

地震予知・火山噴火予知・津波 予測研究の最前線

2015年3月9日
静岡県防災・原子力学術会議

東海大学地震予知研究センター 長尾年恭
東京学芸大学教育学部 鴨川仁

自己紹介 長尾年恭 (ながお としやす)

現職：東海大学海洋研究所・教授、地震予知研究センター長

出身地：東京

1987 東京大学理学系研究科博士課程修了

1988～1995：金沢大学理学部助手

1996～現在：東海大学海洋研究所地震予知研究センター

2006～2007：東京大学地震研究所・客員教授

第22次日本南極地域観測隊，越冬隊（1981-83）に参加。昭和基地で越冬
1991年，アテネ大学物理学部で地電流を用いた地震予知の研究に従事

専門：電磁気学的な手法による地震発生直前予測の研究

地震防災啓発活動・耐震補強の推進、地球熱学 (付録A参照)

委員等：地震学会、地震予知検討委員会委員(2001-2014)

統合国際深海掘削計画（IODP）日本代表理事(2004-2008)

国際測地学・地球物理学連合（IUGG）

地震・火山噴火に関する電磁現象WG（EMSEV）事務局長（2001-）

内閣府・南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会(2012-13)

一般社団法人『レジリエンスジャパン推進協議会』理事(2014-)

東京学芸大学教育学部物理科学分野 准教授
NPO法人富士山測候所を活用する会

理事・学術科学委員長

略歴

1995年 早稲田大学工学部応用物理学科 卒業

2000年 早稲田大学理工学研究科物理学及応用物理学専攻修了
博士(理学)

1998～2005年 理化学研究所地震国際フロンティア研究プログラム
(静岡市清水区東海大内)

ジュニアリサーチアソシエイト、非常勤研究員

2000年 早稲田大学工学部助手

2001年～ 東京学芸大学、助手、助教のちに現職

3

防災・原子力安全に係る最近研究から (鴨川仁)

1) 地震発生予測

～人工衛星、地下水井戸、電磁氣的測定、GPS/地震計データを用いた総合的研究
東京海上研究所と地震予測実現可能性について共同研究
宇宙航空研究開発機構(JAXA)と地震先行検知衛星ミッション検討作業

2) 早期津波予測 (付録B)

～既存インフラを用いたGPSなどの衛星測位データを用いた宇宙からの津波検知
早期津波予測技術の実用化に向けて中部電力と共同研究(公募研究)

3) 雷発生予測・雷研究 (付録C)

～雷雲から発生するガンマ線(第3の自然放射線)の発生位置を突き止め
複数の民間企業と落雷発生位置の同定、発生予測の共同研究

4) 富士山火山活動監視 [NPOの活動として各研究グループのとりまとめ] (付録D)

～SO₂ガスリアルタイム観測、富士山頂ライブカメラ、火山表面の温度計測など

5) 福島原発事故起源放射能調査 [NPOの活動として各研究グループのとりまとめ](付録E)

～富士山における高度別の沈着放射能調査

4

2011年東北地方太平洋沖地震と将来発生する南海トラフ沿いの巨大地震の脅威の違い

- 2つの巨大地震の津波到達時間は異なる。
311では最低でも20分はあったのに対し、
想定東海地震では揺れている間に第一波が襲来
(三保半島や県西部では、逃げる時間が実質ゼロ)
→早期津波予測だけではほぼ無力

予知(中・短期地震発生予測)と防災は対立する概念ではなく、**防災・減災の一つの手段**として予知を位置づけるべき

予知は費用対効果が極めて大きい

→基本的な観測はすでに国が実施しておりそれらの利活用で予測は可能とみられるため。

5

2011年東北地方太平洋沖地震の前に観測された各種先行的現象例

- b値(中規模地震と小地震の発生割合)変化
- 中規模の地震が潮汐と同期して発生
- 地殻変動(GPSで検知)
- 地震活動の静穏化・活性化
- 大気中のラドン濃度変化
- 地下水位・温度の変化
- 電離圏異常を含む各種電磁気学的異常
- 前震活動(震源の移動を含む)

青色：数年オーダーの変化

緑色：数ヶ月オーダー

赤色：数日オーダー

先行現象が複数発生したときの 確率的地震発生予測 (宇津, 1979)

“今からt時間以内に地震が起こる”という予報を出すときの
地震発生率P (= 警告率 = 適中率) は

$$P = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{P_A} - 1\right) \left(\frac{1}{P_B} - 1\right) \dots \left(\frac{1}{P_S} - 1\right) / \left(\frac{1}{P_0} - 1\right)^{N-1}}$$

P_A, P_B, \dots, P_S : 単独項目による予測の地震発生率

P_0 : 長さt時間の乱数予報を出したときの地震発生率

宇津 (1979) は上記考えを**1978年伊豆大島近海地震 (M:7.0)** に適用

A: 伊豆半島北東部の隆起 (それに伴う重力減少)

B: 大島西方の地震活動

C: 石廊崎と網代の体積歪計の異常や伊豆半島でのラドン, 井戸水位等の異常

→ 上記3つの事象が独立な「異常」だった場合、**3日以内に68%から96%の確率**で大地震が発生するという計算結果を出している

本手法を2011年東北地方太平洋沖地震の先行現象に適応するとどうなるか?

地震予知不可能説からの脱却

国による地震・測地稠密観測網の整備による高精度データは先行現象検知に大きく貢献。
新しい現象のみならずかねてから指摘されていた先行現象も明瞭に実在。

以下の3つのアプローチにより新たな知見が見出される。

① 近年の高品質なデータを古典的手法で再解析・かねてから言われていた先行現象の再着目

b値 (Nanjoら, GRL, 2012 など)

地震活動度静穏化・活性化 (Nagaoら, 2015)

GPS基線長変化 (Oriharaら, 2015)

② 伝統的な地震・測地学データに対し新しい手法・新たな目の導入

深部低周波微動の発見と大地震との関係性 (Obaraら) (付録F)

潮汐に同期する地震発生数の変化 (Tanakaら)

明瞭な準備過程の存在 (偶然大地震になるのではない)

(Lippielloら, *Scientific reports*, 2012; Kamogawaら, JpGU, 2015 予定)

