

能登半島の地殻変動力源による  
クーロン応力変化の空間分  
布と応力-地震活動モデルに  
基づく地震活動度

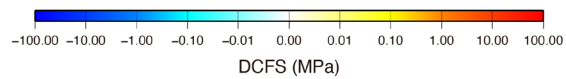
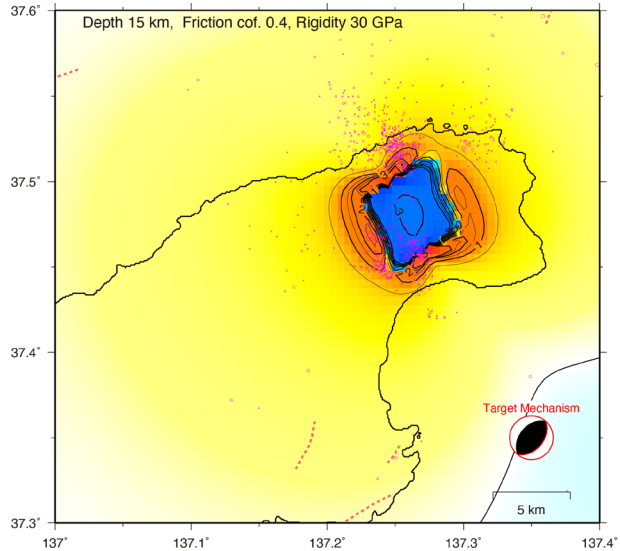
京都大学防災研究所

# クーロン応力 ( $\Delta CFS$ ) と震源分布の比較

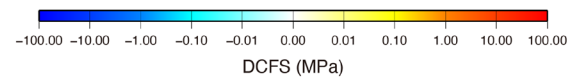
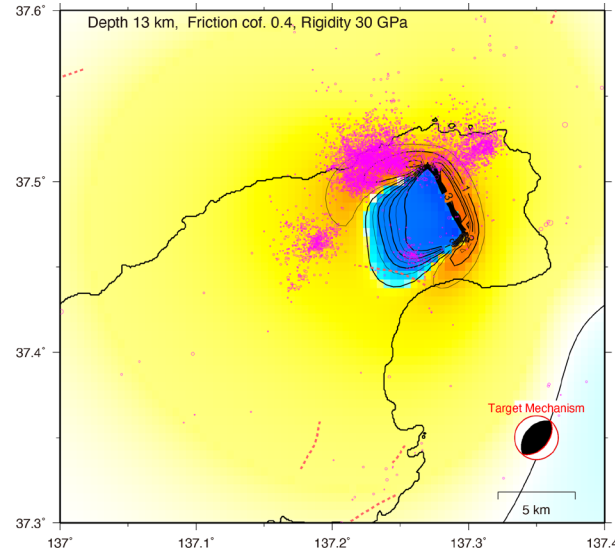
- GNSS統合解析から推定された力源モデル（開口断層、球状圧力源、逆断層）による北東-南西走向、南東傾斜の逆断層（走向 $40^\circ$ 、傾斜 $45^\circ$ 、滑り角 $90^\circ$ ）に対する $\Delta CFS$ を計算。
  - 剛性率は30GPa、摩擦係数は0.4
- 各モデルに共通する特徴
  - 概ね北、東、西のクラスターでは正の応力変化
  - 南クラスターの浅部は負の応力変化
    - 2018年からの浅部の活動の静穏化を説明
- 各モデル異なる特徴
  - 開口断層と逆断層では、断層面及びその直上や直下で顕著な負の応力変化
  - 開口断層と逆断層では、断層の縁の顕著な応力増加域が北や東のクラスターに対応
- 総合的には開口断層モデルがもっとも地震活動と調和的

# 開口断層 (シル) モデルによる $\Delta CFS$

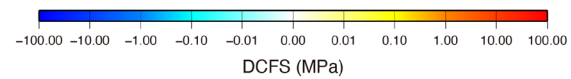
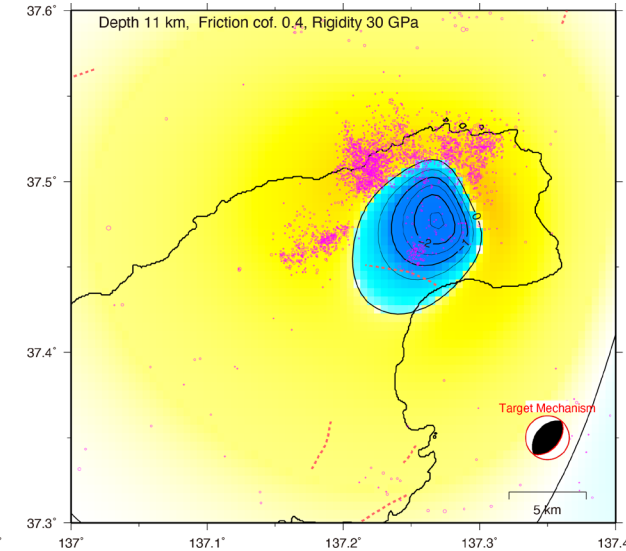
深さ 15km



