

2006年千島列島沖地震の余震活動の 時空間変化とストレス変化

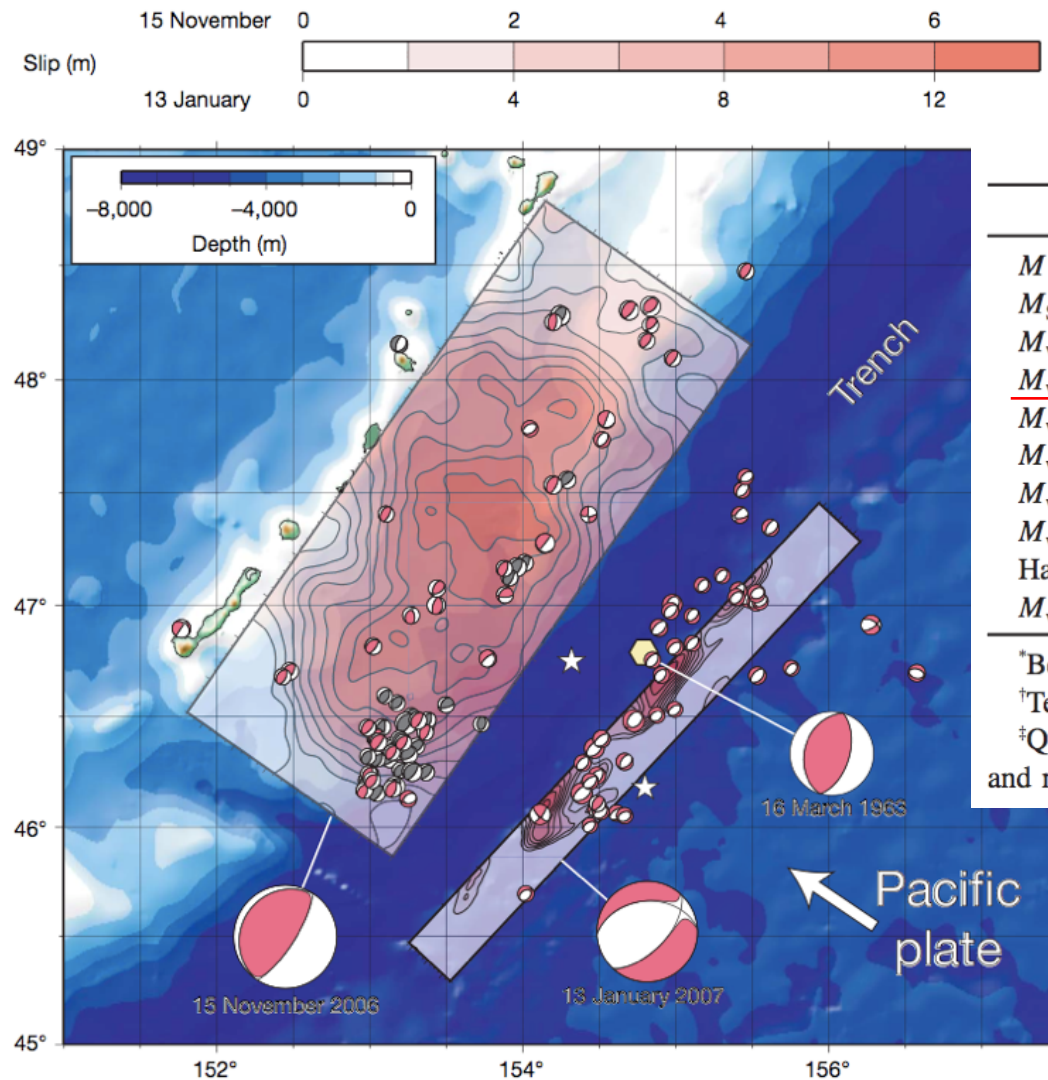
ー アウターライズ地震の前駆すべりの可能性 ー

尾形良彦／遠田晋次

統計数理研究所・総合研究大学院大学

産業技術総合研究所活断層研究センター

双子地震:06年11月プレート境界型地震 + 07年1月アウターライズ地震活動



Comparison of Magnitude (Seismic Moment)

Agency	15 November 2006	13 January 2007
M (JMA)	7.9	8.2
M_S (USGS)	7.8	8.2
M_w (NEIC)*	7.9 (8.7×10^{20} N m)	7.9 (7.8×10^{20} N m)
M_w (Global CMT)*	8.3 (3.4×10^{21} N m)	8.1 (1.65×10^{21} N m)
M_w (Yamanaka, 2006, 2007) [†]	8.2 (2.1×10^{21} N m)	8.2 (2.66×10^{21} N m)
M_w (Yagi, 2006, 2007) [†]	8.1 (1.6×10^{21} N m)	8.1 (1.6×10^{21} N m)
M_w (Ji, 2006, 2007) [†]	8.3 (3.9×10^{21} N m)	8.1 (1.9×10^{21} N m)
M_w (Vallée, 2006, 2007) [†]	8.1 (1.77×10^{21} N m)	8.0 (1.39×10^{21} N m)
Hara (2006, 2007b) [‡]	8.2	8.2
M_w (this study)	8.1 (2.0×10^{21} N m)	7.9 (9.6×10^{20} N m)

*Best double-couple model.