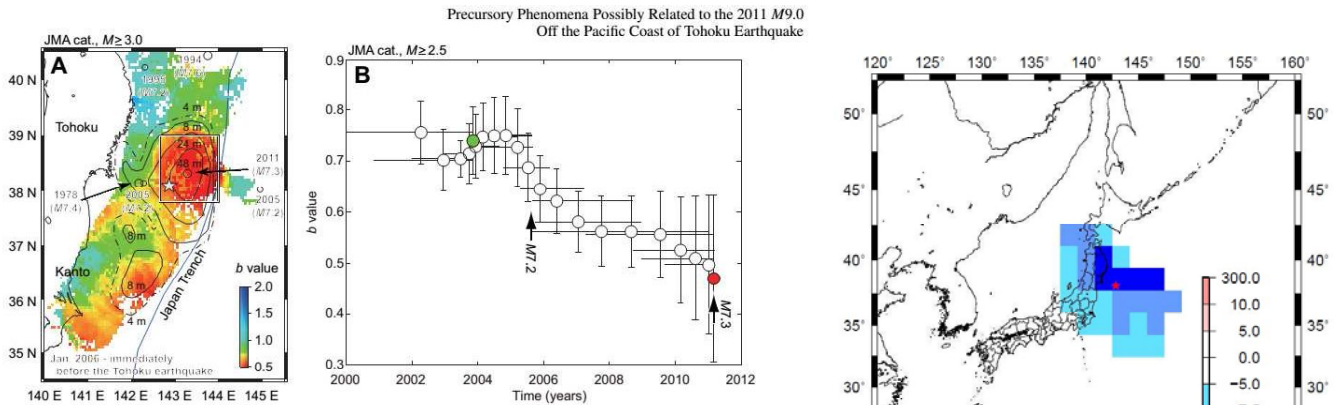
③ 地震・測地学とは違う新分野の現象に着目

地電位差変化 (Orihara, Kamogawa, Nagaoら, PNAS, 2013)

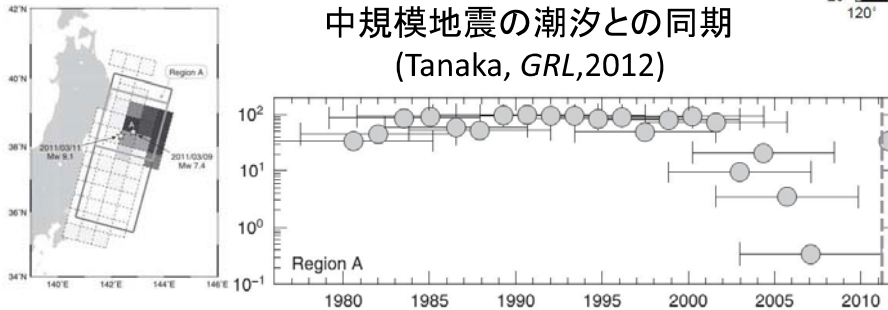
衛星観測による電離圏変動 (Nemecら, GRL, 2008; Kamogawaら, JpGU, 2015 予定)

再解析・再着目: 2011年東北地方太平洋沖地震前の先行現象

地震活動度 (数年~10年オーダーの変化)



b値の長期的な低下(Nanjo et al., *GRL*,2012)

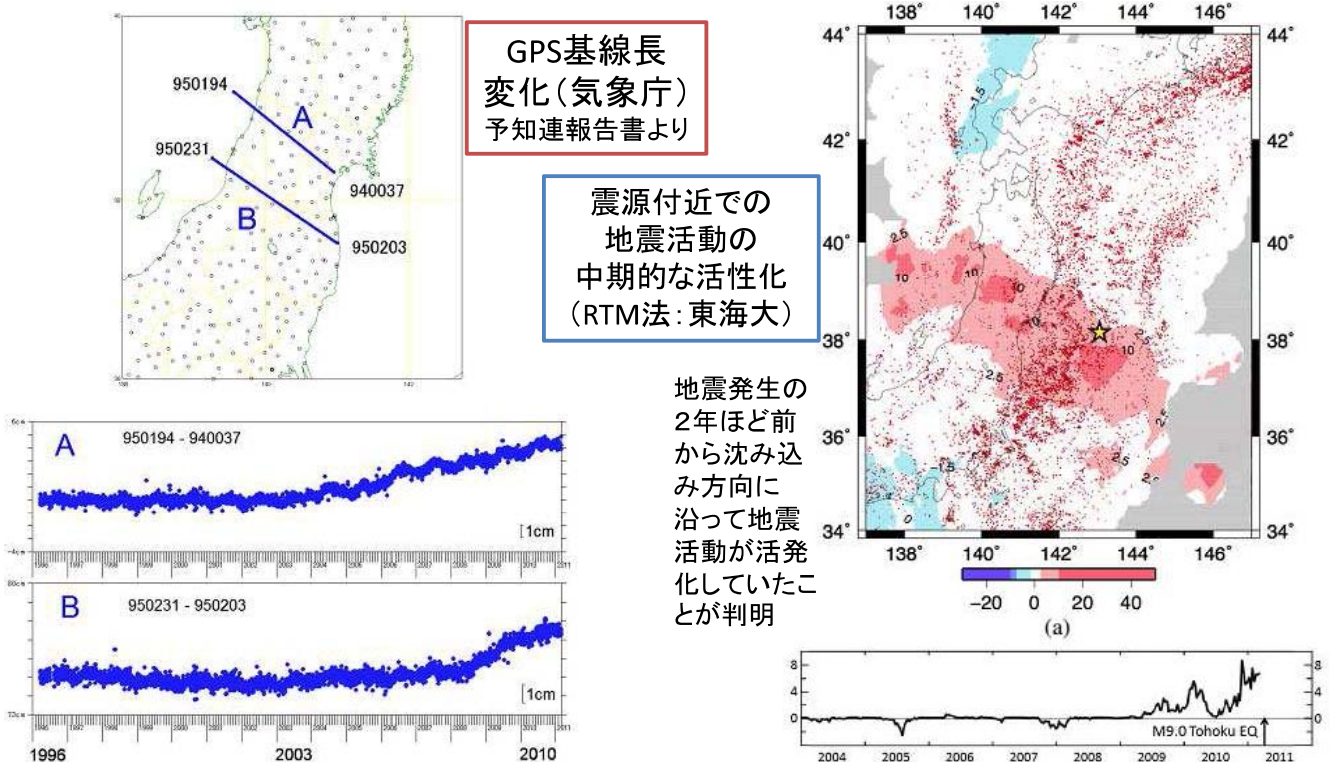


中規模地震の潮汐との同期
(Tanaka, *GRL*,2012)

震源付近での地震活動の長期的な静穏化 (RTM法:東海大)