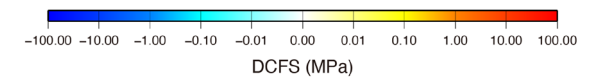
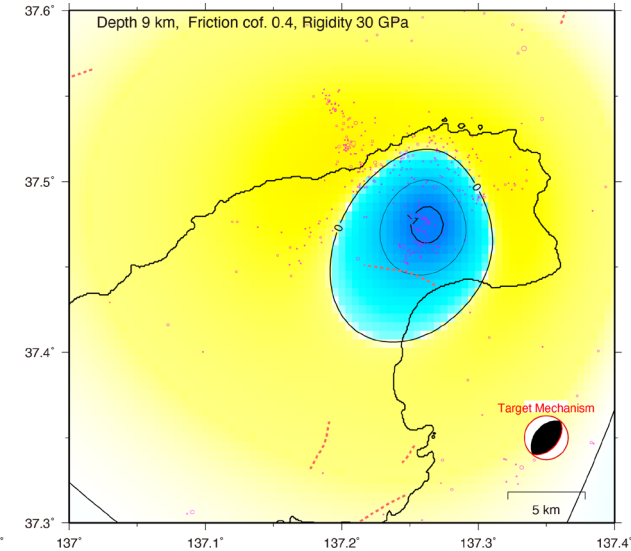
深さ 13km



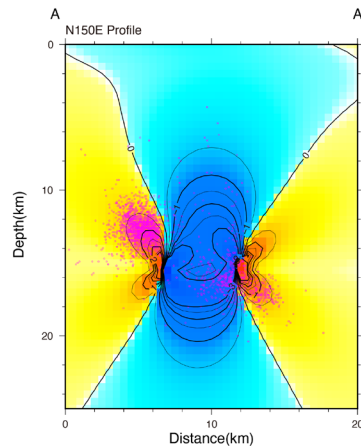
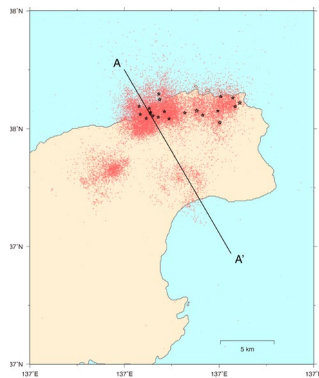
深さ 11km



深さ 9km



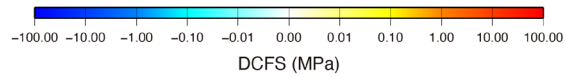
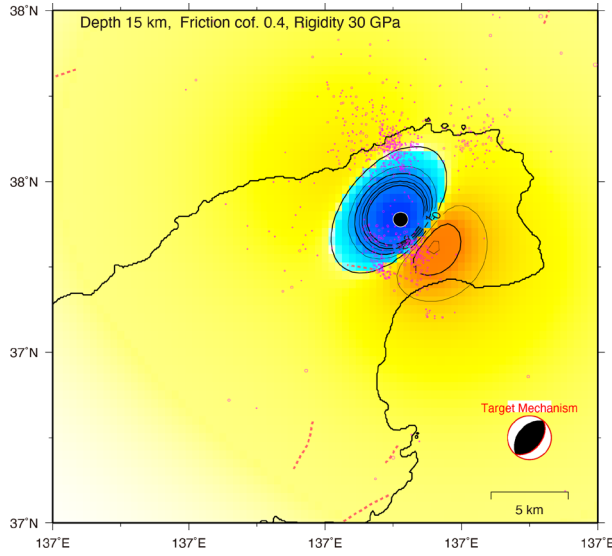
A-A'鉛直断面



