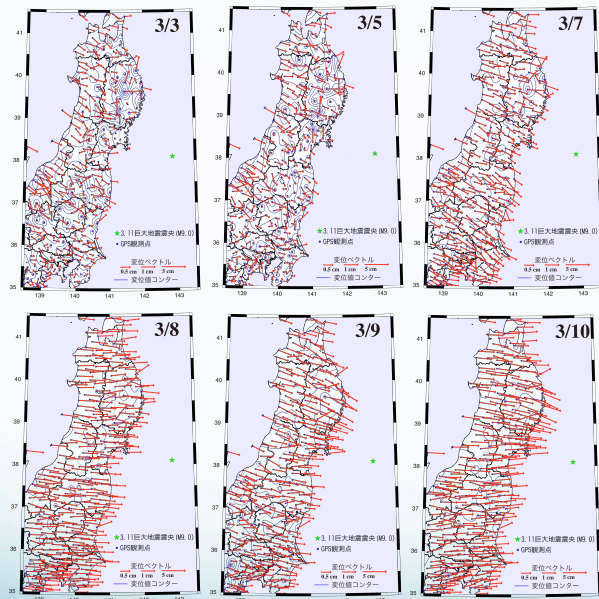


東西方向変位:
各点とも短期的には本震発生3日前頃から東側に変位方向が逆転して増大を続け本震発生で東方向へ大きく変位した

海岸沿い観測点の東西方向の変位時刻歴
(2011年1月1日の座標からの東西方向の変位)