2011年東北地方太平洋沖地震前の先行現象

数年オーダーの変化



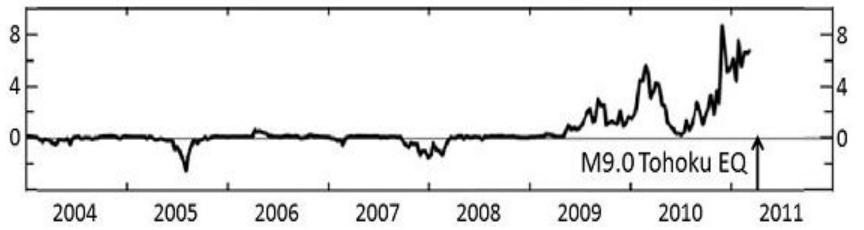
GPS基線長
変化(気象庁)
予知連報告書より

震源付近での
地震活動の
中期的な活性化
(RTM法:東海大)

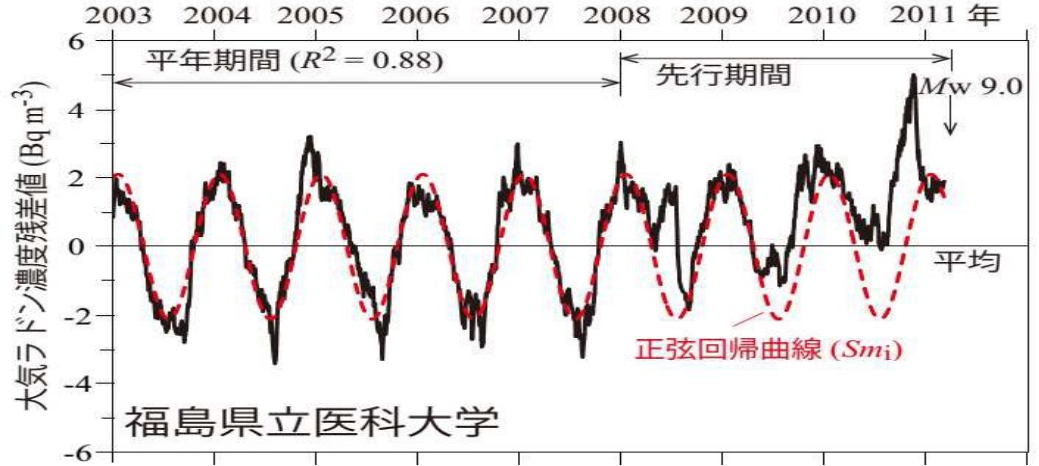
地震発生の
2年ほど前
から沈み込み
方向に
沿って地震
活動が活発
化していた
ことが判明

数年オーダーの変化

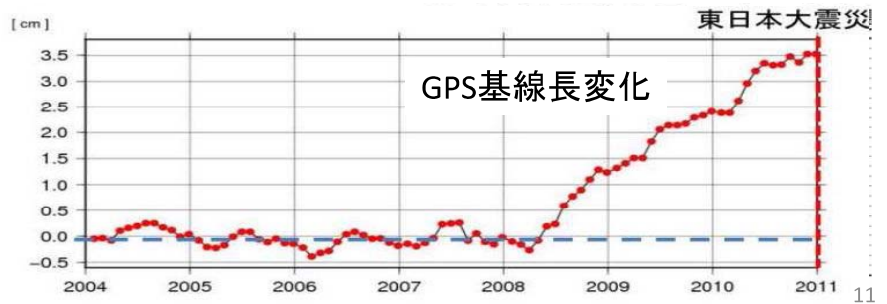
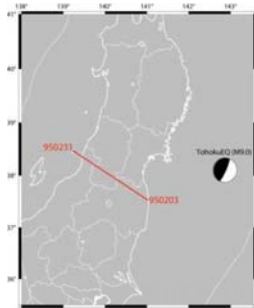
RTM法による地震活動
活性化(東海大解析)



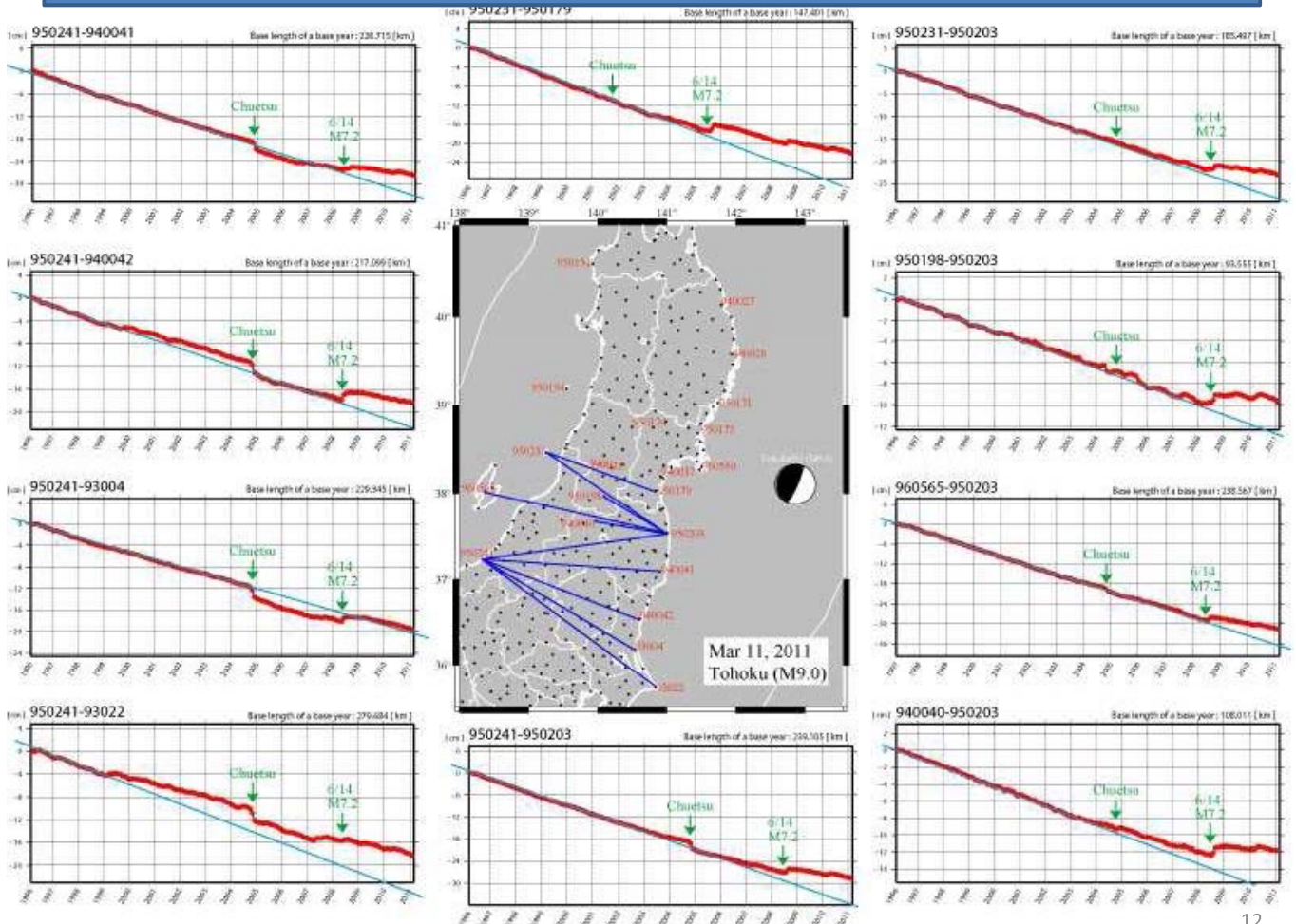
大気中
ラドン濃度変化
長濱(2015)