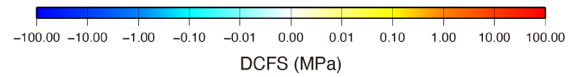
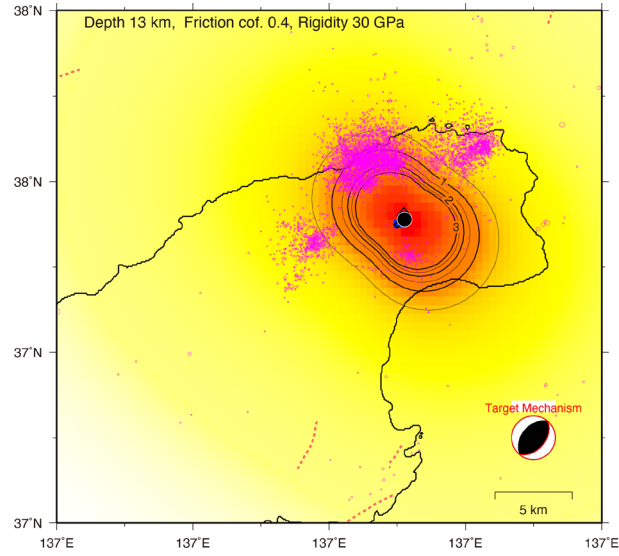
摩擦係数 0.4、剛性率 30GPaを仮定

# 球状圧力源 (茂木) モデルによる $\Delta$ CFS

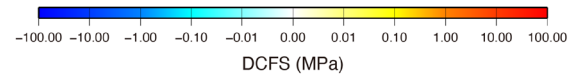
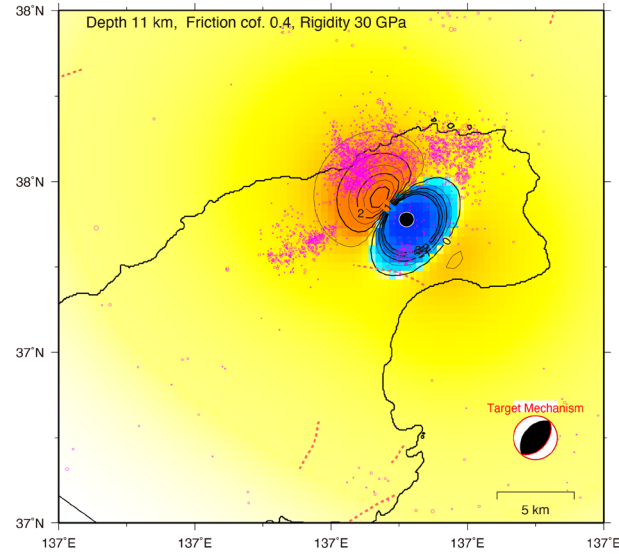
深さ 15km



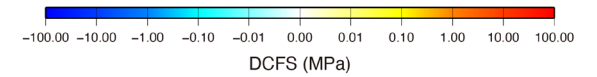
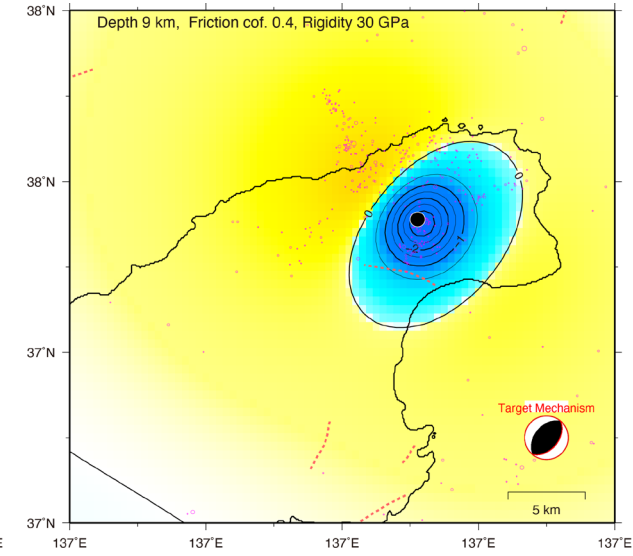
深さ 13km



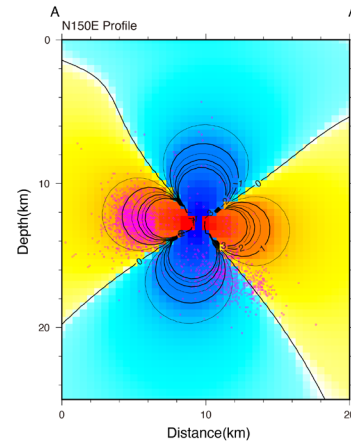
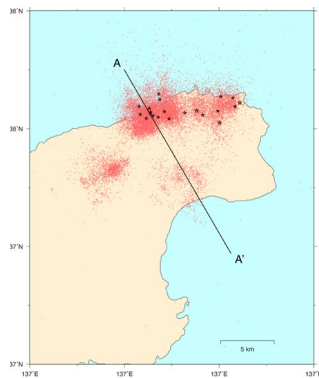
深さ 11km



