主成分分析による東北地方太平洋沖地震の前震の余効変動の評価

国土地理院 地理地殻活動研究センター
宇宙測地研究室
宗包　浩志

(3)主成分分析による前震の解析

国土地理院

➢ 動機

- 東北地方太平洋沖地震(3/11)の2日前(3/9)に前震(M7.3)が発生
- 前震のあとに余効変動がみられる(Miyazaki et al., 2011)

✔ 前震・余効変動・本震の位置関係を正確におさえたい

✗ 前震および余効変動とも、kinematic GPSでは精度がぎりぎり

⇩

空間相関のあるシグナルのみを抽出し、S/Nを向上したい

➢ 主成分分析

■ 時系列を空間パターンと、その時間発展の積に展開する
→空間的にコヒーレントなシグナルを抽出できる

$$Z=\sum_{m=1}^{M}\vec{t}_m\vec{X}_m^T=TX^T$$

ただしZは各観測点における時系列を並べた行列；$\vec{t}_m$, $\vec{X}_m$はm次の主成分と固有ベクトル

➔地震に関係ありそうなモードのみを抽出して再構成すれば
S/Nを向上することができる

(3)主成分分析による前震の解析

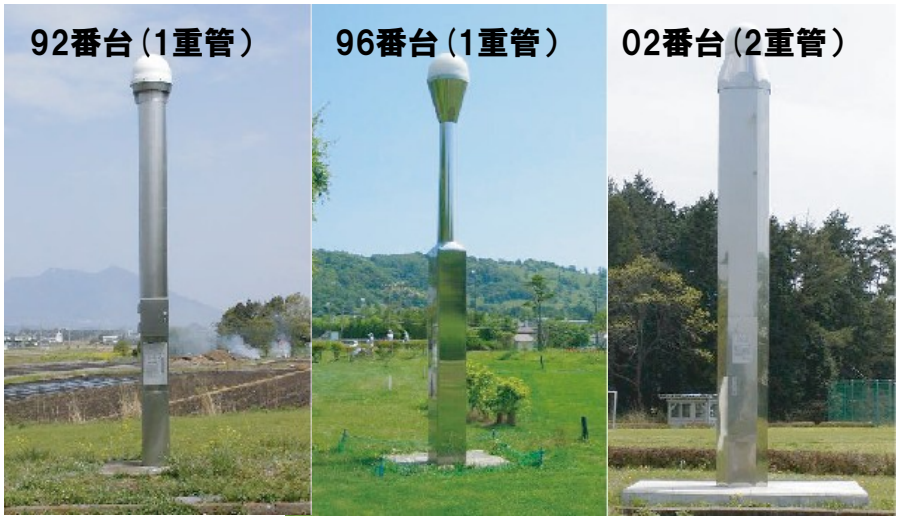
国土地理院

➢ 解析手法

✔ Common Mode Error (CME)の除去:
地震の影響をうけなかった点の座標時系列をスタッキングして補正
CMEから日射の影響(たとえば畑中・他, 2005)を分離するため、
CMEを02番台以降の観測点データから推定

✔ マルチパス誤差の除去:
Sidereal filterで日射の影響が漏れ込むのを防ぐため、位相残差マップ(e.g., Iwabuchi et al., 2004)により補正