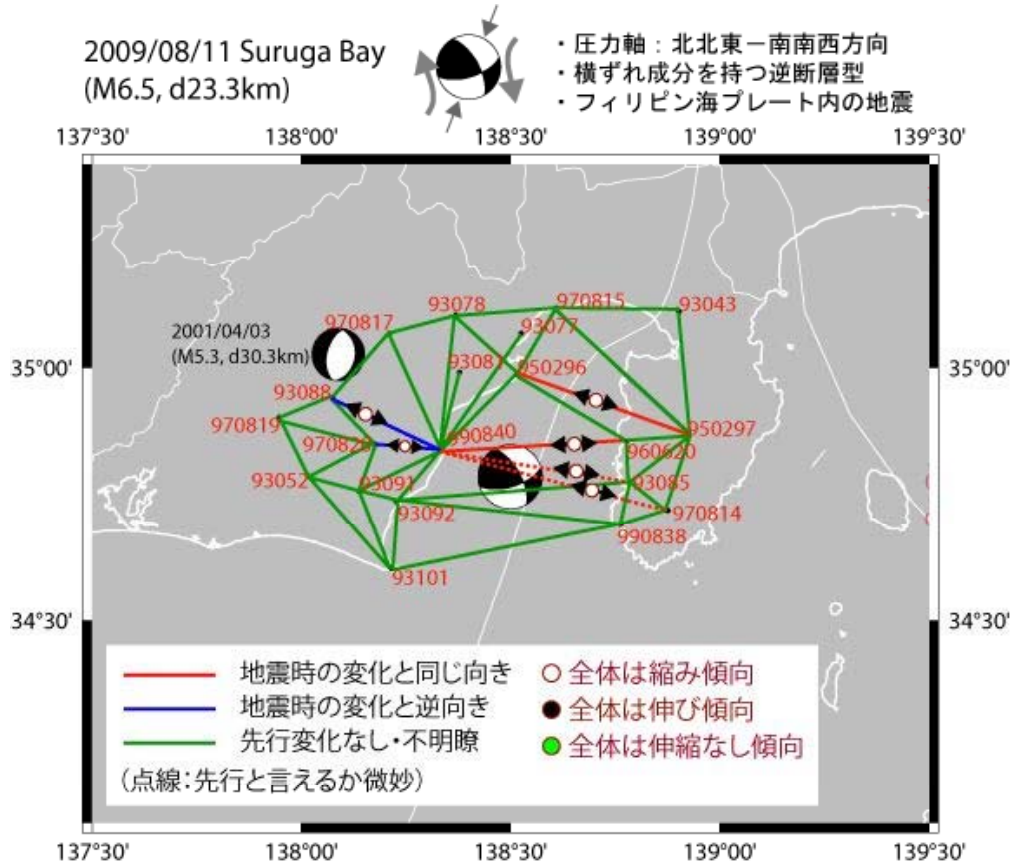
GPS基線長変化
(東海大解析)



東北地方太平洋沖地震前の基線長変化(15年間:1997年—2011年3月)

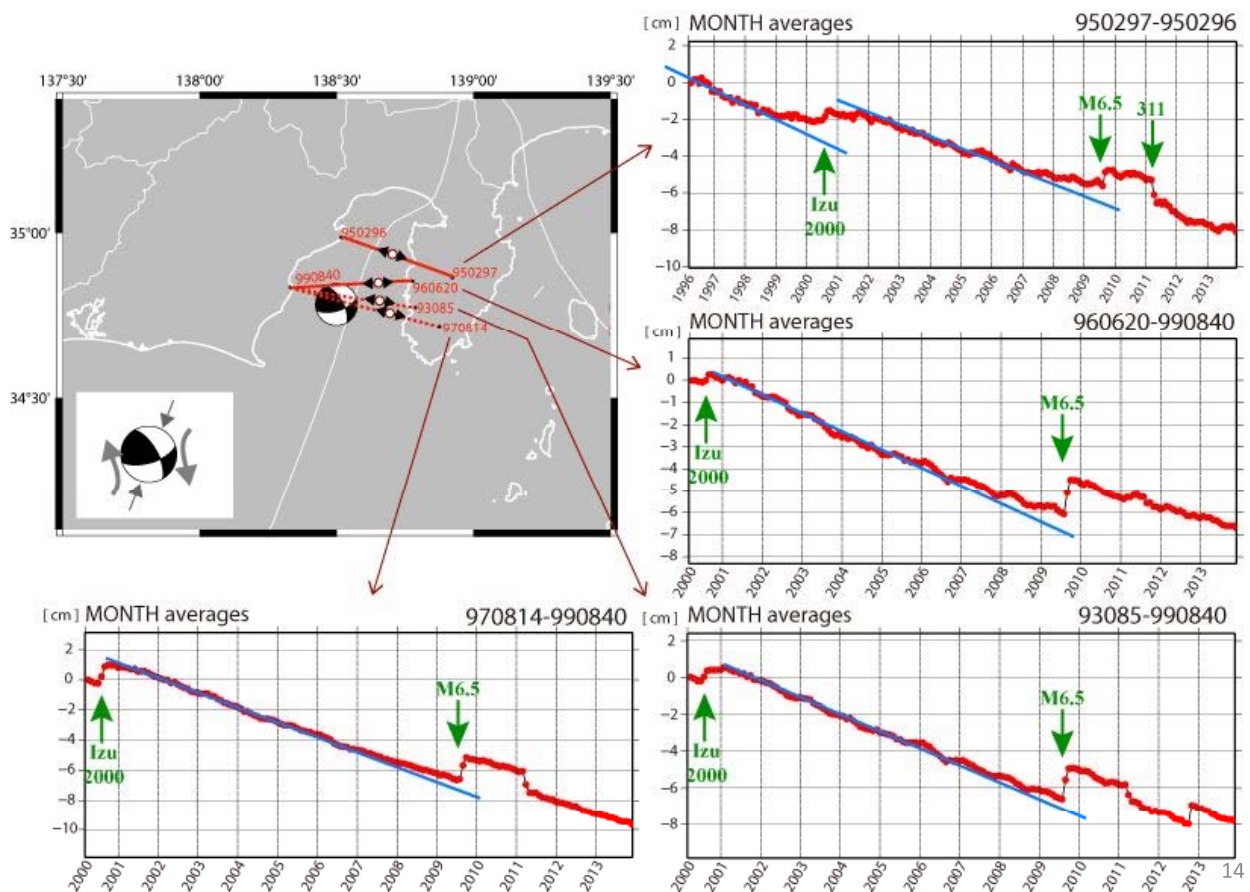


2009年駿河湾地震(M:6.5)を対象に下記の基線長変化を調べた結果、6つの基線で先行する変動があった(赤線と青線)