深さ 9km



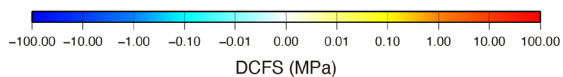
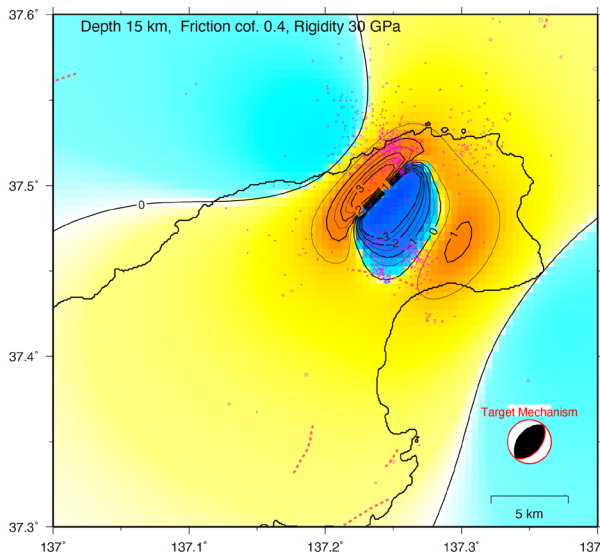
A-A'鉛直断面



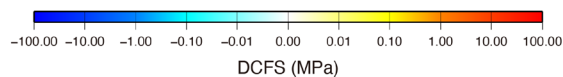
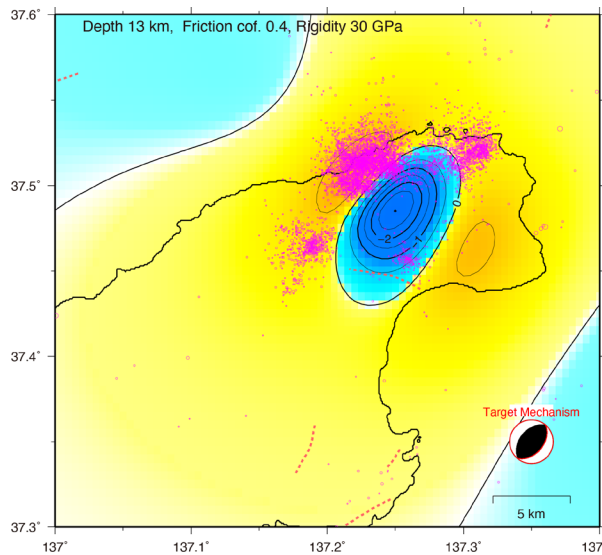
摩擦係数 0.4、剛性率 30GPaを仮定

# 逆断層モデルによる $\Delta CFS$

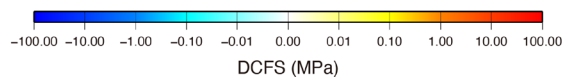
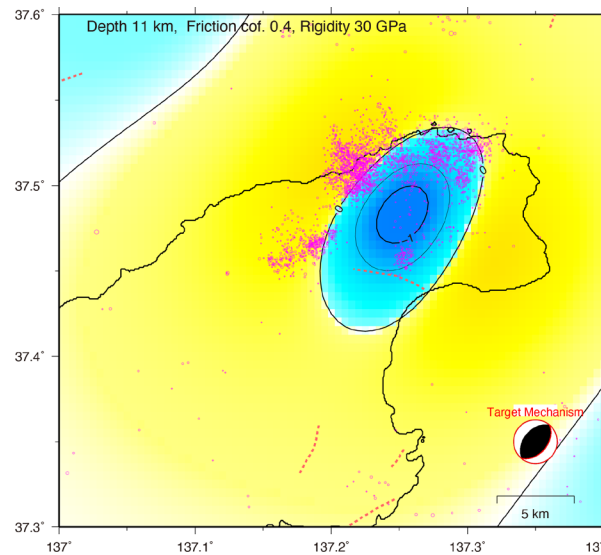
深さ 15km