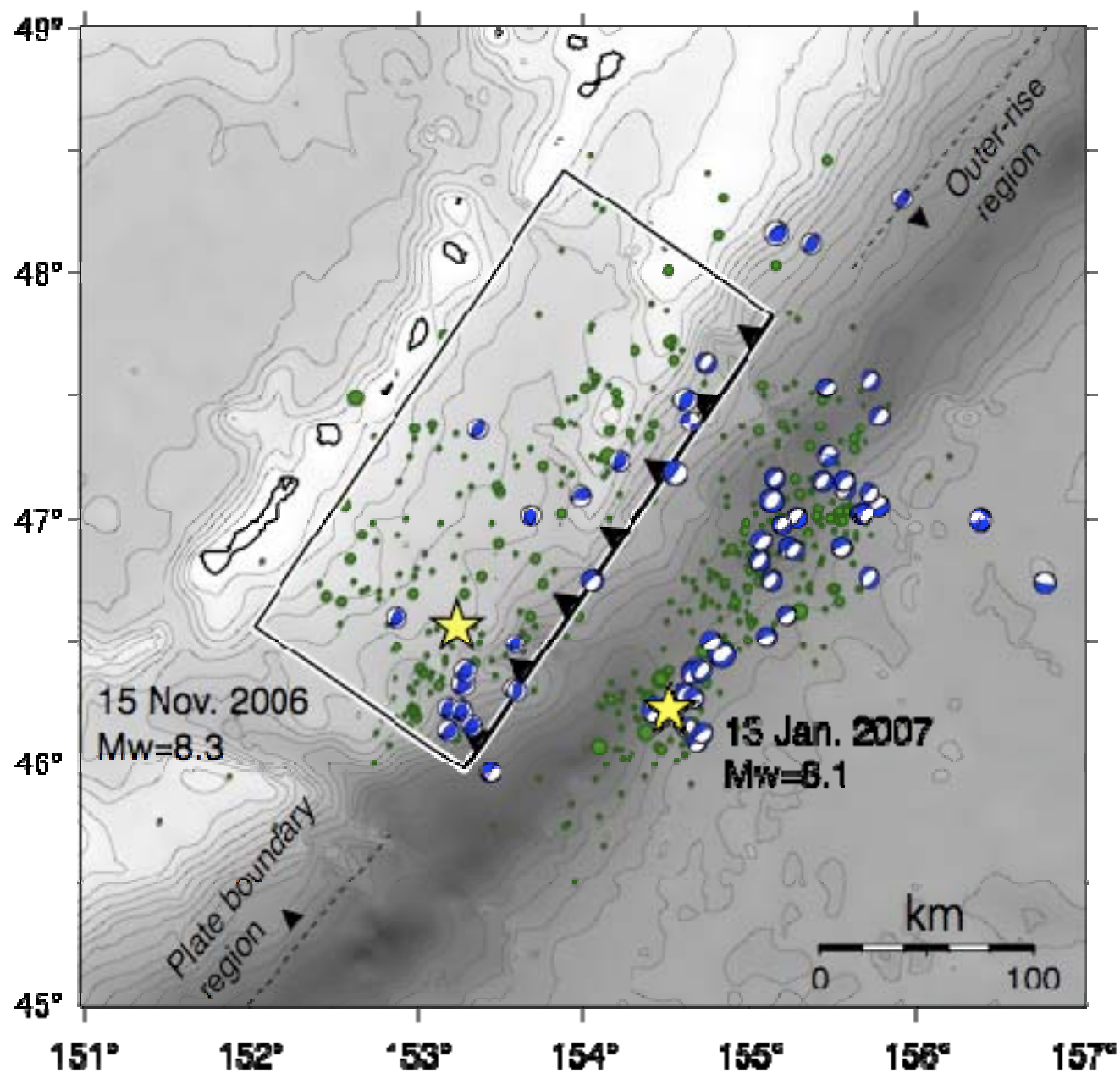
[†]Teleseismic waveform inversion.

[‡]Quick determination of magnitude using duration of high-frequency energy radiation and maximum displacement amplitudes (Hara, 2007a).

Fujii & Satake (2008)

Ammon et al. (2008)