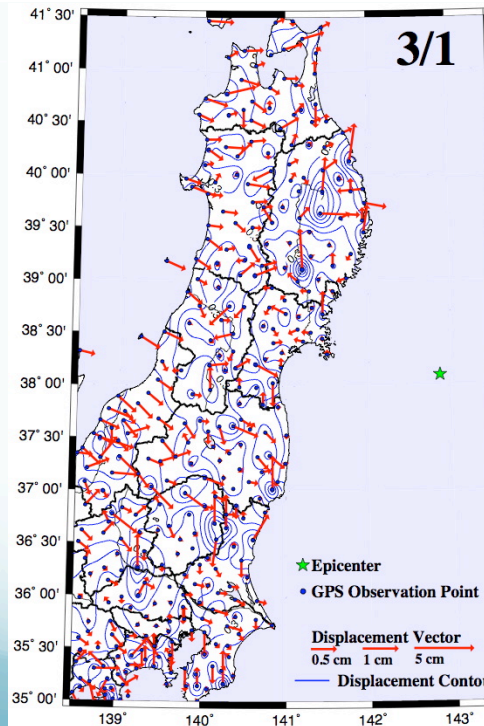
16

2011年1月1日の
座標からの水平
変位ベクトル

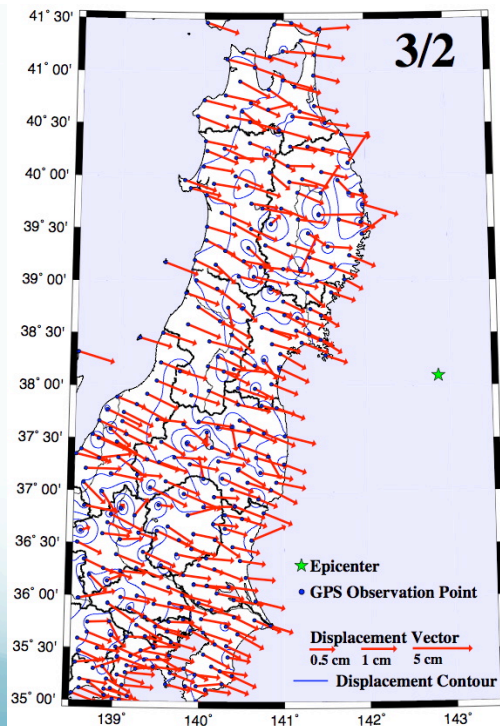


結論: 予兆はあった

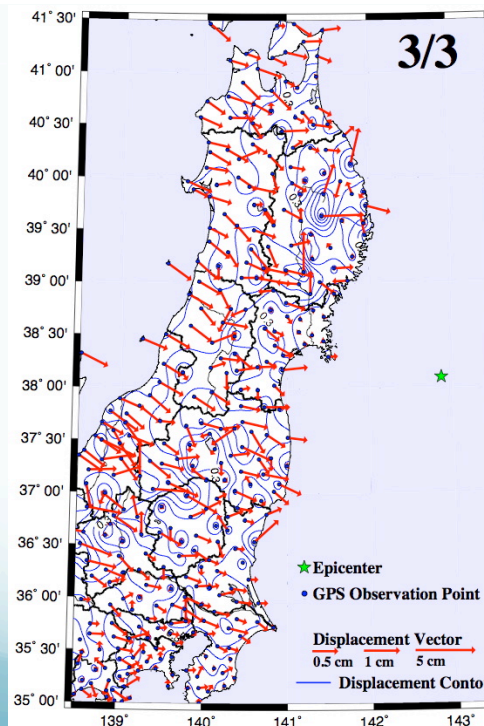
本震前の10日間の水平変位ベクトル分布の時間変化