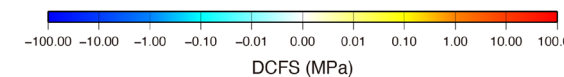
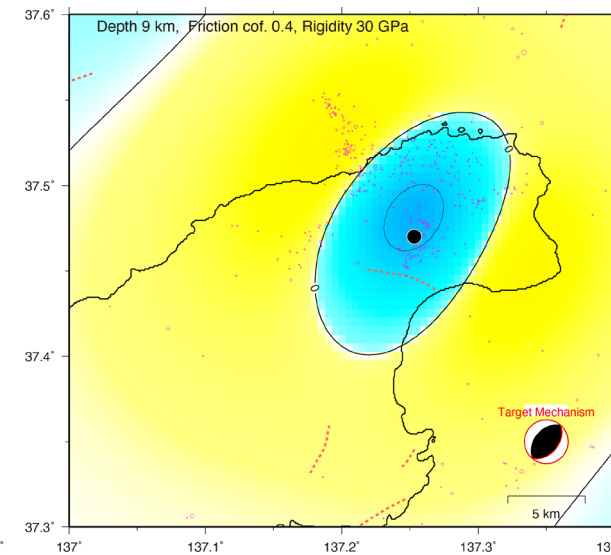
深さ 13km



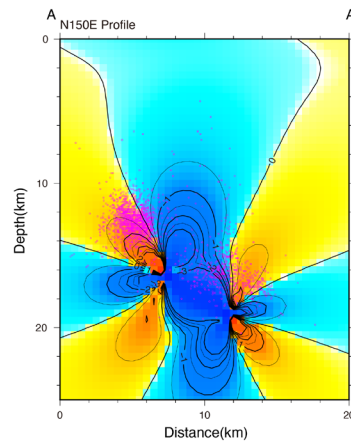
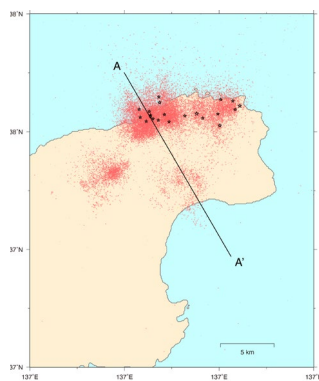
深さ 11km



深さ 9km



A-A'鉛直断面



摩擦係数 0.4、剛性率 30GPaを仮定

# 応力-地震活動度モデルに計算

- 地殻変動源（= 応力源）は移動しないと仮定すると、線形弾性論より地表の地殻変動の時間変化が応力の時間変化と比例する。
- 地表の地殻変動のスタッキング時系列から、1週間ごとの変動率を計算する。群発地震発生域に、2021年2月から2022年2月までの1年間に0.5MPaの応力変化があったと仮定して、応力の変動率を求める。
- 速度・状態依存摩擦則から導かれる地震活動度のモデル(Dietrich, 1994; 遠田, 2002)を用いて、パラメータ（特に）を変えて、地震活動（南側のクラスターを除く）の時間変化と比較する。

$$\frac{R}{r} = \frac{1}{\gamma \dot{\tau}}$$

$$\gamma = \left( \gamma_0 - \frac{1}{\dot{\tau}} \right) \exp\left( \frac{-\Delta t \dot{\tau}}{a\sigma} \right) + \frac{1}{\dot{\tau}}$$