✔ 水平二成分が同一の時間関数を持つとして解析

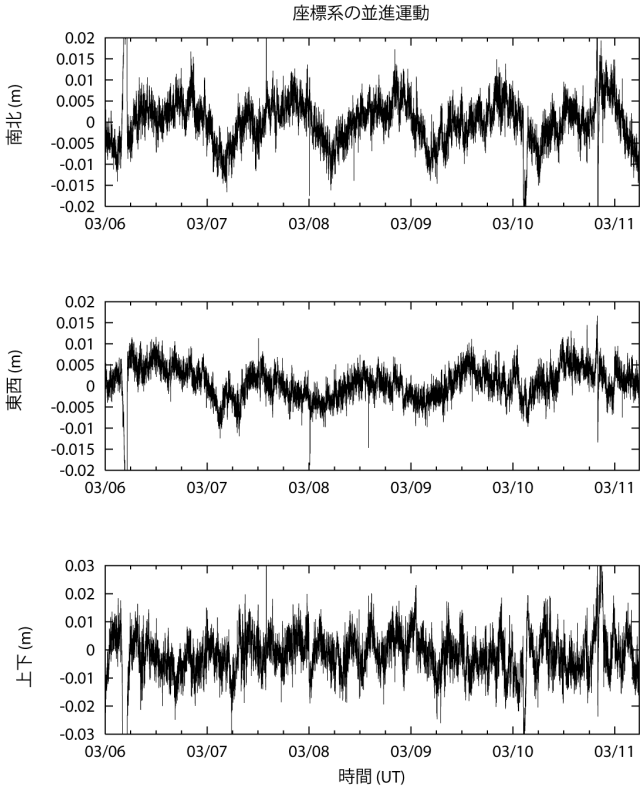


電子基準点のピラーの種類。02番台以降は2重管になっており日射の影響を受けにくい

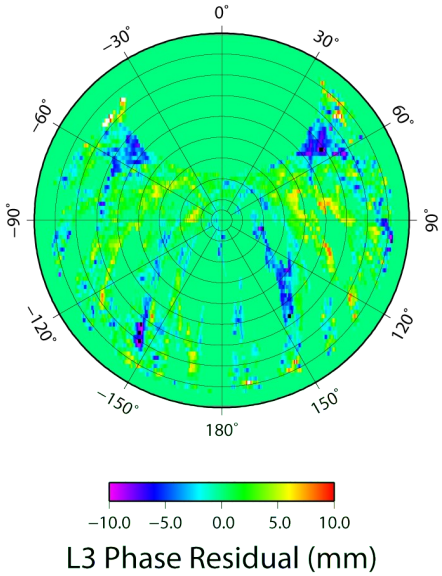
➢ 精度評価

- 東北-関東の計291点:03/06-03/11（地震の直前）までのデータ
- GIPSY-OASIS 6.1によるPPP-Kinematic解析(ambiguity resolved)
- 座標解の再現性を評価

CME時系列



位相残差マップ



オリジナル

成分	再現性（m）
N	0.0113
E	0.00992
U	0.0229

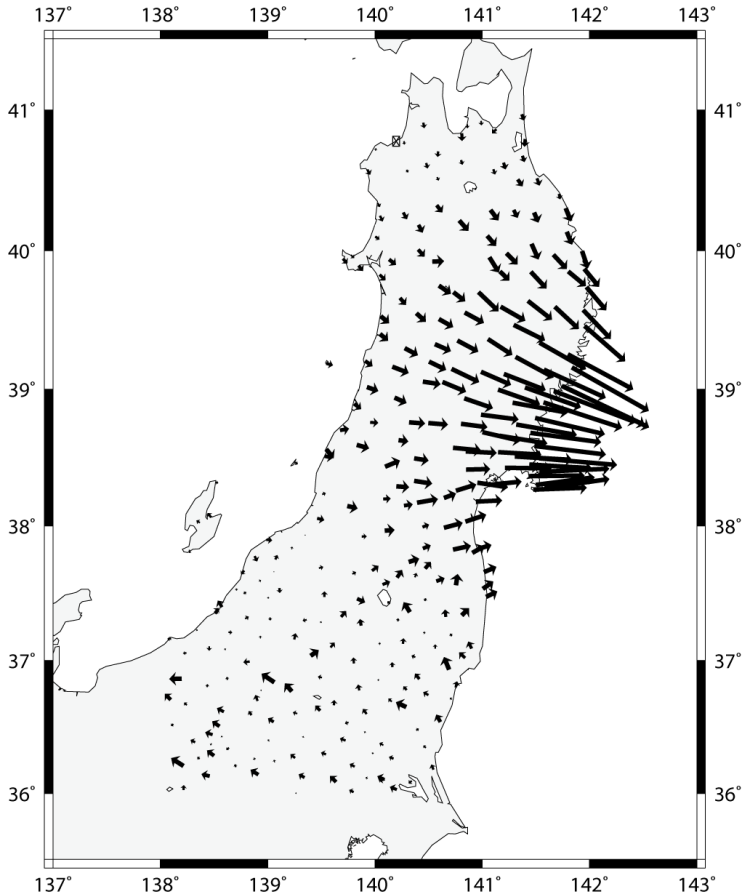
補正後

成分	再現性（m）
N	0.00970(-27.6%)
E	0.00860(-24.8%)
U	0.0192 (-29.7%)