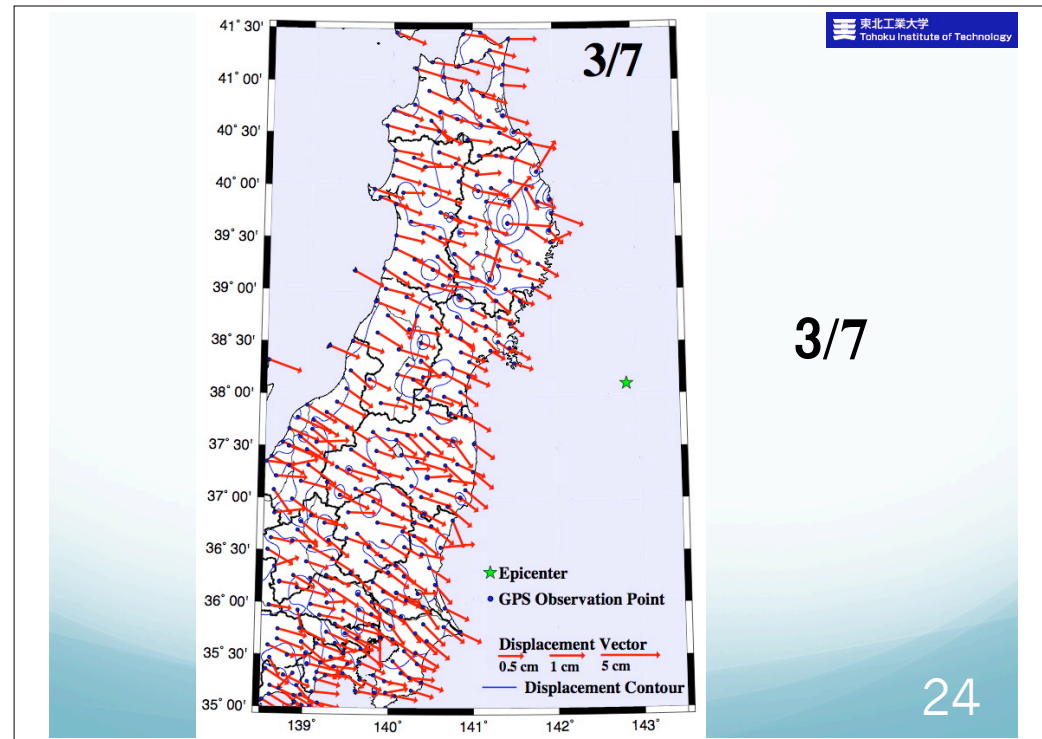
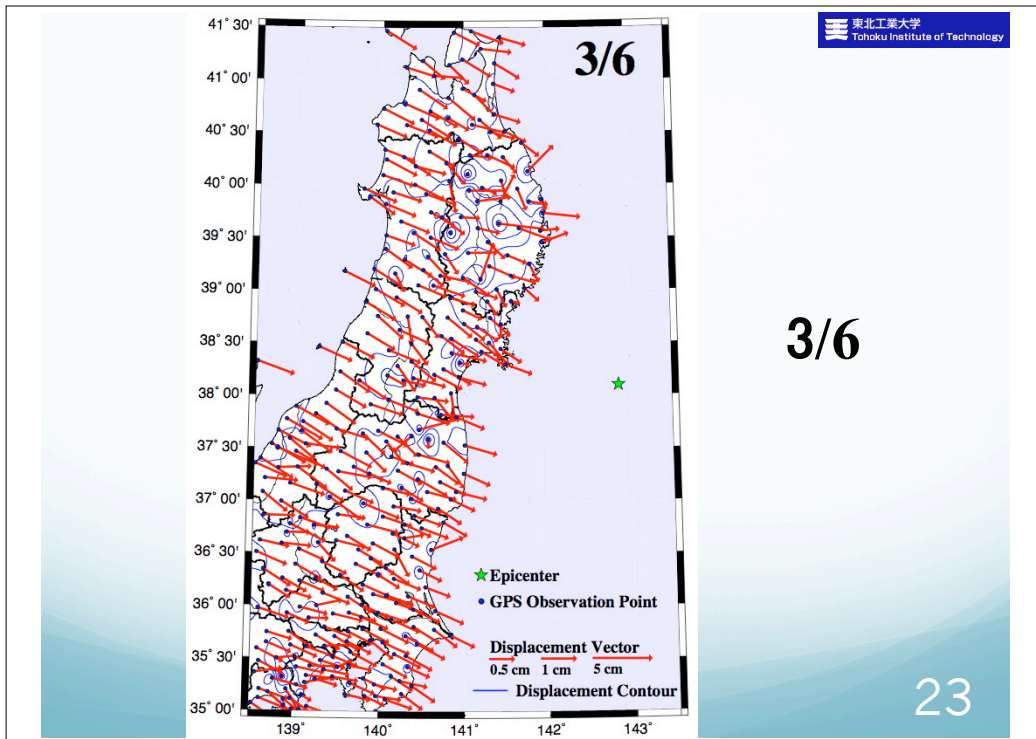
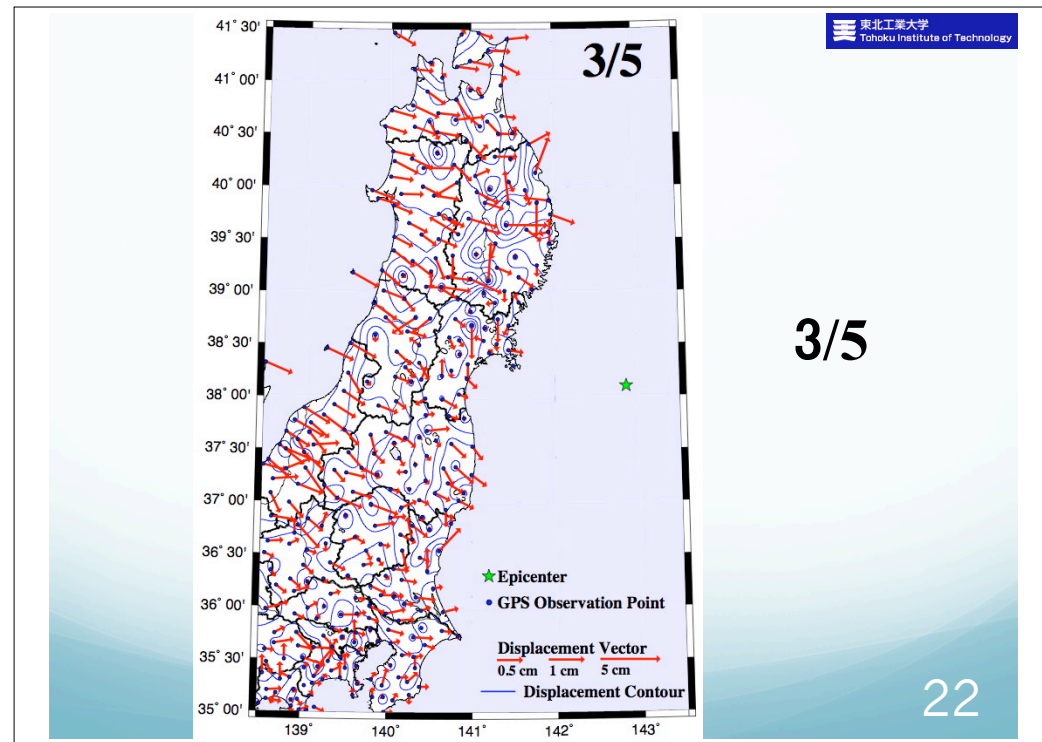
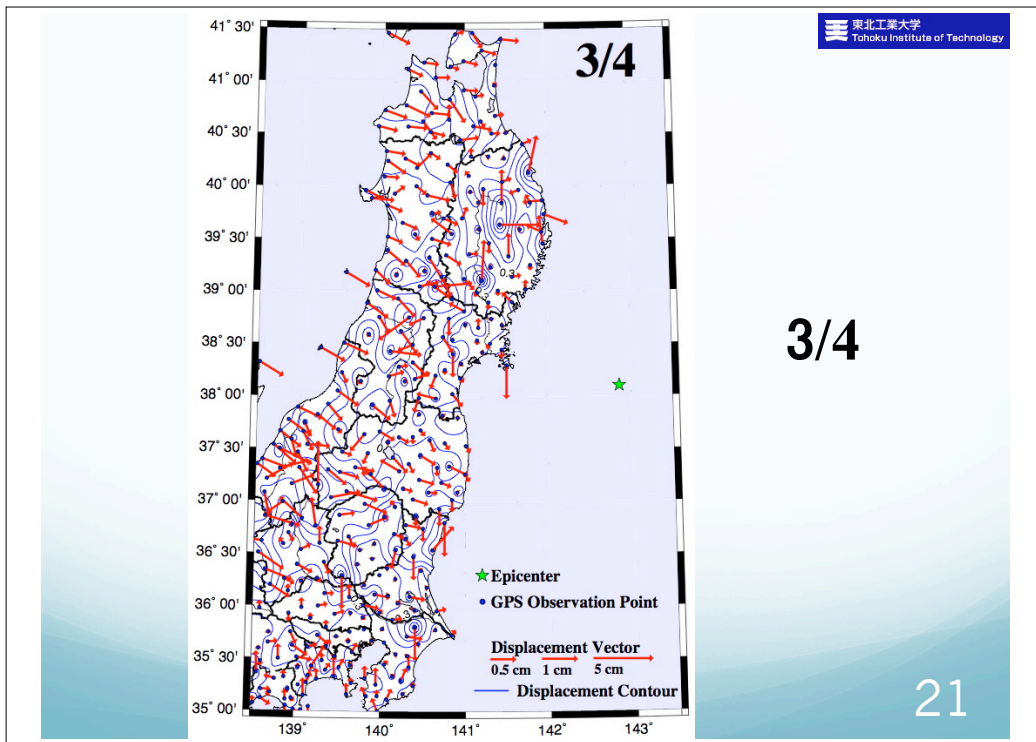
3/1