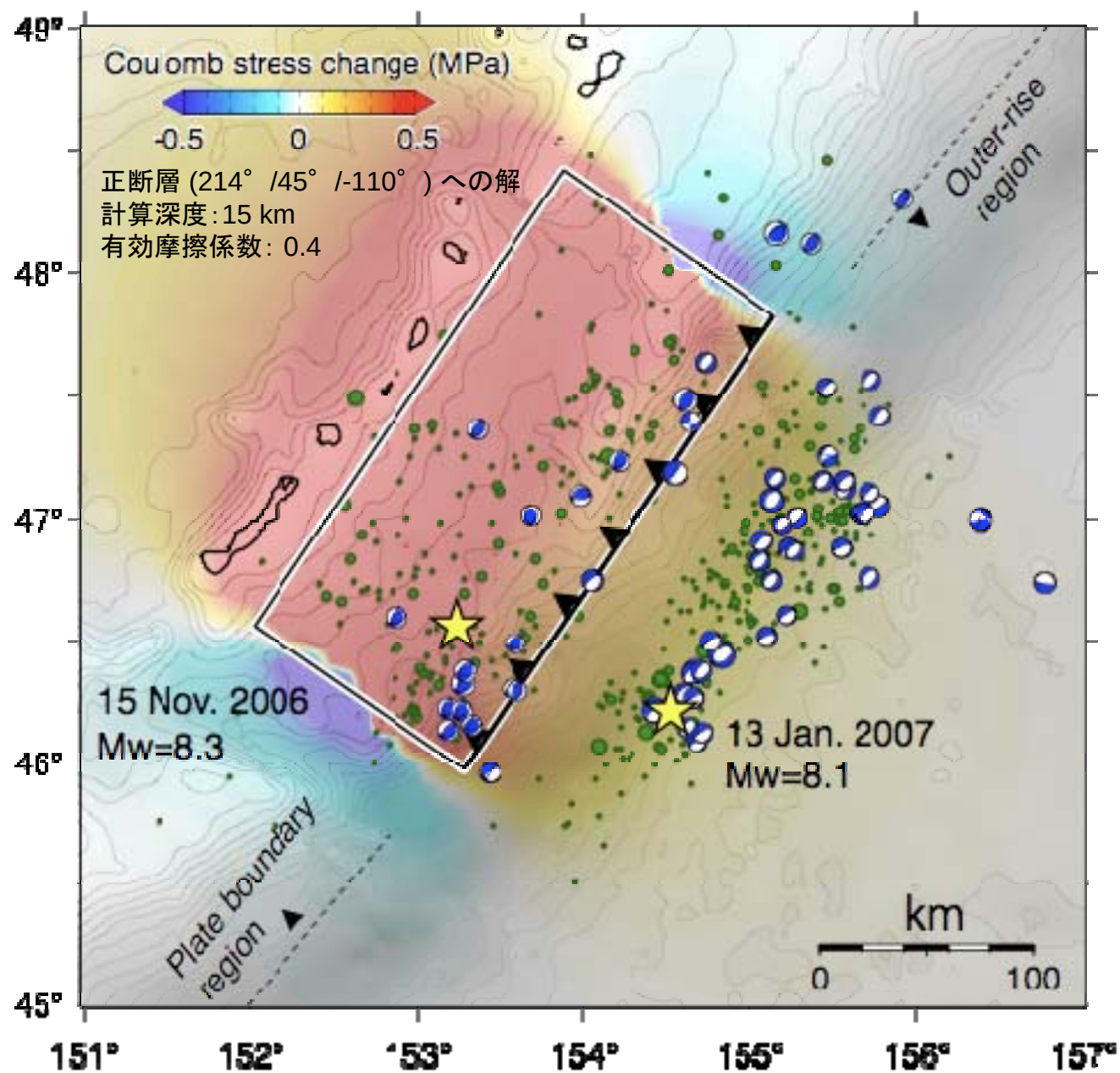
2006年11月プレート境界型地震によって誘発されたアウターライズ地震活動



緑丸: 約2ヶ月間の余震 (USG:
M $\geq$ 4.6, 11/15/06-01/13/07)

青ビーチボール: 約2ヶ月間
のメカニズム解 (global
CMT)