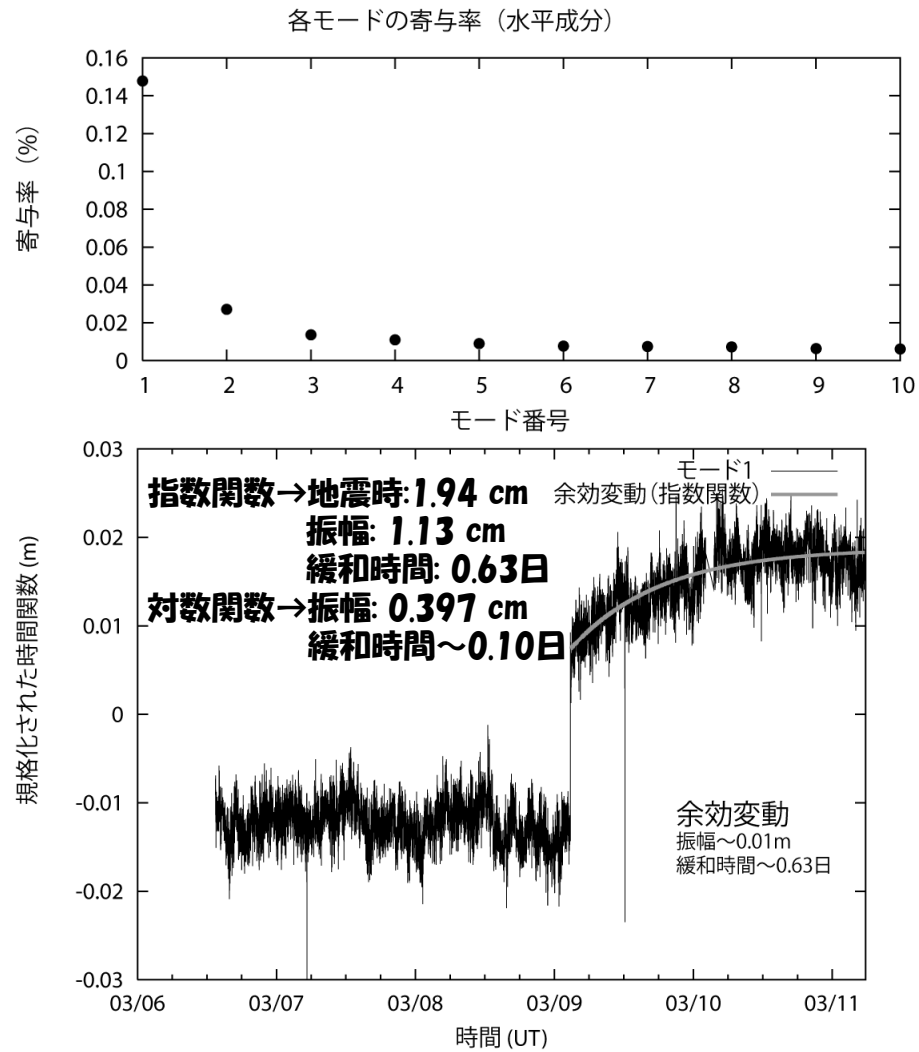
(3)主成分分析による前震の解析

国土地理院

➢ 第1モードの特徴



モード1の固有ベクトル



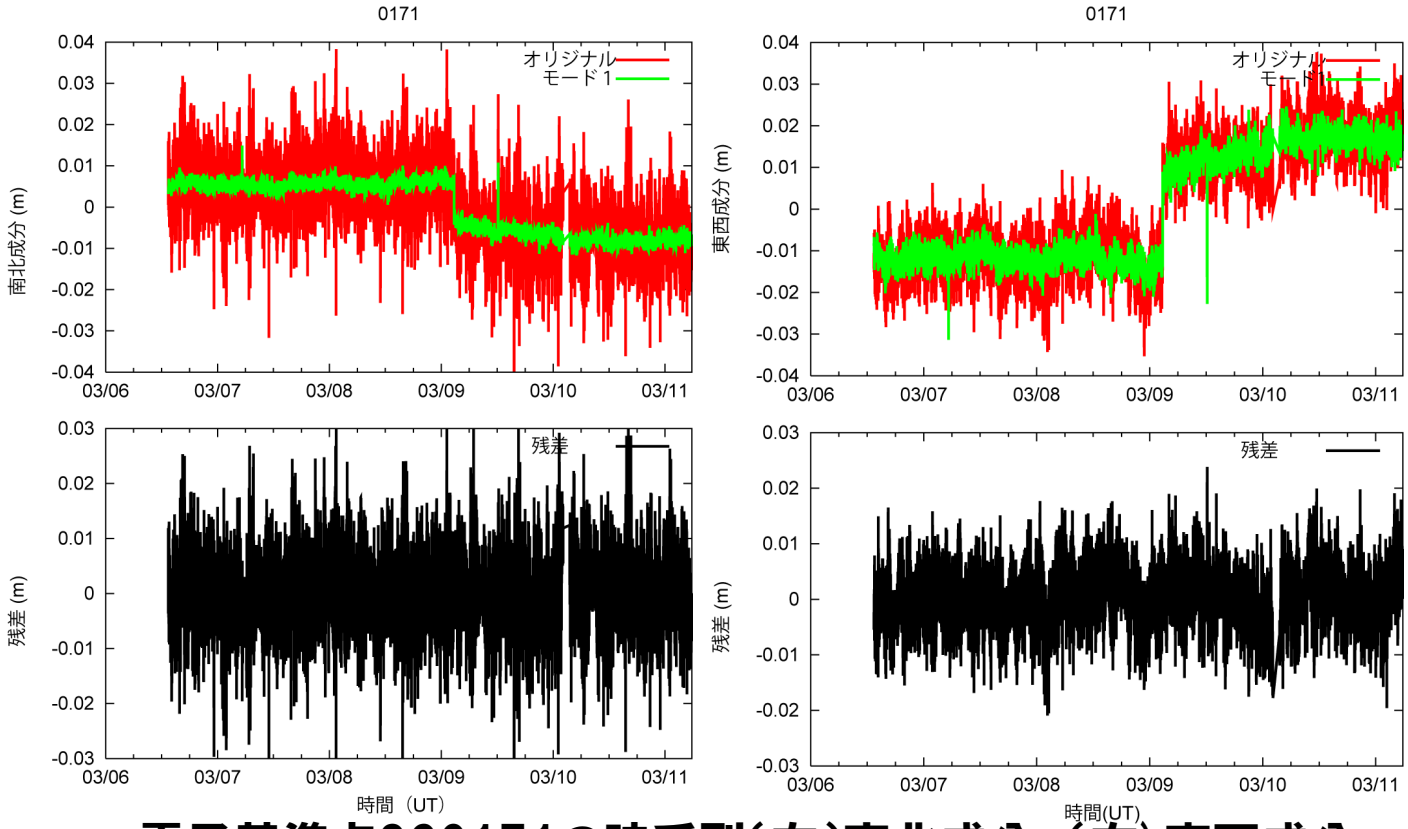
(上)各モードの寄与率(下)モード1の時間関数