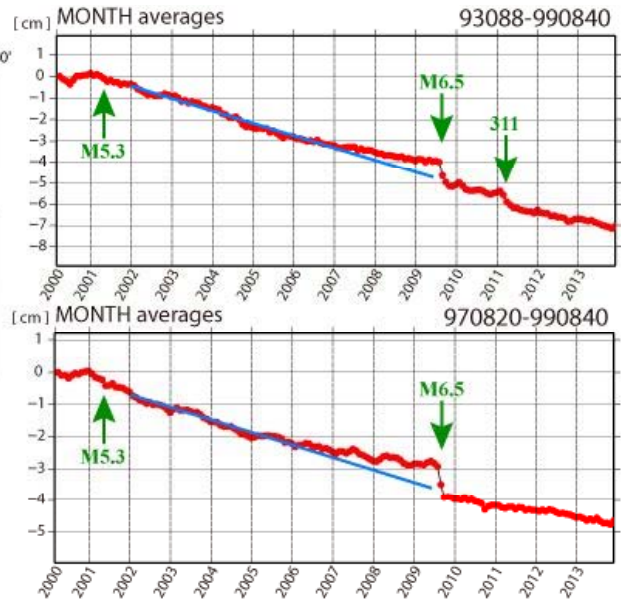
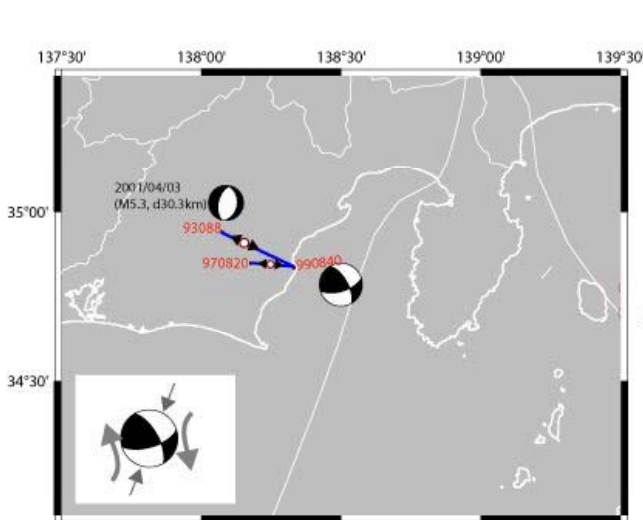


13

- ・変動(トレンドの変化)は1年半~2年程前から
- ・駿河湾地震程度(M6.5)でも、先行する基線長変化が存在する可能性がある



2009年駿河湾地震(M:6.5)



東海大・学芸大での予備的解析結果

期間: 1997年1月1日～2011年3月11日
 場所: 日本周辺(沖縄、小笠原、北方四島海域は除く)
 震源:

- | | | |
|---|-----|-------------|
| (1) 陸域 (M \geq 6.0, 震源の深さd \leq 50 km)... | 6個 | |
| (2) 陸域・海域境界 (M \geq 6.0, 震源の深さd \leq 50 km) | 10個 | |
| (3) 海域 (M \geq 7.0, 震源の深さd \leq 50 km)... | 6個 | 17% (311のみ) |