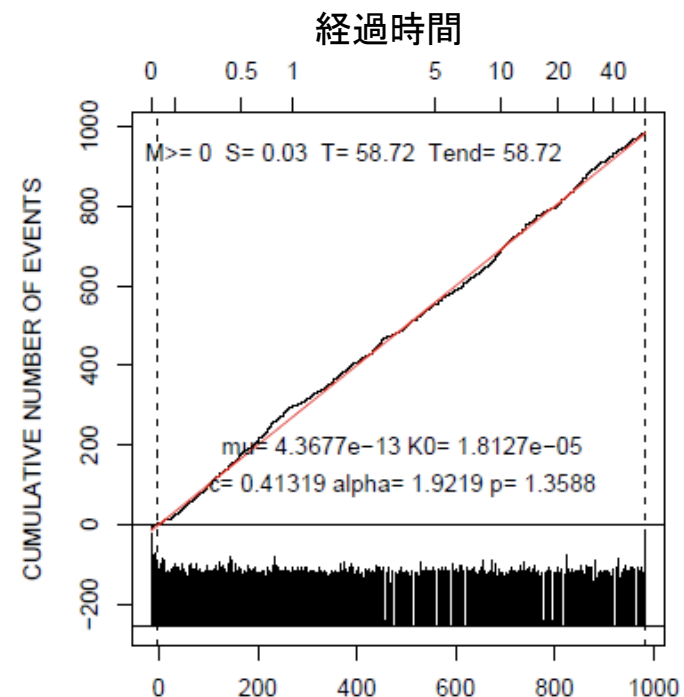
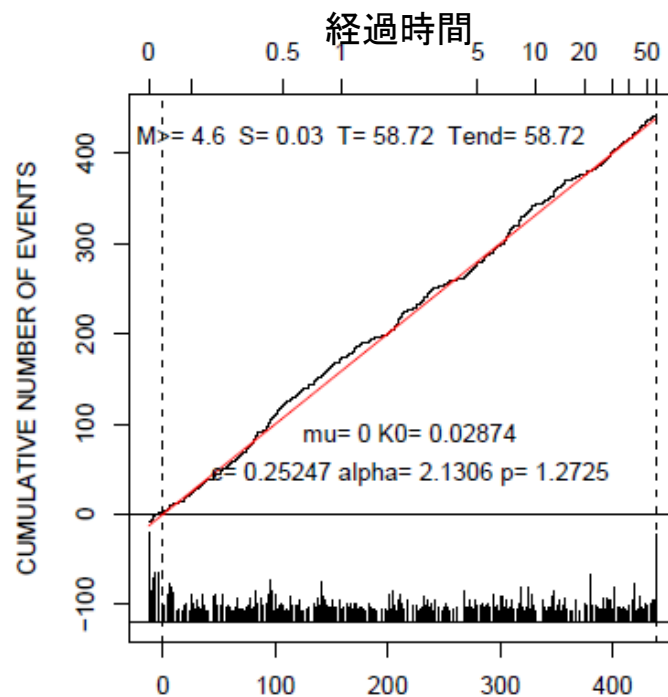
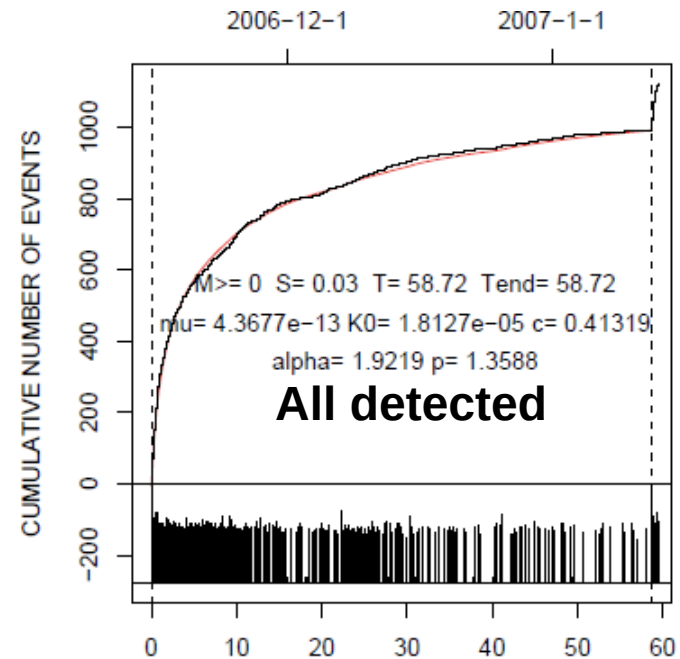
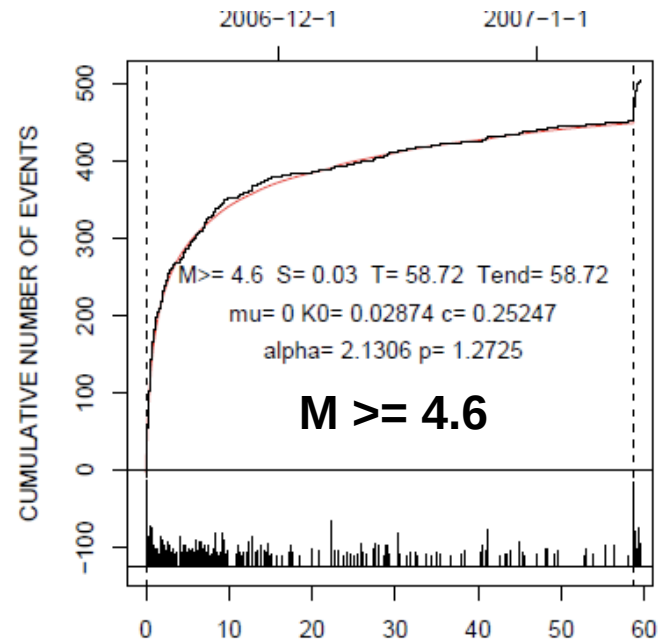
2006年11月プレート境界型地震によって誘発されたアウターライズ地震活動