余効変動の時間発展は、指数関数でよく記述できる

(3)主成分分析による前震の解析

国土地理院

➢ mode1であらわされる時系列



電子基準点960171の時系列(左)南北成分、(右) 東西成分

1. mode1のみで、Coseismicなステップと余効変動も説明可能
2. Coseismicなステップと余効変動が同じ空間パターンで説明できる

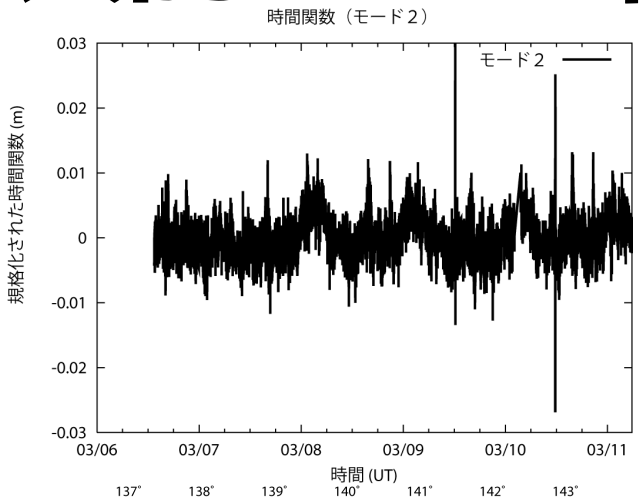
⇩

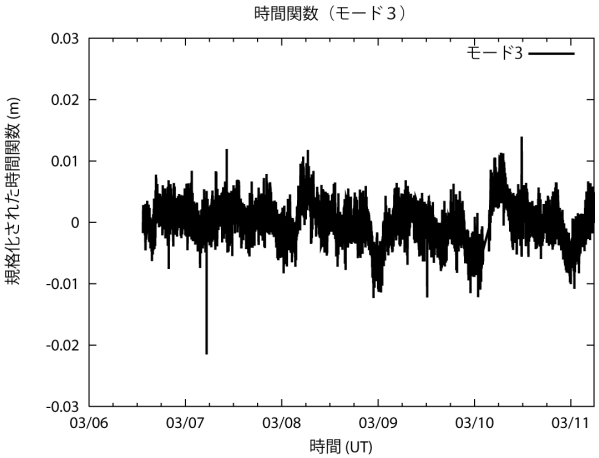
地震時と余効変動のすべり領域の違いが陸上GPSでは区別できない

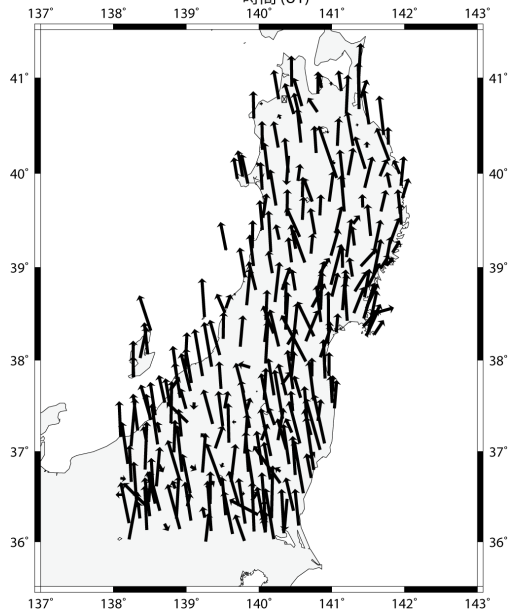