先行的変化

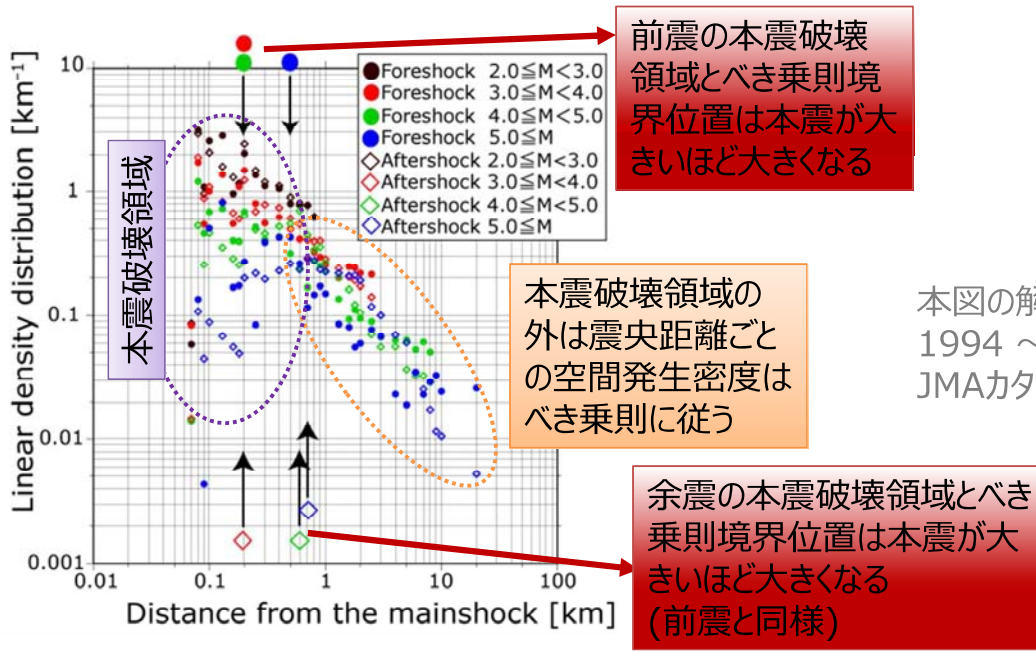
6/6 100%
 5/10 50%

備考: これは地震から見た変動であり、今後は変動がどれくらい起きるものかの検証が最重要

15

新たな目: 地震の準備過程

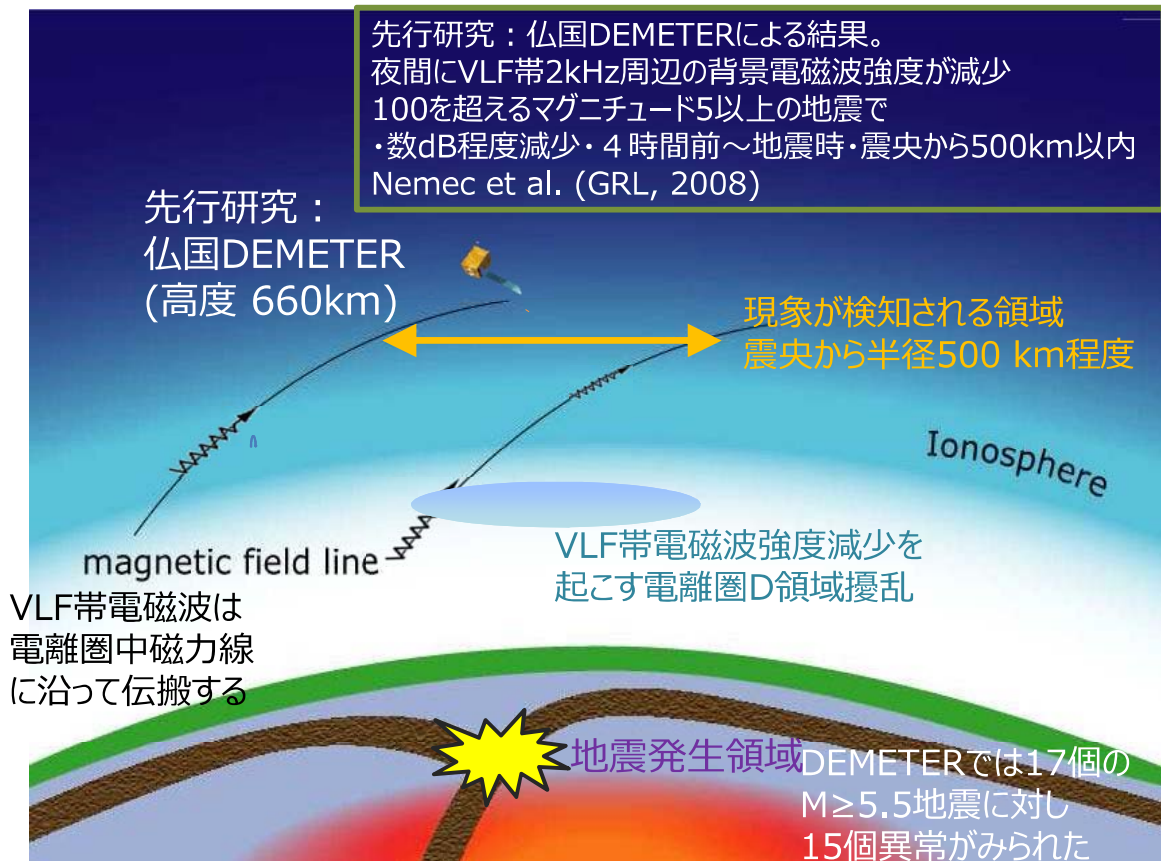
～ 前震と余震の空間発生密度に着目



本図の解析は
 1994～2013
 JMAカタログを使用

余震発生領域と前震発生領域は類似
 大きな地震ほど前震発生領域(～準備領域)が大きい
 →本震前に本震の大きさを判別できる可能性がある

新分野： 衛星観測による電離圏先行現象研究

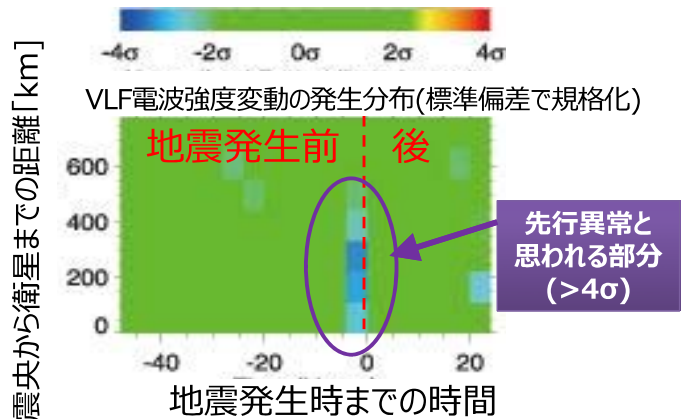


17

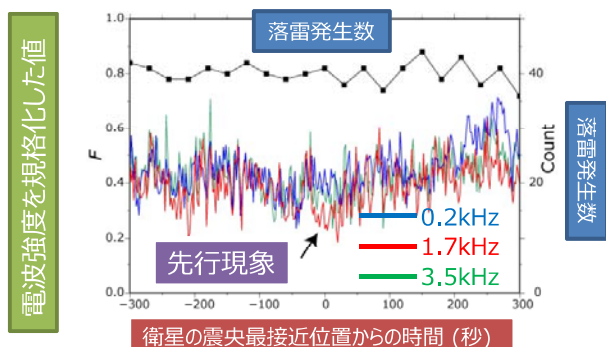
先行現象(衛星その場観測によるVLF帯電波強度減少現象)

DEMETERのVLF電波強度の地震前変動成分 約100地震の事例を重ね合わせると地震発生4時間以内に明瞭な電波強度減少が見える。
 なお乱数地震では変化はみえない。

(Nemec et al., GRL, 2008)



このVLF帯電波強度減少現象は下部電離圏擾乱起因と見られる。
 (落雷データと比較することで解釈可能。Kamogawa et al., JpGU 2015 予定)



2011年東北地方太平洋沖地震4ヶ月前にDEMETER衛星は運用停止し、超巨大地震の事例はないが、先行現象検知事例数が他現象とは圧倒的に多く、統計的有意性は高い。
 衛星観測は世界中の地震を対象にできるため超高効率で研究を推進可能である。

準科学データの活用

「準科学データ」とは？

- 科学目的以外で取得されている数値化されたデータを「準科学データ」とここでは呼ぶ

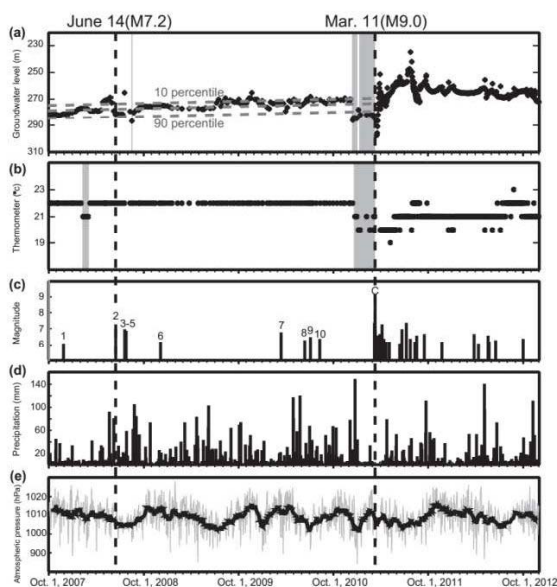
(用途が先行現象検知とは大きく異なる科学データも準科学データとみなす)