$R$ :地震活動率,  $r$ :背景地震活動率

$\dot{\tau}$ :せん断応力速度,  $\dot{\tau}_r$ :背景せん断応力速度

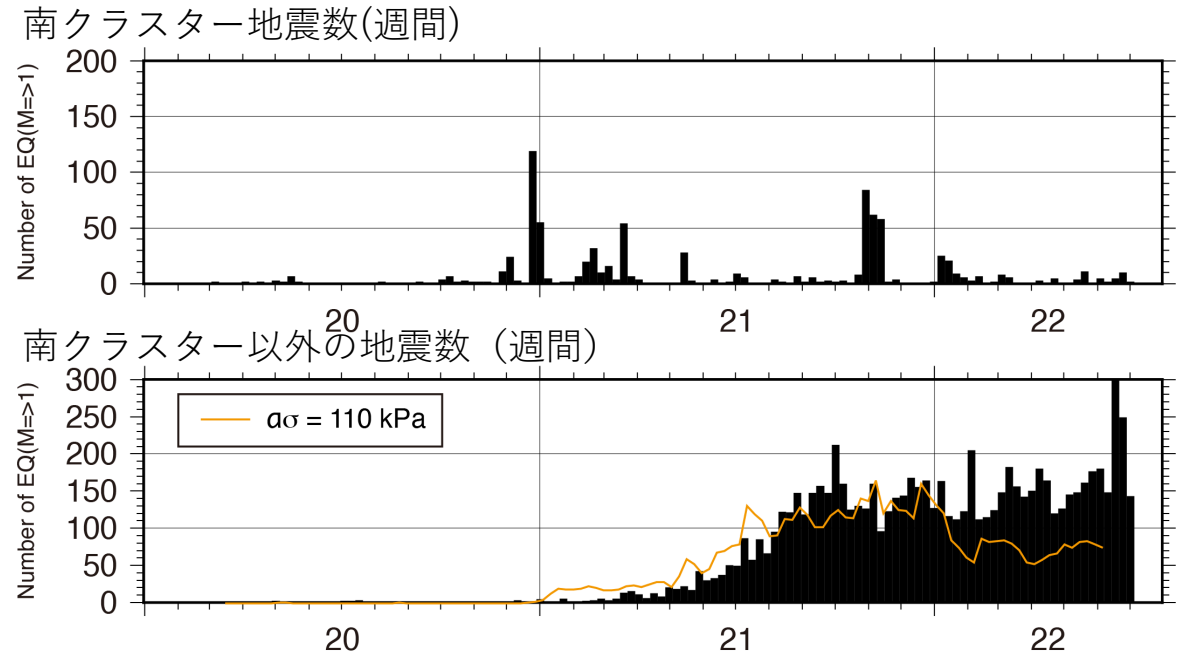
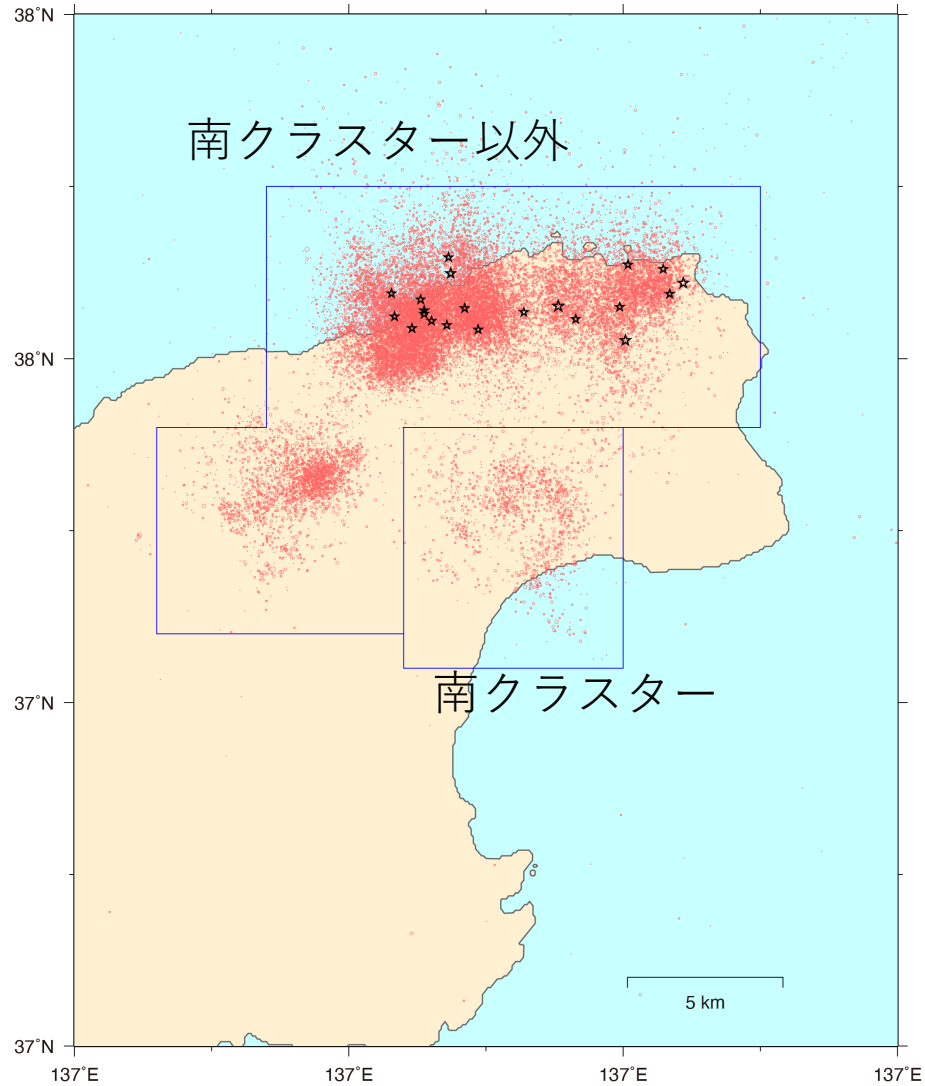
$\gamma$ :状態変数 　ただし、ここではせん断応力のかわりにクーロン応力を使用