(3)主成分分析による前震の解析

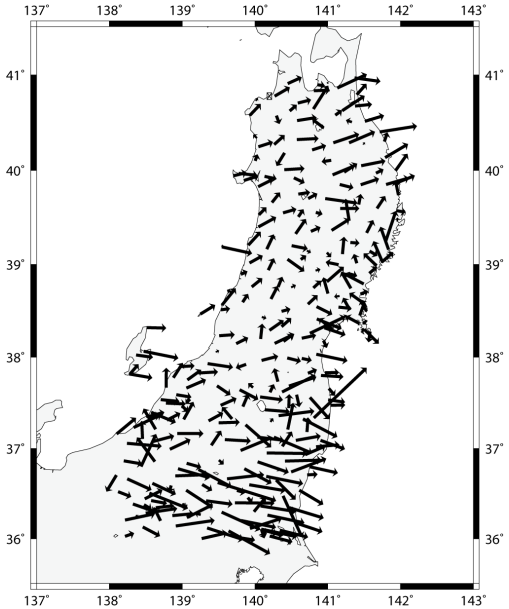
国土地理院

➢ 第2、第3モードの特徴









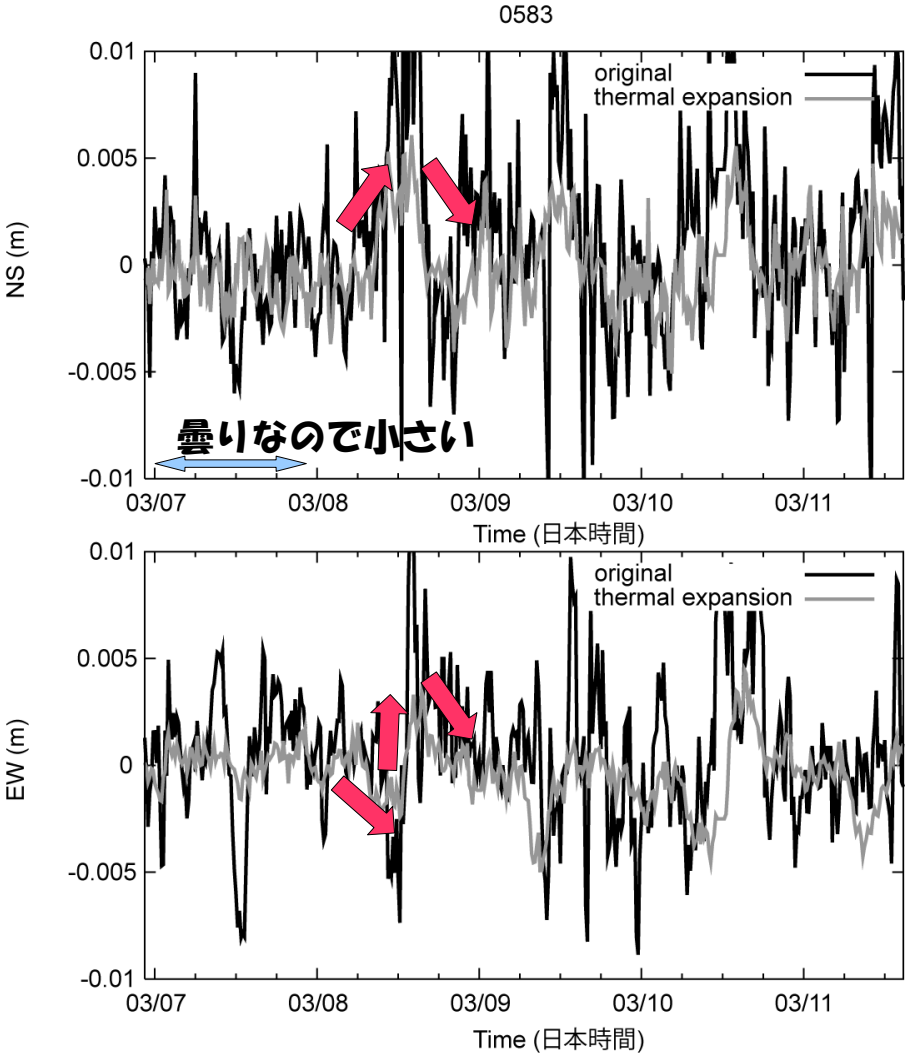
モード2の時間関数(上)と空間分布(下)

モード3の時間関数(上)と空間分布(下)