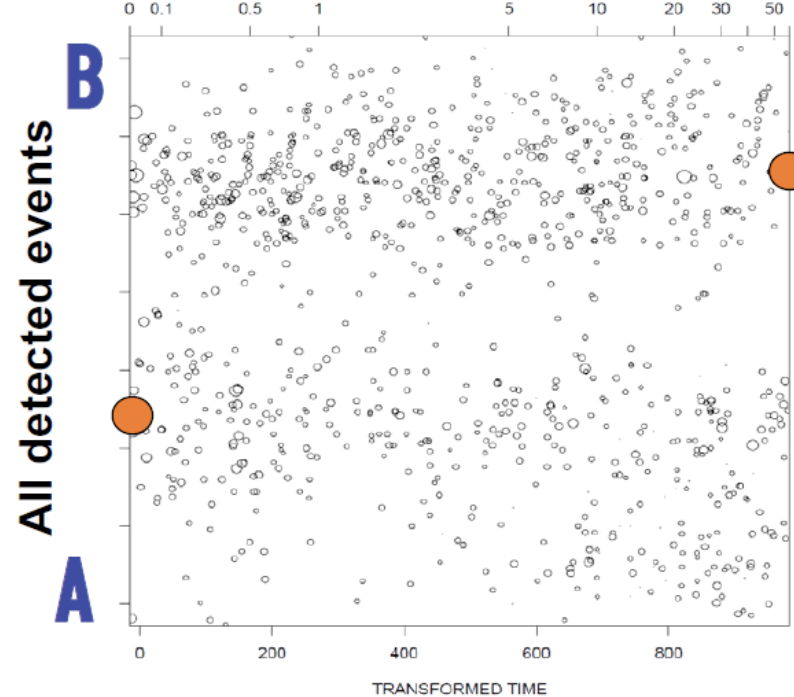
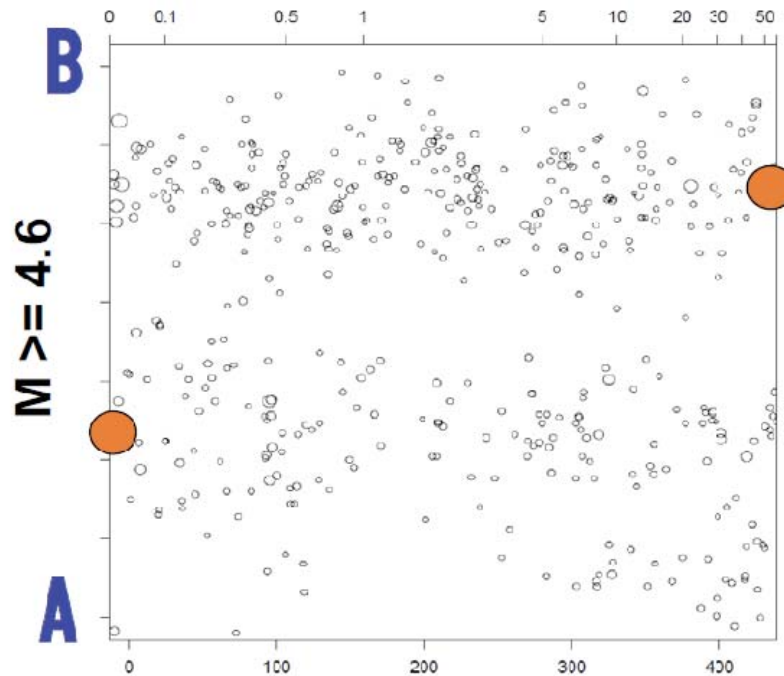
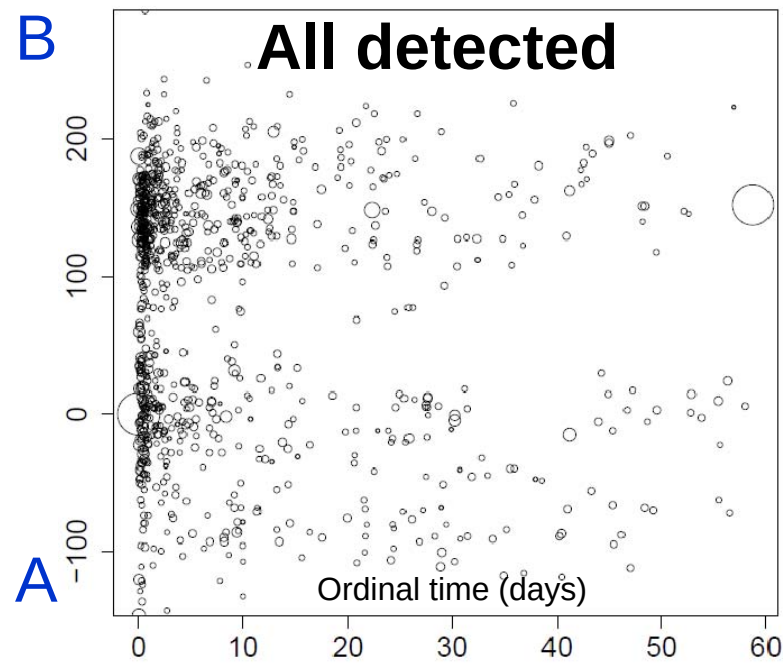
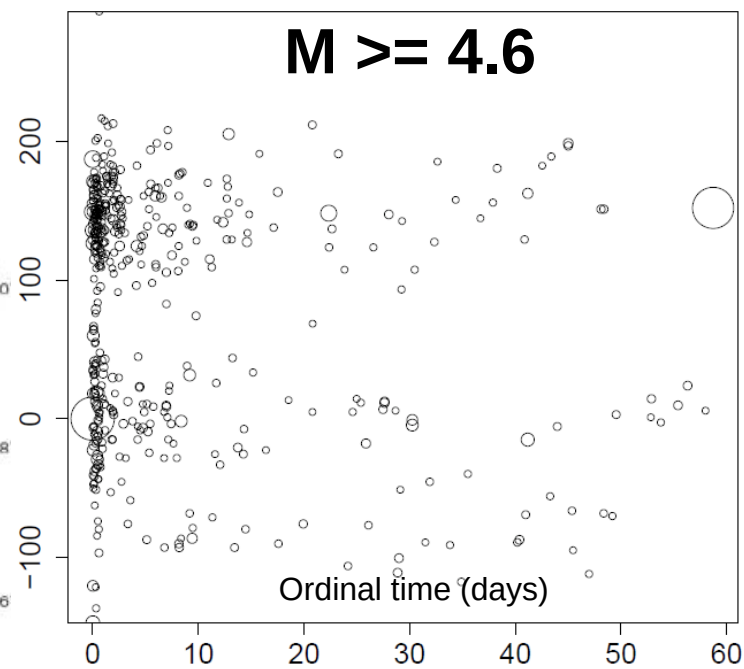
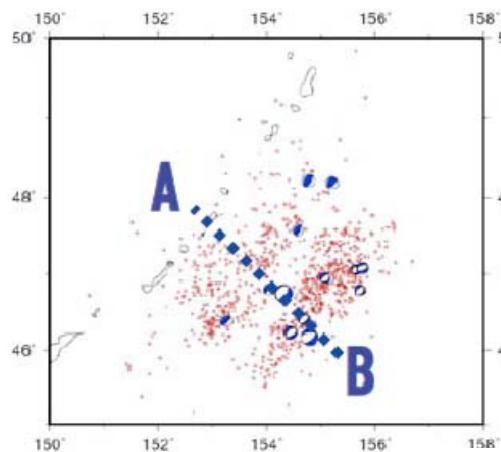
緑丸: 約2ヶ月間の余震 (USG:
M $\geq$ 4.6, 11/15/06-01/13/07)