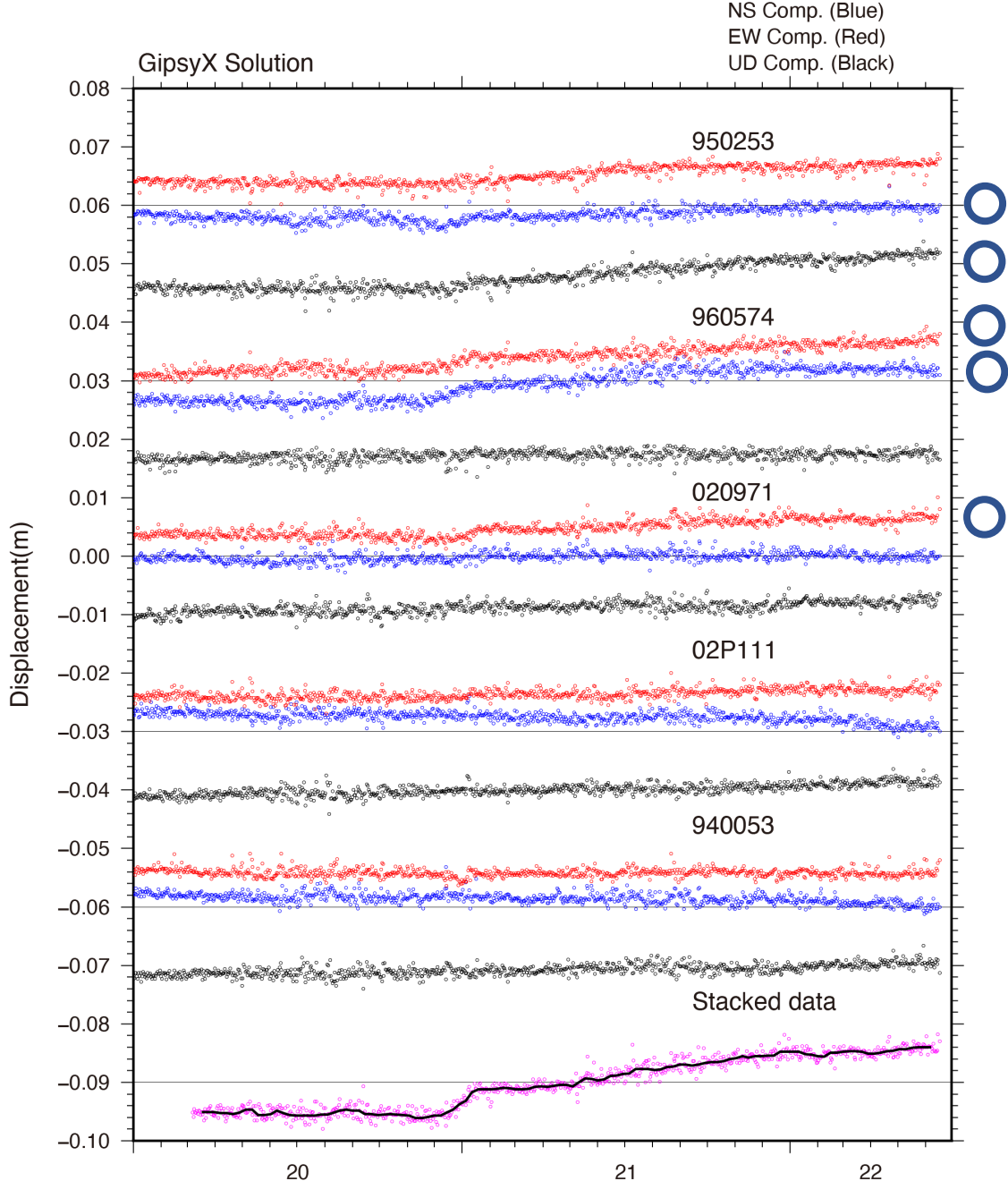
$a$ :摩擦パラメータ

$\sigma$ :法線応力

$\Delta t$ :時間ステップの間隔(7日)