- 地下水位・温度など、古くから先行現象検知において有望とされるものが準科学データとして存在
- 観測コストがかかり、科学研究になりにくいデータであるほど準科学データの労力対効果は高い

多種多様な観測がなされていなかった東北地方で準科学データの解析はとりわけ有用であった

19

準科学データを用いた2011年東北地方太平洋沖地震の先行現象 ～温泉・地下水データ(数ヶ月オーダーの現象)



岩手県・五葉温泉の水位低下。2011年東北地方太平洋沖地震の3ヶ月ほど前から10mを超える低下を観測 (Orihara, Kamogawa& Nagao, *Scientific Reports*, 2014)
温泉状況記録データを活用

五葉温泉と宮城県内の2箇所の井戸の水位低下(1ヶ月平均値) 織原 (2015) 地下水位データを活用

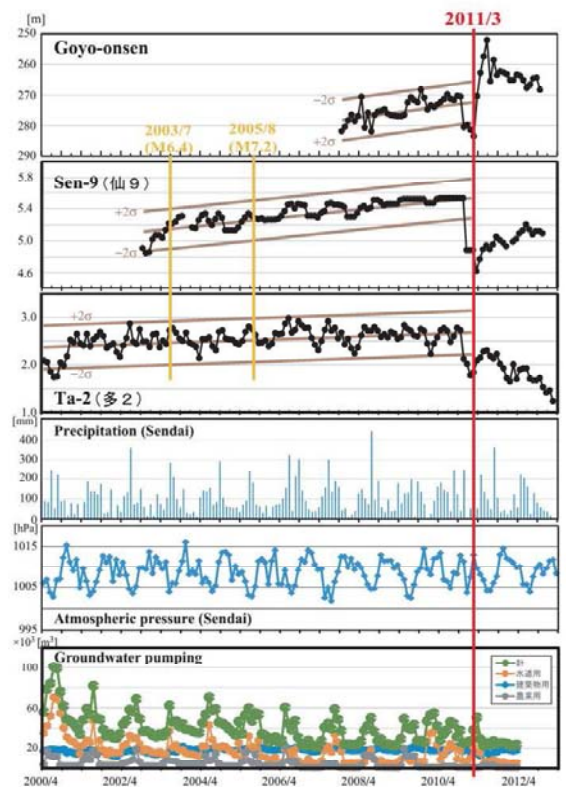
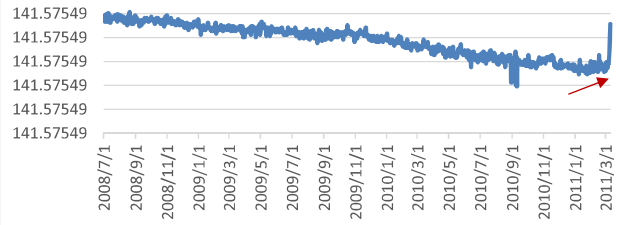


Fig. 5. 地下水位と降水量、気圧、地下水採取量の時系列変化
上から五葉温泉、仙9観測井戸(宮城県生活環境部, 2014)、多2観測井戸(宮城県生活環境部, 2014)の月平均の水位変化、仙台市の月別降水量(JMA)、月別気圧変化(JMA)、そして、宮城県公害防止条例に基づく指定地域内の地下水採取量(宮城県生活環境部, 2014)

変動メカニズム

Orihara, Kamogawa and Nagao
(Scientific reports, 2014)

Longitude (Sumita ID: 960546)



2) Depression of confined groundwater (Goyo-onsen)

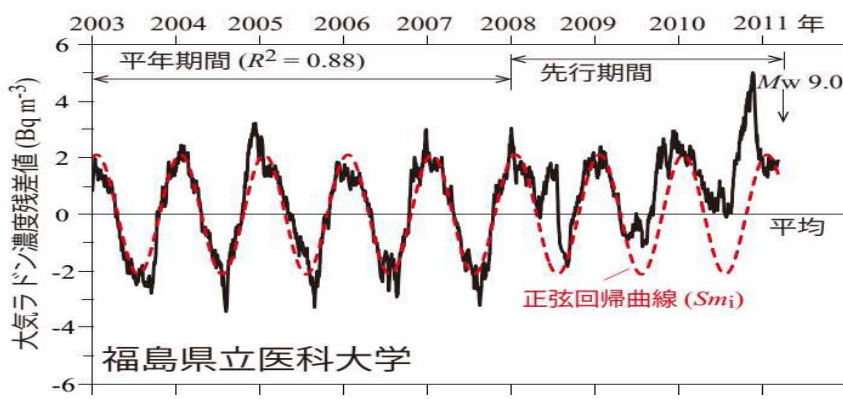
3) Depression of unconfined groundwater (Shogen-ji temple)

地下水位変動時のGPS測位変化は極めてわずか。

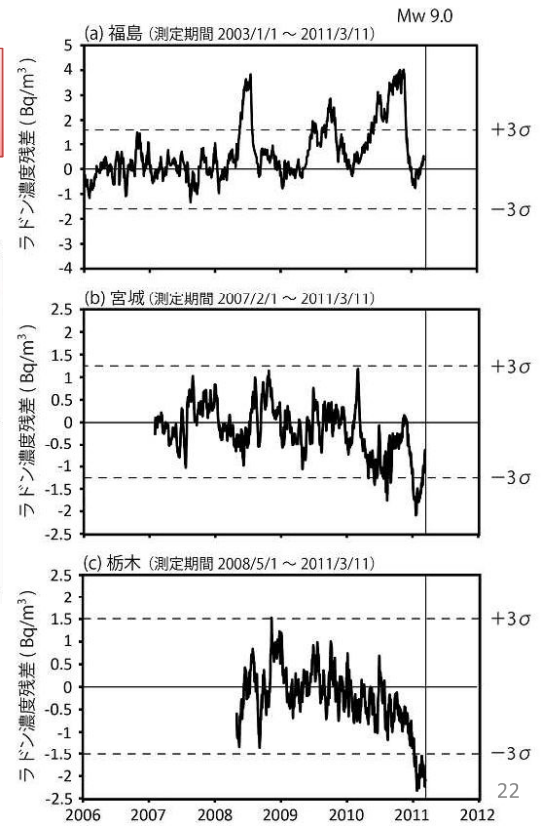


準科学データを用いた2011年東北地方太平洋沖地震の先行現象 ～大気中ラドン濃度 (数年オーダーの現象)