青ビーチボール: 約2ヶ月間
のメカニズム解 (global
CMT)

2006年11月プレート境界型地震(Mw=8.3)の全域の余震活動(ETAS)



プレート境界と アウターライズの余 震活動の相違



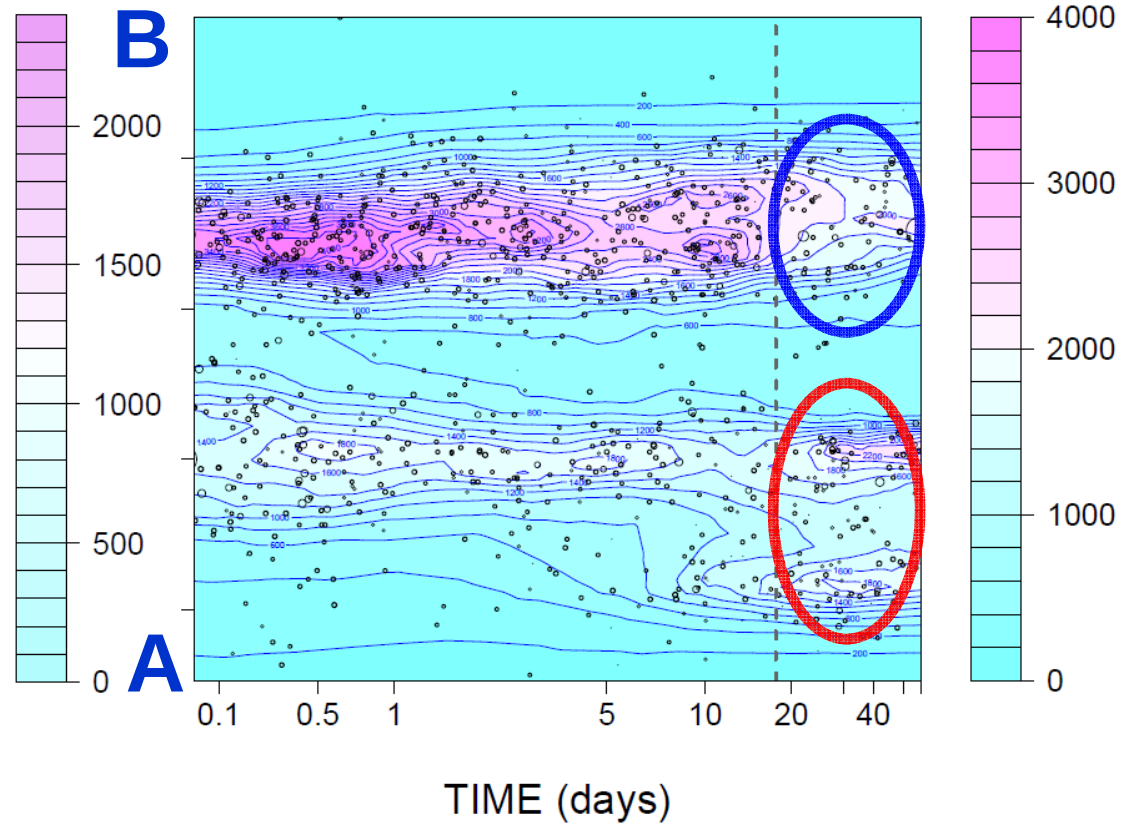
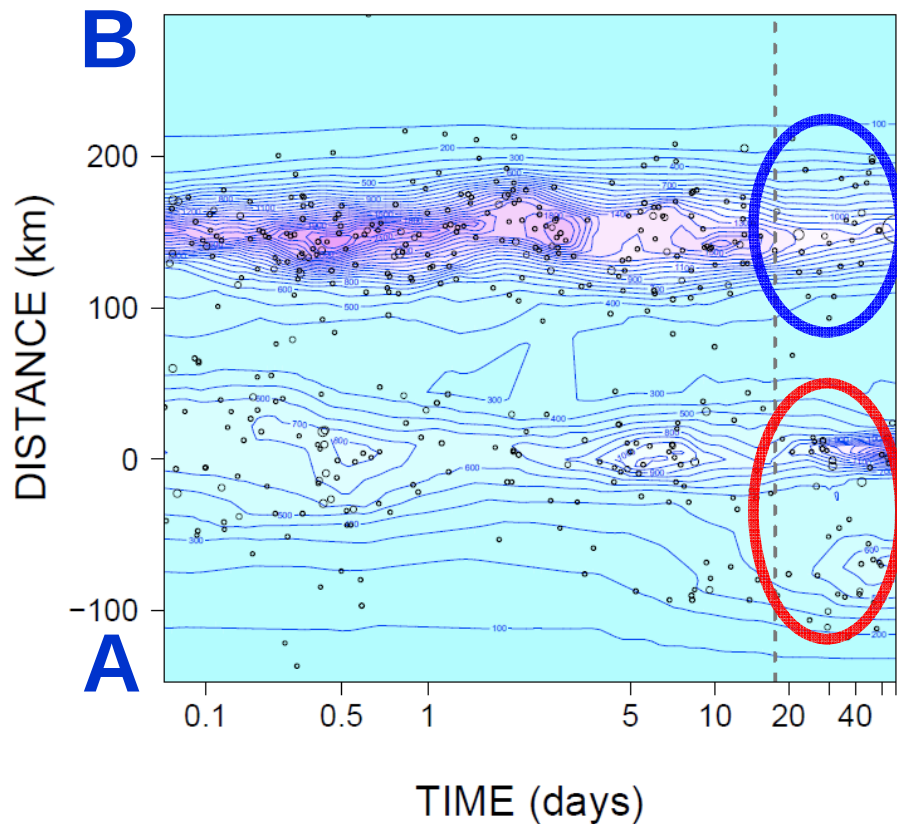
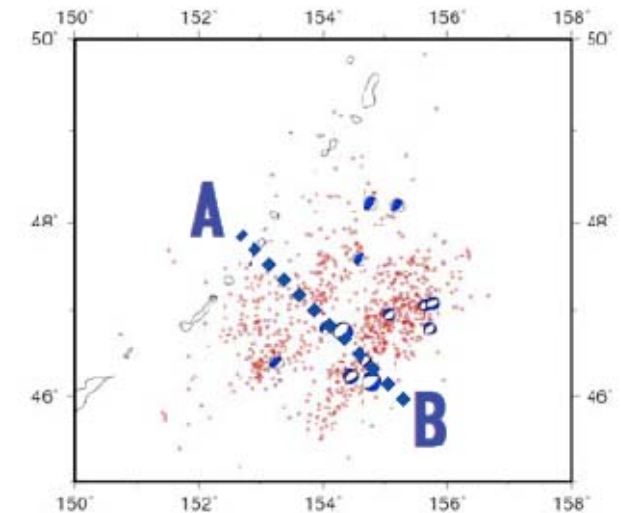
2007年1月アウターライズ大地震 (Mw=8.1) 前の余震活動活発化域の 切り替わり