# 地震活動度の時間変化





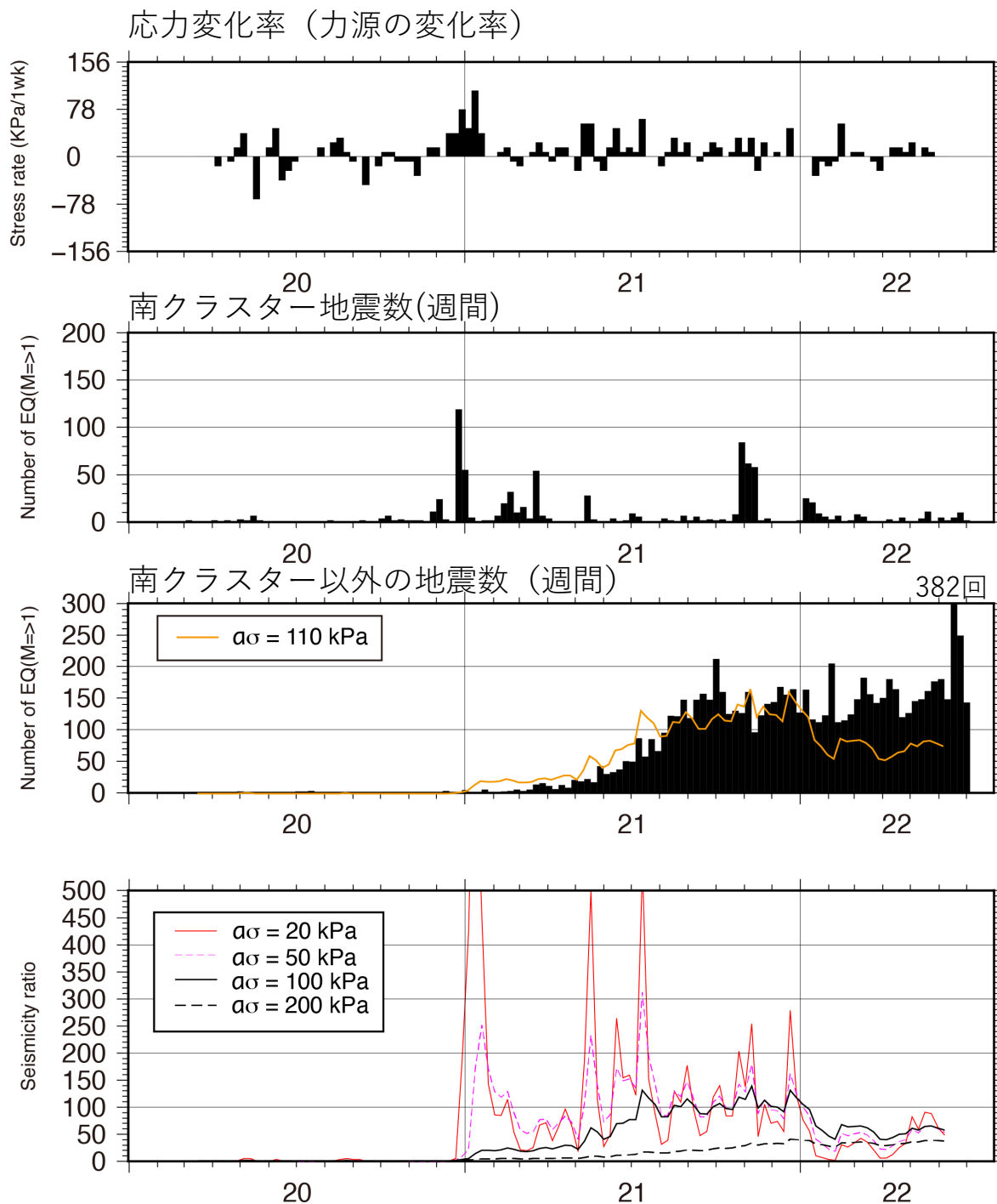
ノイズレベルによる規格化、変動が正に出るように補正後の時系列

## GNSS時系列のスタッキング

- 宮岡・横田 (2012) のスタッキング手法を用いてGNSS時系列をスタッキング
  - 地殻変動源としてシルモデルを仮定
  - 丸をつけた5成分のスタックがSN比最大
- スタッキング時系列の1週間の移動中央値の差分 (黒実線) をとって、変動率を計算



# 応力変化から期待される地震活動率



- 応力変化率の高い時期
  - 2020年12月-2021年1月
  - 2021年5-7月
- 南クラスターの活動は、応力変化率の高い時期に先行？
- 南クラスター以外の地震数は応力変化率より、かなりの時間遅れを伴って増加
  - 2021年の対局的な変化は、下記のパラメータで説明可能  
 $\dot{\tau}_r \sim 5 \text{ kPa/yr}$ ,  $A\sigma \sim 110 \text{ kPa}$ ,  $r \sim 1.2 \text{ EQs/week}$
  - 2022年に入ってから続く高い地震活動は説明できない