(3)主成分分析による前震の解析

国土地理院

➢ Mode2+3→日射によるピラー変形



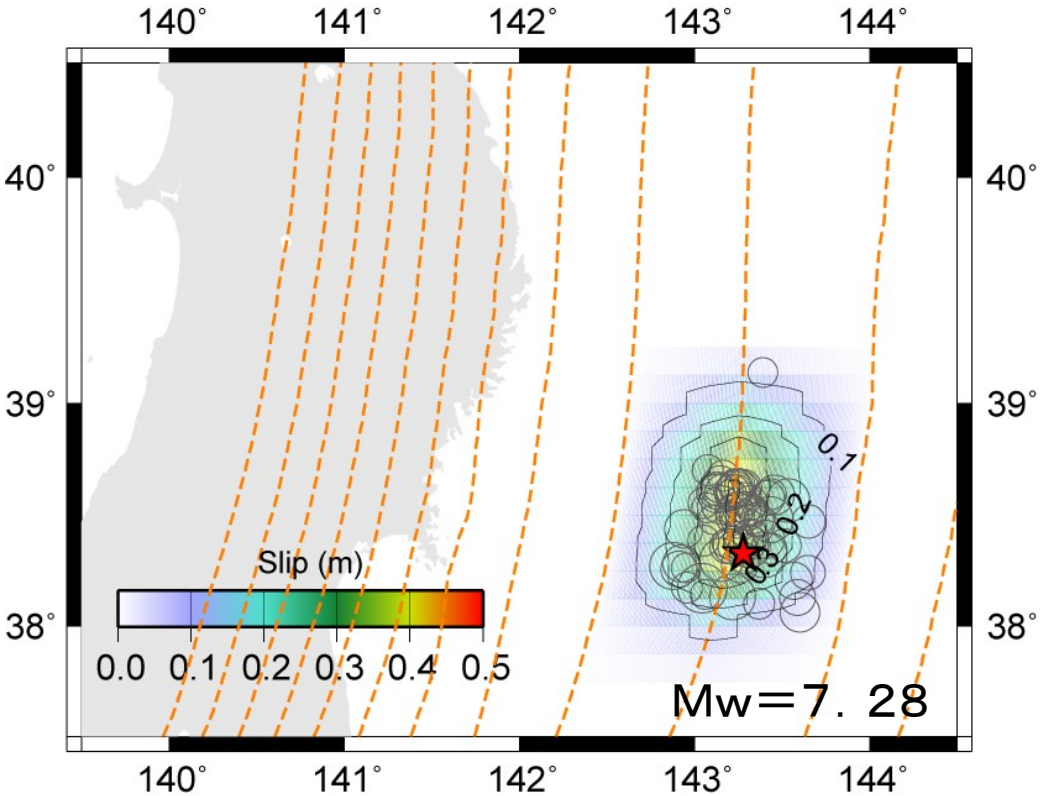
モード2＋3の時系列の例

日射により、電子基準点の太陽に面している側が暖められて膨張し、その逆側に変形するバイメタル効果（畑中・他，2005）により説明できる

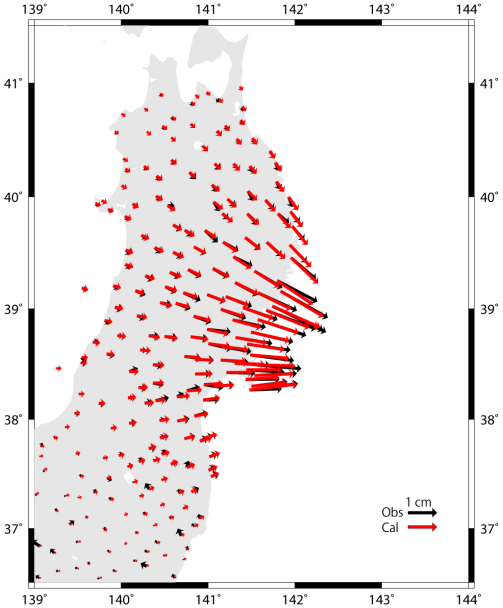
(3)主成分分析による前震の解析

国土地理院

➢ モード1時系列を用いた滑り分布の推定



推定されたすべり分布は余震分布とほぼ一致する。また小繰り返し地震による余効変動すべり領域ともほぼ一致するが、南部における直線的なすべりは捉えられていない。



変動ベクトル

余効変動のモーメントマグニチュード

地震時変動と余効変動がともに1つのモードであらわされるとき、以下のスケーリング則がなりたつ

$$M_0^{afterslip} = M_0^{foreshock}\frac{c}{b}$$

ただしbは第1モードの地震時オフセットでcは指数関数の振幅

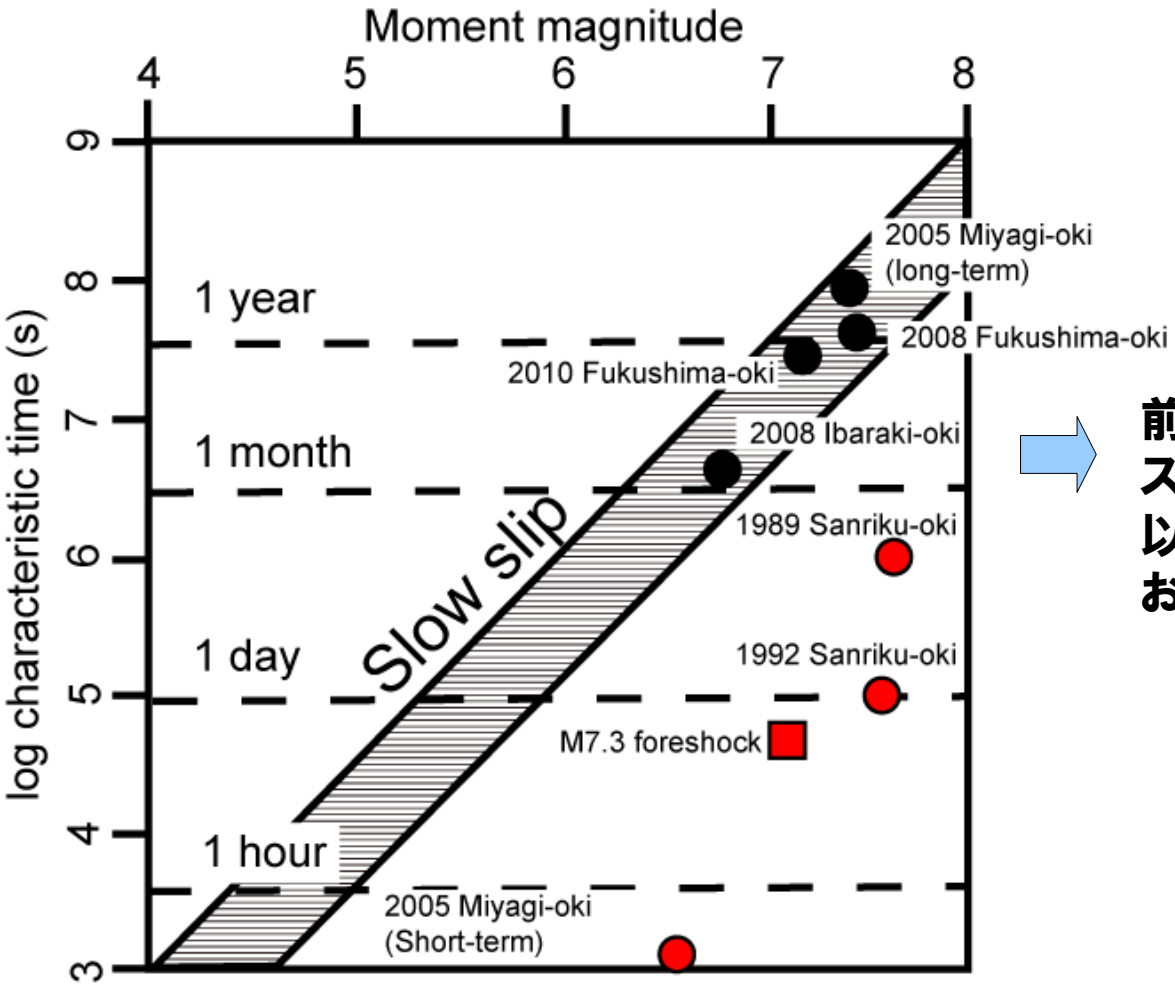
前震のモーメントマグニチュードMw=7.28、b=1.94 cm, c=1.13 cmから

$$M_w^{foreshock} \sim 7.12$$

主成分分析による前震の解析

国土地理院