アウターライズ: 相対的静穏化
プレート境界 : 相対的活発化

同時性(17日目頃)

$M \geq 4.6$

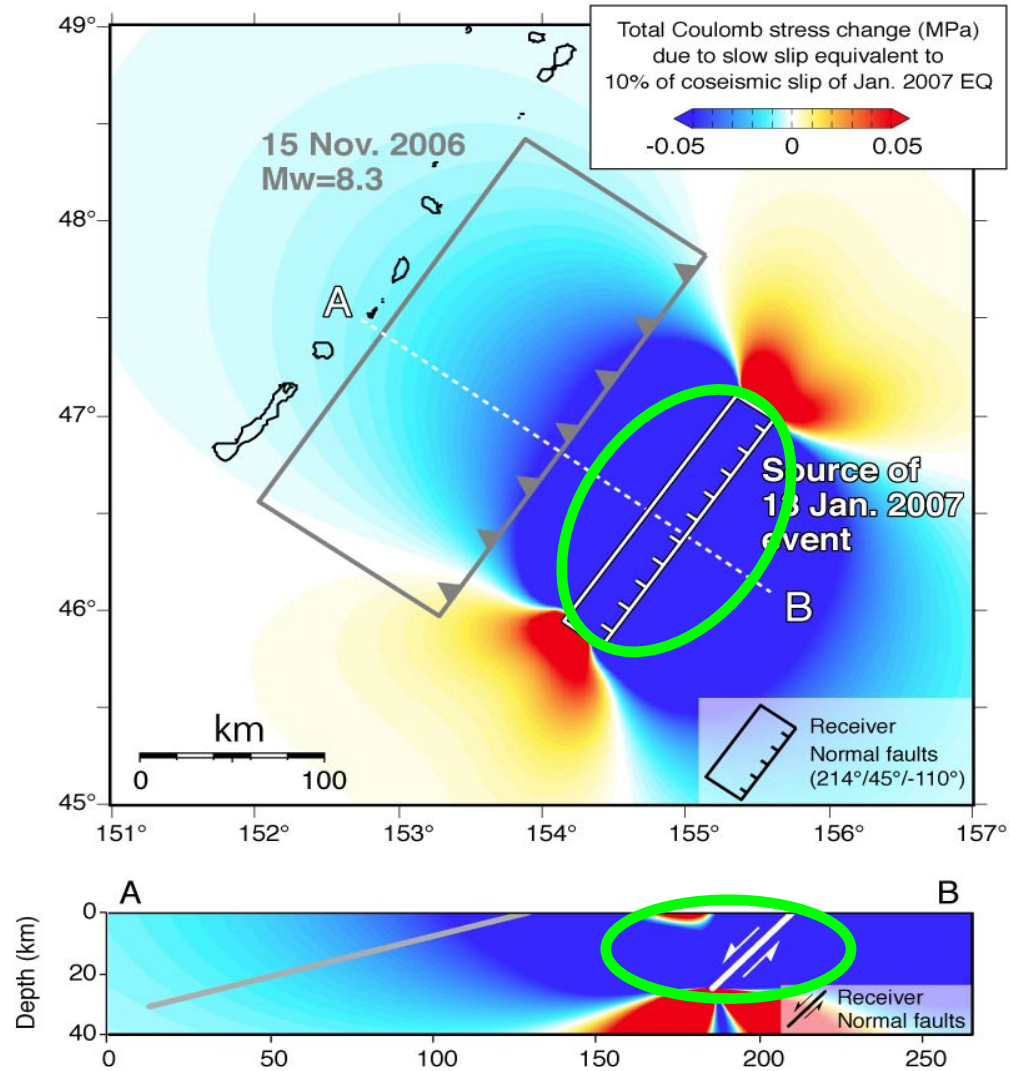
All detected



アウターライズ大地震(Mw=8.3)震源断層の前駆的スロースリップによる影響

Receiver faults

Normal

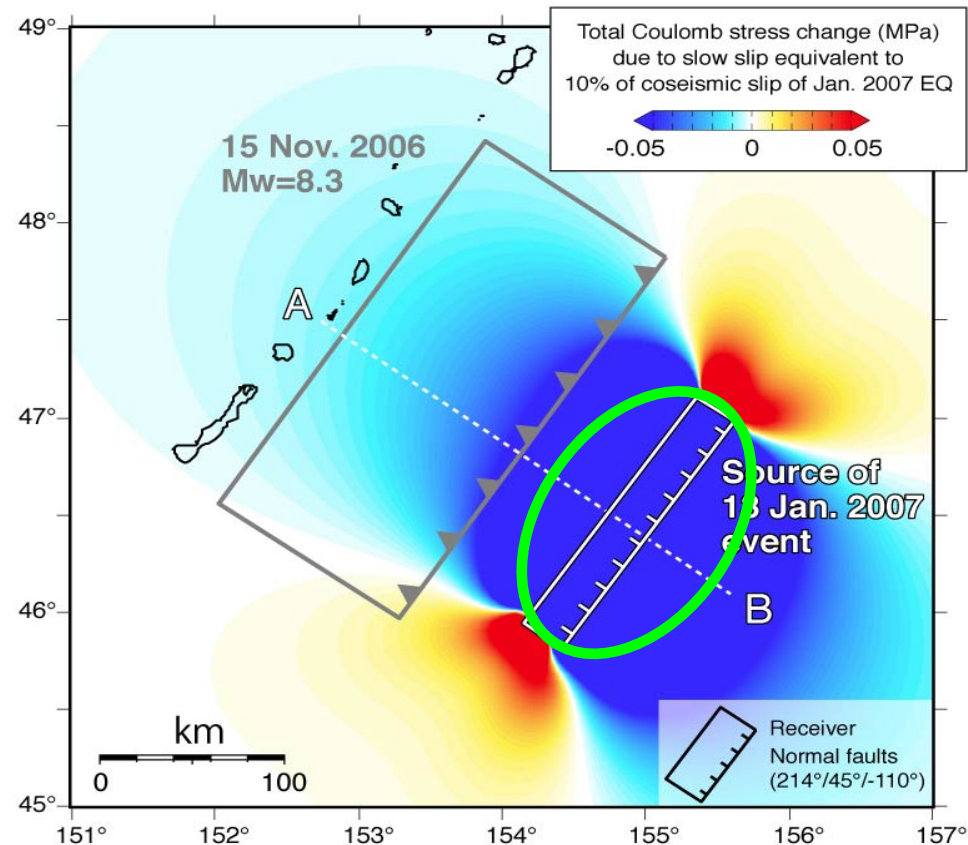


アウターライズ周辺の正断層への
応力緩和
(応力減少)

アウターライズ大地震(Mw=8.3)震源断層の前駆的スロースリップによる影響