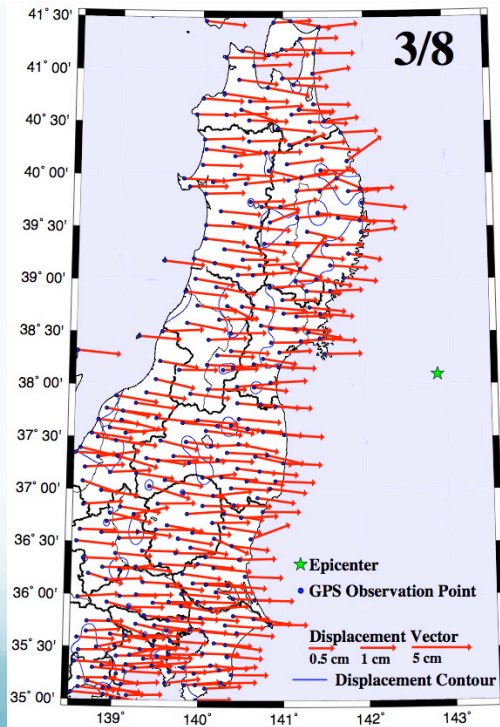


3/2



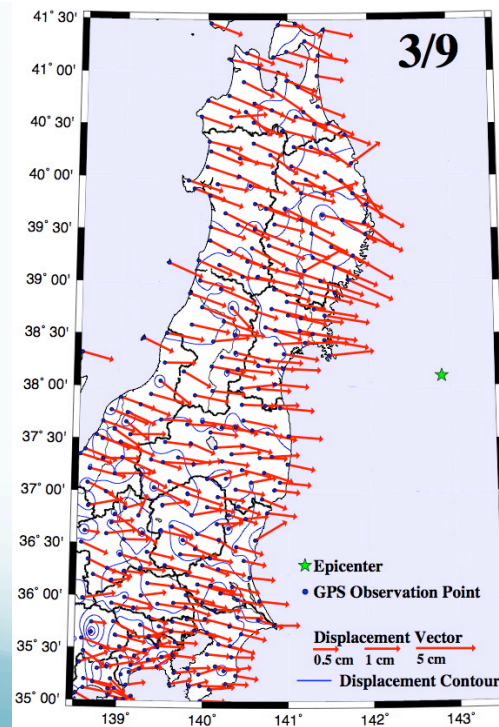
3/3





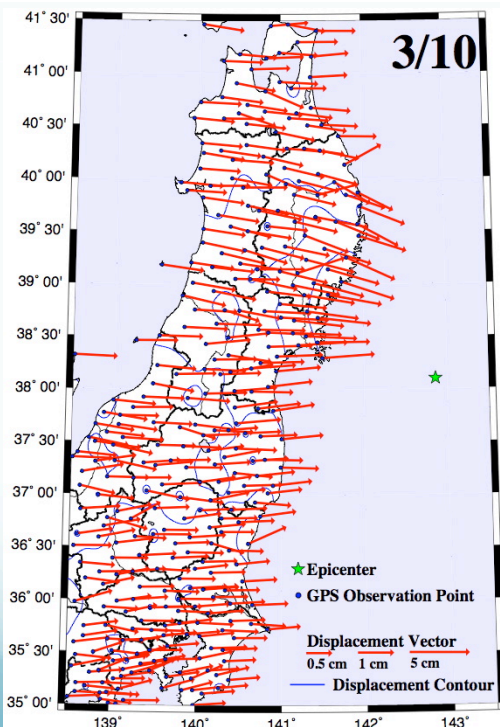
3/8

25



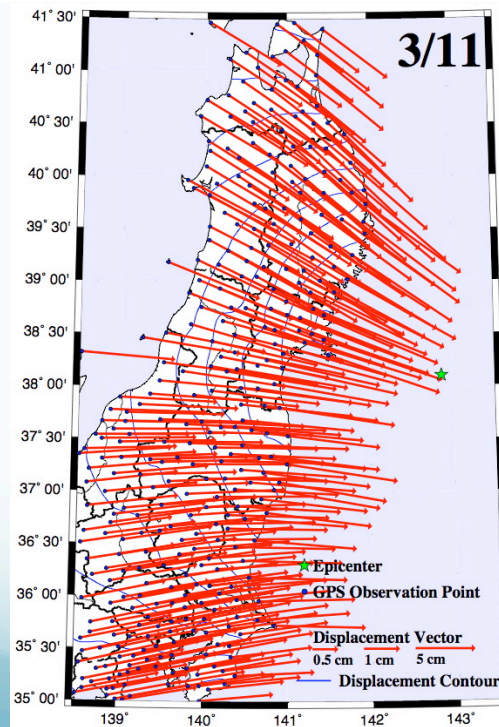
3/9

26



3/10

27



3/11

28

結論：地殻変動
にPreslipと考え
られる予兆が明
確にあった

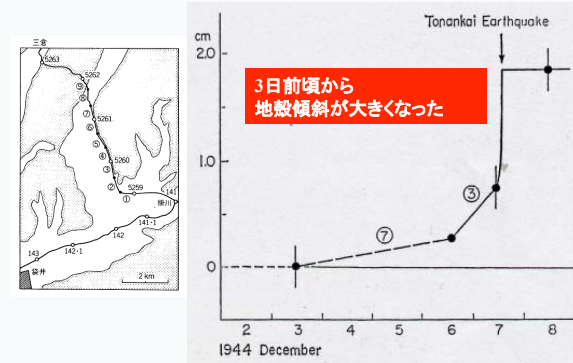
今回の地震で予兆と判断した理由

1. 通常観測される西側へ変位する長期的な地殻変動と逆転する変化が短期間に発生したこと。
2. 上記の変化が異なる観測点で同期している。しかも時系列変化も異なる観測点で同期している。
3. 上記の地殻変動量の時系列変化において加速的増加の傾向が認められること。

結論の客観性を担保

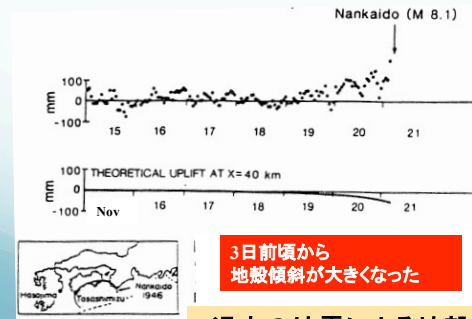
「東海地震に関連する情報」の発表基準

情報名	発表基準
東海地震 予知情報 (カラーレベル 赤)	下記の基準でかつ、「警戒宣言」が発せられた場合に発表される情報 ○3カ所以上のひずみ計で有意な変化が観測された場合であって、前兆すべりによるものと「判定会」で判断した場合等 ○急激な変化が観測され、「判定会」の開催に合わない場合 5カ所以上のひずみ計で有意な変化が観測され、 <u>気象庁で前兆すべりと判断した場合</u> に発表
有意な変化	レベル1 普段のデータのゆらぎの幅に設定。若干の異常として検出可能な変化。 レベル2 レベル1の1.5~1.8倍に設定。明瞭な異常として検出可能な変化。 レベル3 レベル1の2倍に設定。顕著な異常として検出可能な変化。
気象庁で前兆すべりと判断する基準	(1) 地殻変動の一定期間の変化量がプレート境界に置いた低角逆断層で説明可能なこと。 (2) 異なる観測点の変化が同期しており、時系列の関数系が同一とみなせること。 (3) 時間的変化に加速的傾向が認められること。



1944年東南海地震
(Mw8.2, 1944年12月7日)における前兆的地殻変動(静岡県掛川)

1944年東南海地震発生直前における掛川地域の上下方向の地殻変動 [茂木清夫(1982)、地震(2)、35、pp.145-148.]