- ゆっくりすべりのスケーリング則（Ide et al.，2007）との比較



前震の余効変動は、ゆっくり地震のスケーリング則をみたさないが、以前におきた近傍の地震でも、おなじような関係が見られる

Ide (2007) を修正; Suito et al. (2011) および本研究の結果を加筆

結論

- EOF解析は、S/N向上のために簡便かつ有用な手法
  ⇔ ENIF(Segall and Matthews, 1997) etc
- 前震の地震時変動および余効変動はモード1のみでよく記述され、本震直前の異常はみられない
- 余効変動のすべり域は小繰り返し地震のものとほぼ一致。ただし、小繰り返し地震で明らかになった、すべり域南部での、<u>すべり領域の移動や直線的なすべり発展</u>などは陸上GPSでは検知できなかった。
- 余効変動をあらわす主成分は指数関数でよく記述され、本震直前の異常はみられない
- 前震の余効変動は、ゆっくり地震のスケーリング則を満たさないが、以前に近傍で起きた地震も同様である。

謝辞

- プレートモデル：弘瀬＠気象研さんのホームページよりダウンロードしました。プレートのデータは、Nakajima and Hasegawa (2006)によるものです。
- 主成分分析には、qoca (Dong et al., 2006)を使用しました。
- 断層モデル推定：tdefnode (McCaffrey et al., 2009)を使用しました。