地球科学研究とは大幅に違う目的で取得されている科学データも先行現象研究に活用することが可能



大気中ラドン濃度偏差 長濱ほか(2015)
医学部・薬学部などで取得されている
環境放射能データを活用



2011年東北地方太平洋沖地震を事例にした確率的地震発生予測

宇津（1979）の考えを2011年東北地方太平洋沖地震に適用

A: GPS地殻変動は5年以内の確率を1/10（仮定値）

B: b値や潮汐も5年以内の確率を1/10（仮定値）

C: 地下水は3ヶ月以内の確率を1/10（仮定値）

→ 上記3つの事象が独立な「異常」だった場合、**3日以内に57%、30日以内の場合93%の確率**で大地震が発生するという計算結果が算出できる

今後の研究で上記仮定値を算出できるようになれば
実用的な確率的地震発生予測は射程内となる

23

国の大規模観測インフラの活用

大きな地震にはそれなりの準備過程があり、その準備過程から起こる先行現象は高感度・稠密観測網で検知できる

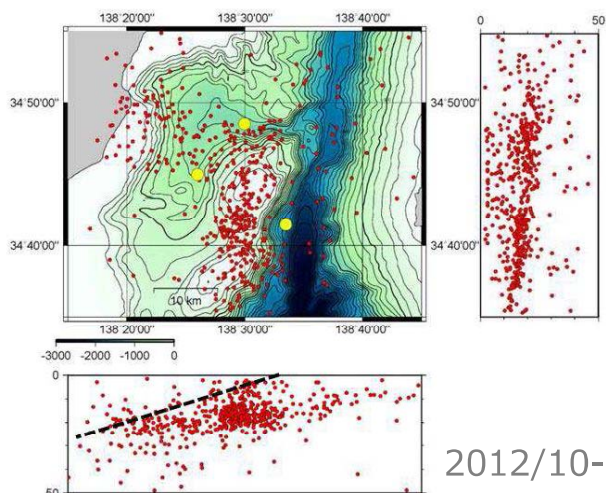
データサイズは膨大

- 微小地震観測網のデータ
（全国1000観測点 × 3成分 × 100 Hz = 300 GB/day）
- GPS連続地殻変動データ（全国1200観測点, 1 Hz）
- 人工衛星からのデータ（SAR, 電離層電子密度・電子温度）
- **データマイニングの重要性**～ビッグデータを監視するシステムは存在しない
→ 専門の組織が必要 地震火山庁
→ 現在の気象庁には火山の専門家はほとんどいないのが実情
→ アメリカもUSGS, フィリピンもPHIVOLCSという組織が地震・火山を担当
- さらには富士山や伊豆等の火山のホームドクター（特性を良く知るホームサイエンティスト）の必要性（研究は人が行うものという認識が国（財務省？）には希薄）

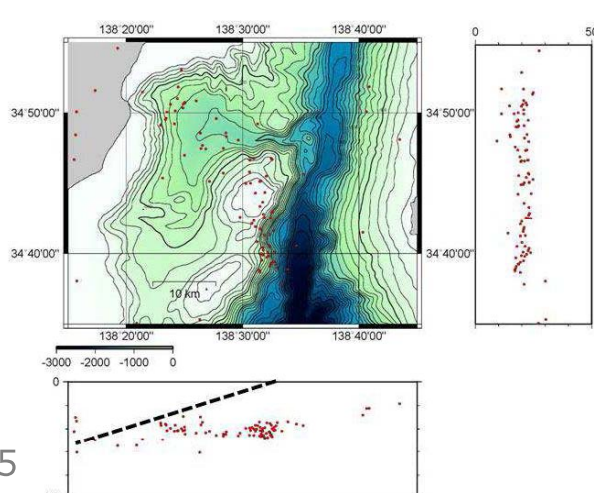
24

駿河湾内での活発な地震活動

東海大海底地震計で検知された地震



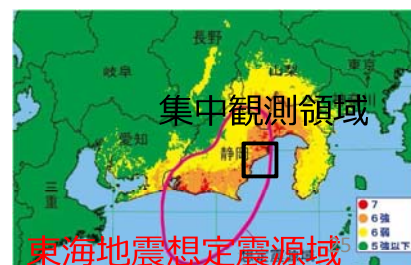
気象庁一元化カタログでの地震



2012/10-2013/5

2009年8月11日M6.5地震の焼津沖余震域での微小地震活動
気象庁一元化カタログよりおよそ10倍の地震を検知
→駿河湾内地震検知は陸域観測では期待されているほど検知できていない

地元研究グループによる高感度地震観測で
東海地震発生予測に資するデータが得られると期待



まとめ：地震発生予測実用化のための提言

- 地震予測は防災の一部**
 静岡の多くの場所では津波到達時間が短く、緊急地震速報も適応外なので
 中・短期地震発生予測は防災の最後の砦
 複数の先行現象検知で実用的な発生予測が実現できる可能性大
- 地震予知不可能説からの脱却**
 近年の高品質なデータをもとに、いまいちど既存の手法に立ち戻る必要あり
 伝統的な地震・測地学データを新たな目でみる必要あり
 地震・測地学とは違う分野にも視野を広げる必要あり
- 国の大規模観測インフラの活用**
 国の地震・GPS稠密観測網のビックデータマイニングだけで多くの先行現象が発見可能
 インフラ投資なしのデータマイニング人材の育成のみで大きな効果
- 準科学データの活用**
 科学用途でないデータにも予測技術として実用性があり、労力対効果が高い
- 地震・火山のホームサイエンティストの育成**
 御嶽噴火前に明瞭な異常を示していた名大データを気象庁および名大自身も活用できなかった反省を活かす。
 東海大が実施している駿河湾海底地震観測実が示すように、駿河湾内の地震観測ですら現状は不十分。国で手が届かないことは地元で行う体制。

最後に:地震・火山は5感を駆使して監視を!

- 近代化以前

短周期地震計、水管傾斜計、水準測量

- 現代の観測

広帯域地震計 → CTスキャン

GPS → 触診?

電磁気観測 → MRI

火山ガス観測 → 鼻

光学観測(監視カメラ) → 目

ミュオン観測 → レントゲン

+ ホームドクター(ホームサイエンティスト)