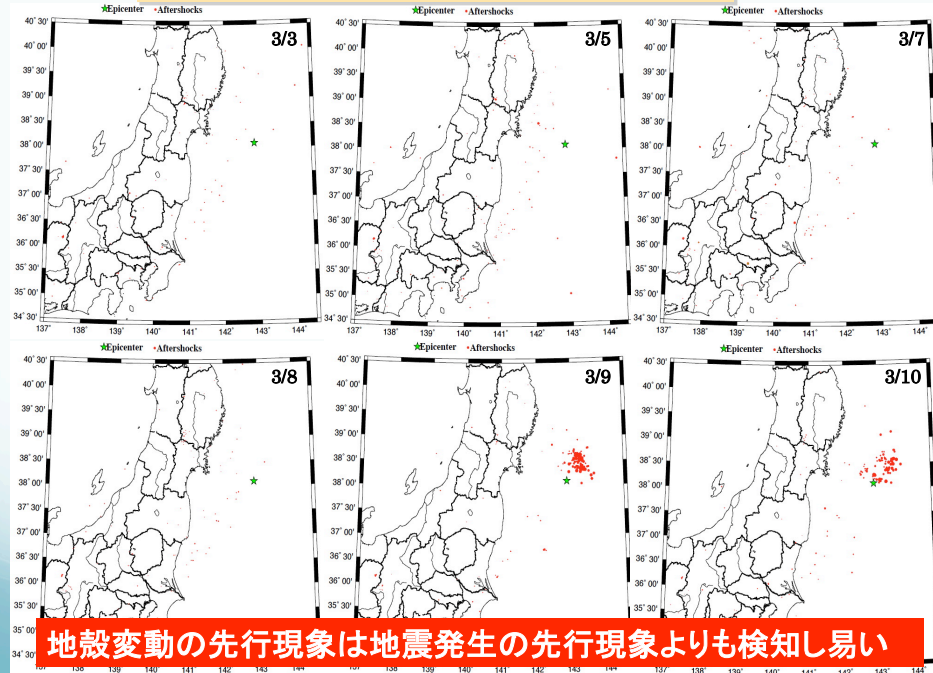


1946年南海道地震
(Mw8.1, 1946年11月21日)における前兆的地殻変動(高知県土佐清水)

1946年南海道地震発生直前における土佐清水の検潮儀で観測された地殻の隆起変化 [Stuart(1988)、Pure Appl. Geophys. 126、pp619-641]

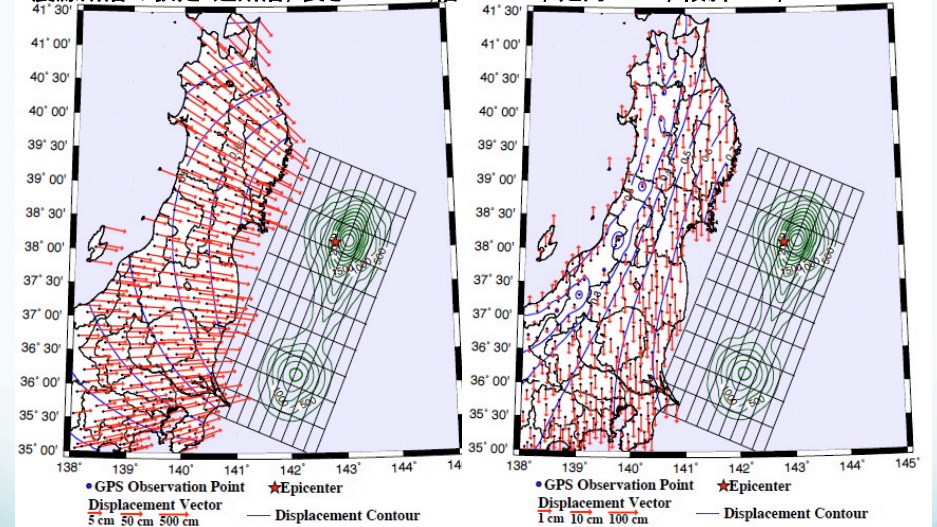
過去の地震による地殻変動の先行現象例

3.11巨大地震前の地震発生時間変化(月/日)



地殻変動の先行現象は地震発生の先行現象よりも検知しやすい

震源断層の仮定: 逆断層, 長さ=500km, 幅=200km, 走向=202°, 傾斜=11°, Rake=88°



水平地殻変動

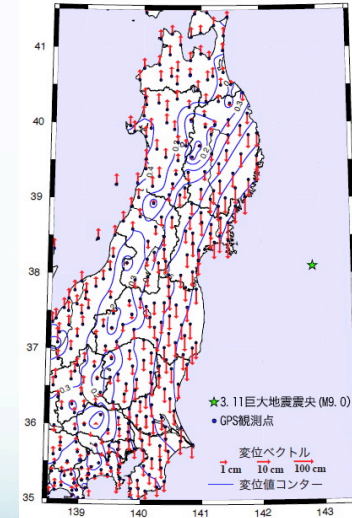
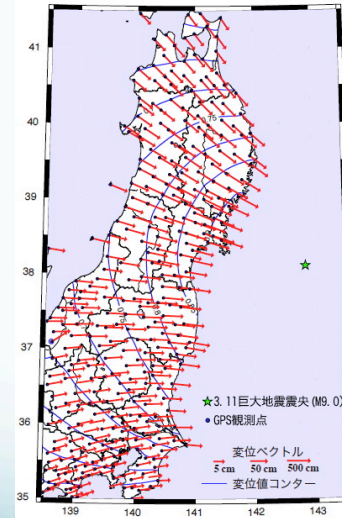
鉛直地殻変動

震源断層モデルによる理論的な地殻変動の算定と断層すべりの逆解析

地殻変動の影響と今後のこと

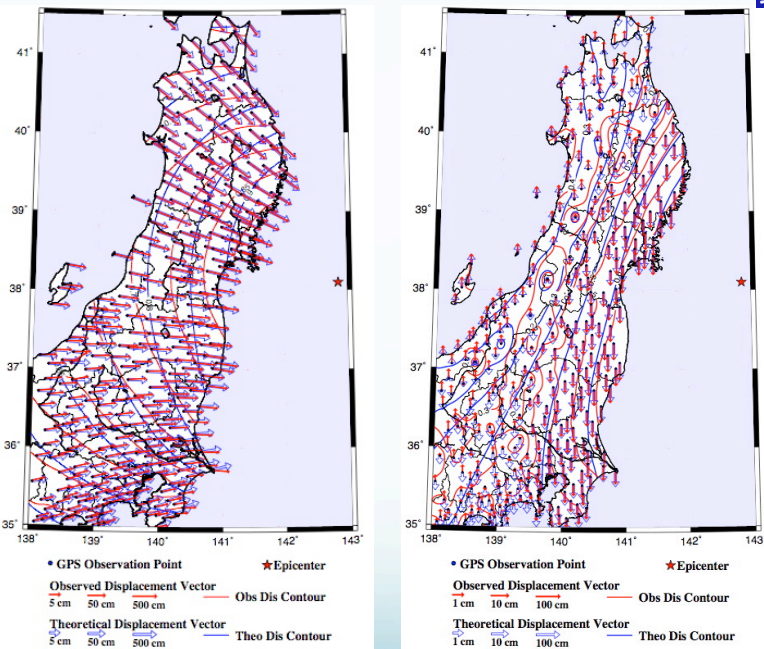
水平方向

鉛直方向



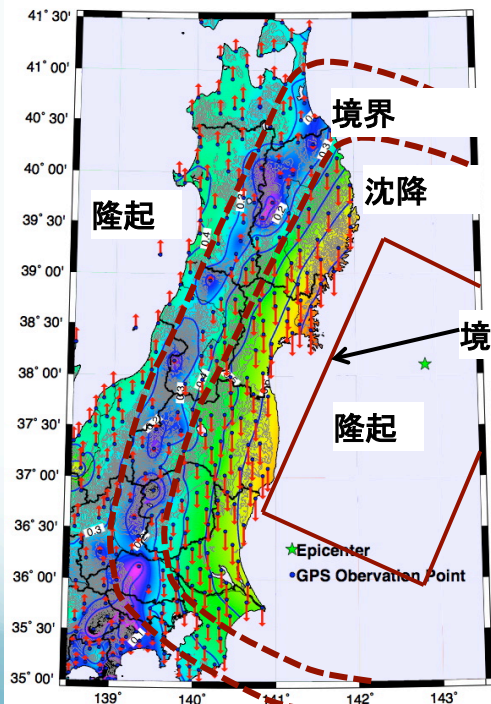
鉛直方向の変位分布が重要

今回の地震による地殻変動→日本列島に大きなひずみ



実測地殻変動と理論地殻変動の分布と大きさの比較

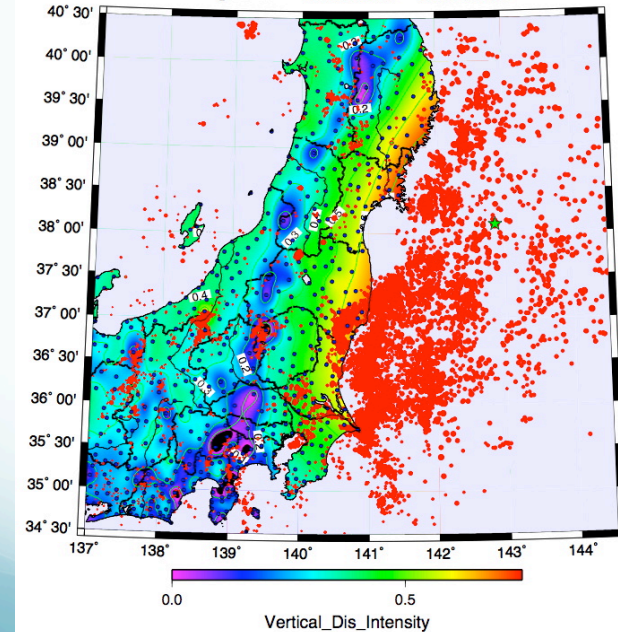
鉛直方向の地殻変動
分布(カラーイメージ)



震源断層を囲んで何重にも
隆起、沈降、境界の領域が
発生する

余震、誘発地震は境界の領
域に発生する傾向

GPS Point ★Epicenter ●Aftershocks — Dis.Contour

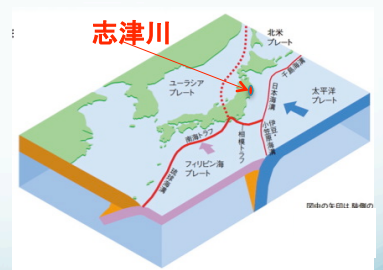
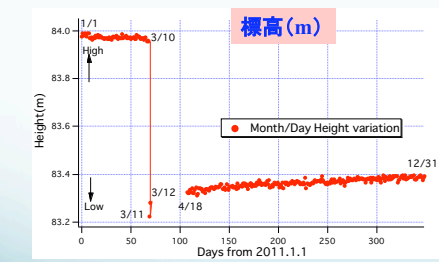
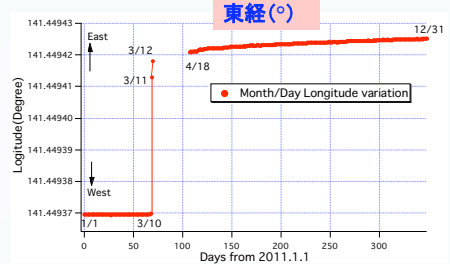
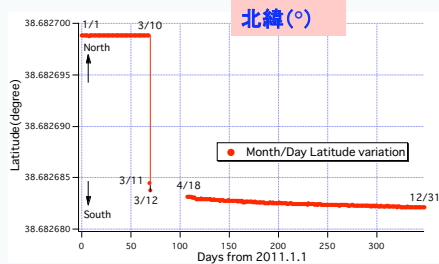


今回の地震による永
久変位ベクトルの分
布(鉛直方向)一ベク
トル絶対値にカラーイ
メージと1ヶ月間に
発生した余震の関係

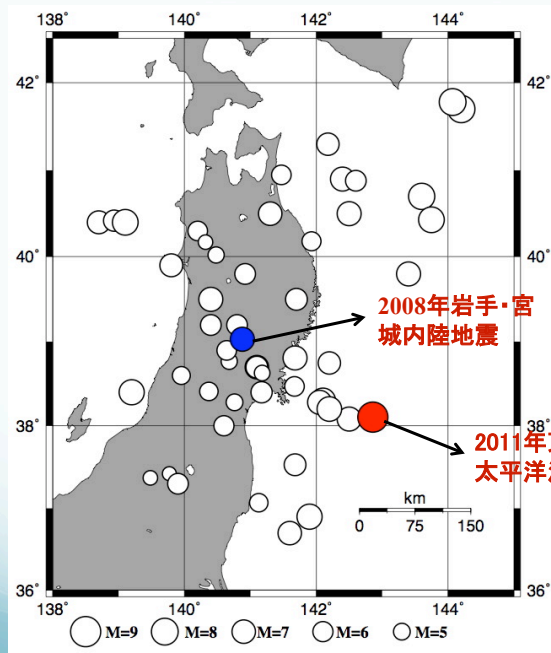
内陸の誘発地震ど
こで起きてるか?

要注意地域:

- 首都圏、埼玉県
- 浜岡原発停止は正解
- etc



3.11巨大地震後の地殻変動(志津川観測点の2011年1年間の変動例)
→余効変動が続いている

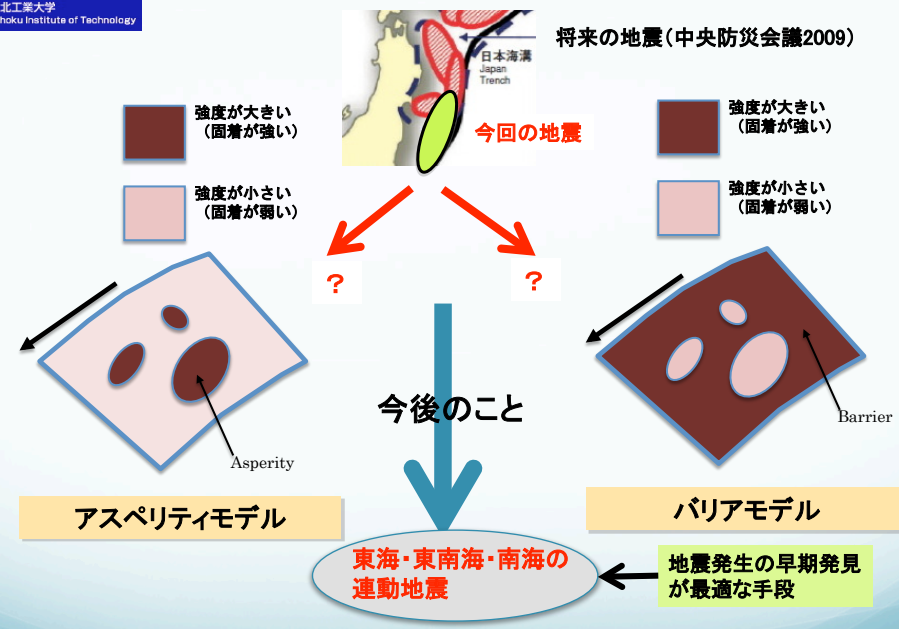


過去100年の東北地方における被害地震

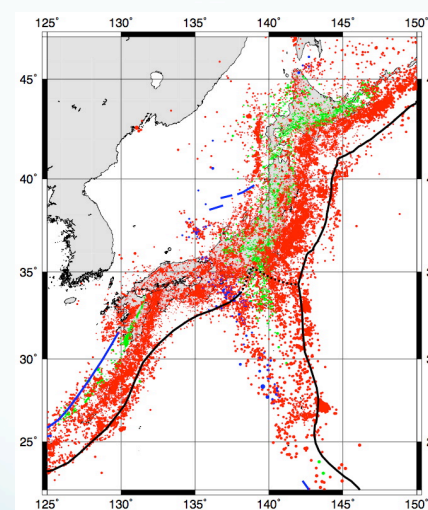
「牡鹿-男鹿構造線」の仮説提唱
茂木清夫(1983)

牡鹿	男鹿
1978年 宮城県沖地震 (M7.4)	1983年 日本海中部地震 (M7.7)
1936年 宮城県沖地震 (M7.4)	1939年 男鹿地震 (M6.8,6.7)
1898年 宮城県沖地震 (M7.2)	1896年 陸羽地震 (M7.2)

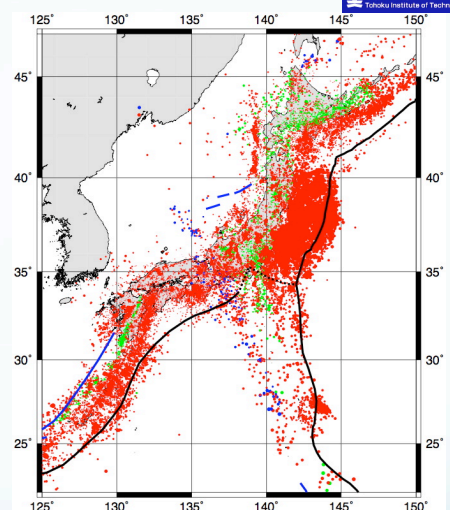
3.11巨大地震と東北地方の今後のサイスミシティ 38



3.11巨大地震の発生と将来(アスペリティモデルおよびバリアモデル)



地震分布(2010.1.1-2010.12.31)



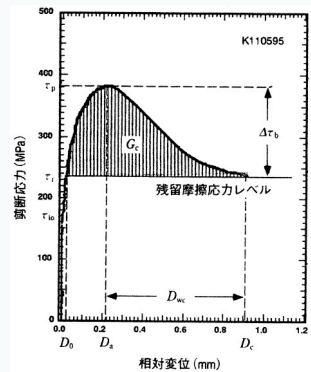
地震分布(2011.1.1-2011.12.31)

男鹿半島-牡鹿半島ライン
伊豆小笠原ライン-東海東南海
その他(千島海溝, 南海トラフ日向灘, 琉球, etc)

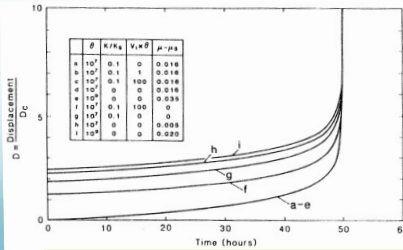
→ 早期発見の努力が必要

地震分布とアスペリティモデル, バリアモデル, 3.11巨大地震の発生との関係

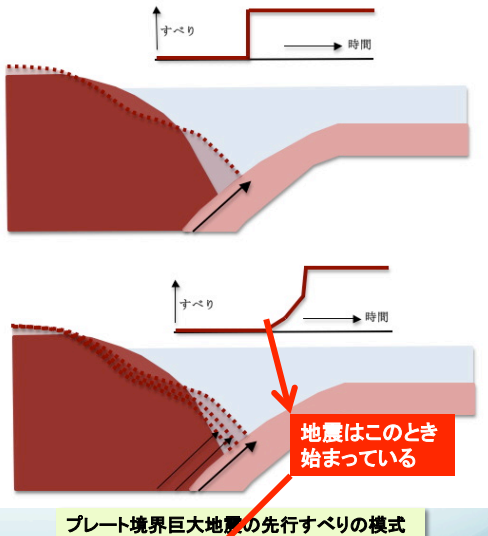
予兆すべりの背景(実験, 理論)



岩石試験の先行すべり(Ohnaka,1997)

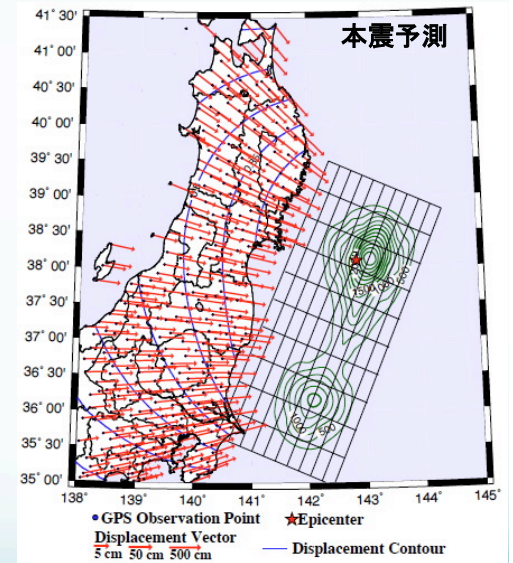
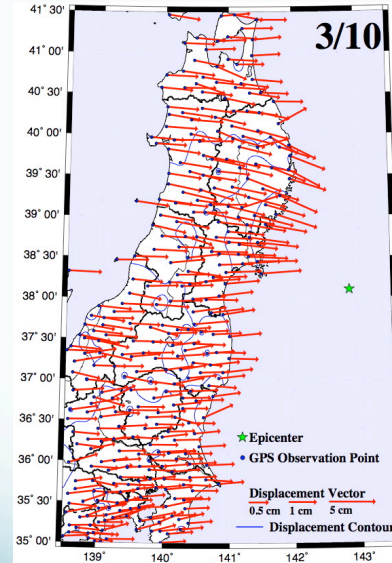


摩擦理論の先行すべり(Dieterich,1986)

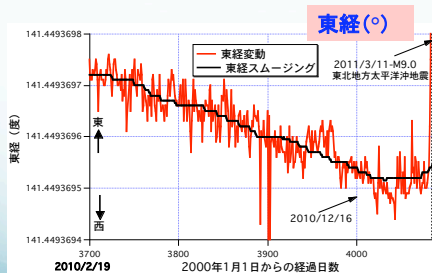
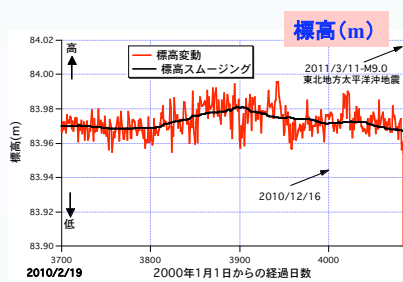
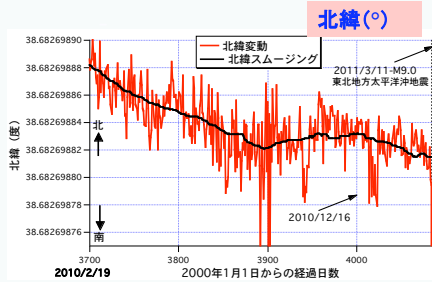


プレート境界巨大地震の先行すべりの模式

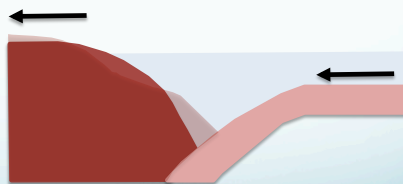
プレート境界巨大地震の
早期発見は可能



地殻変動監視による巨大地震発生
の早期発見の可能性
(いつ, どこで, どんな)



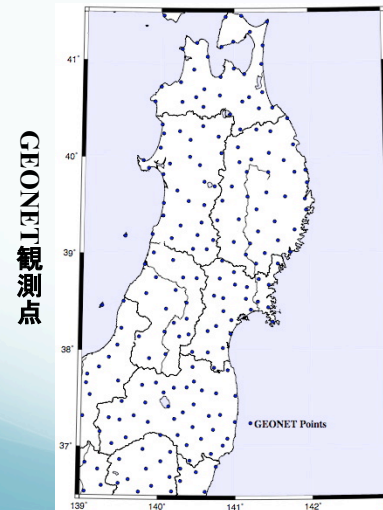
プレートテクトニクスによる物理的な背景



地震発生への中期的な予見の可能性(物理的な背景が明確なとき)

むすびに代えて

3.11巨大地震の投げかけたもの(プラス面)?



センサーは
既に完備

巨大地震発生
の早期発見
の可能性
(いつ, どこで, どんな)

センサーによるデータを見
逃さない監視体制の確立

自分のことは自分で守る
(国に頼らないで, 各県, 各組織で監視)