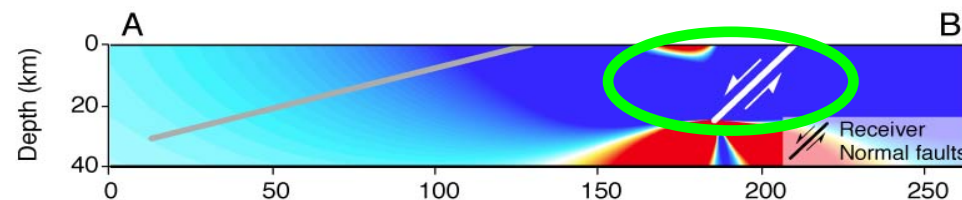
Receiver faults

Normal

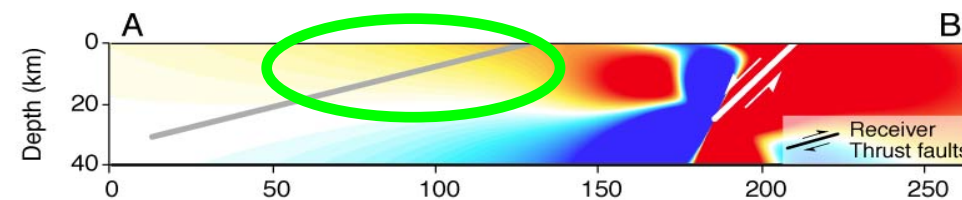


アウターライズ周
辺の正断層への
応力緩和
(応力減少)

Normal



Thrust



プレート境界沿い逆
断層への
応力増加

摩擦構成則による相対的余震活動変化の定量的再現

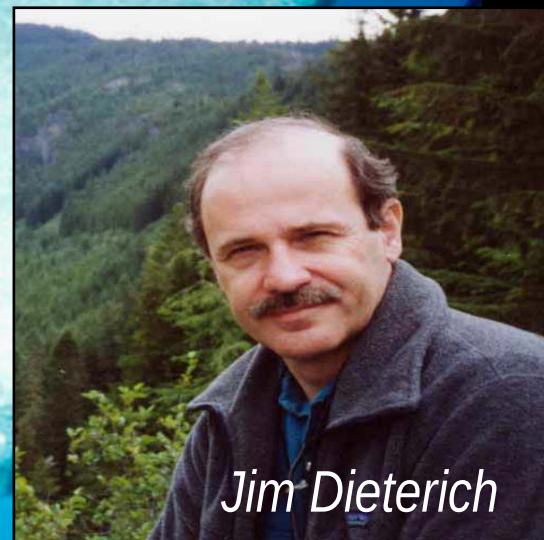
Rate & state friction law

Key paper:

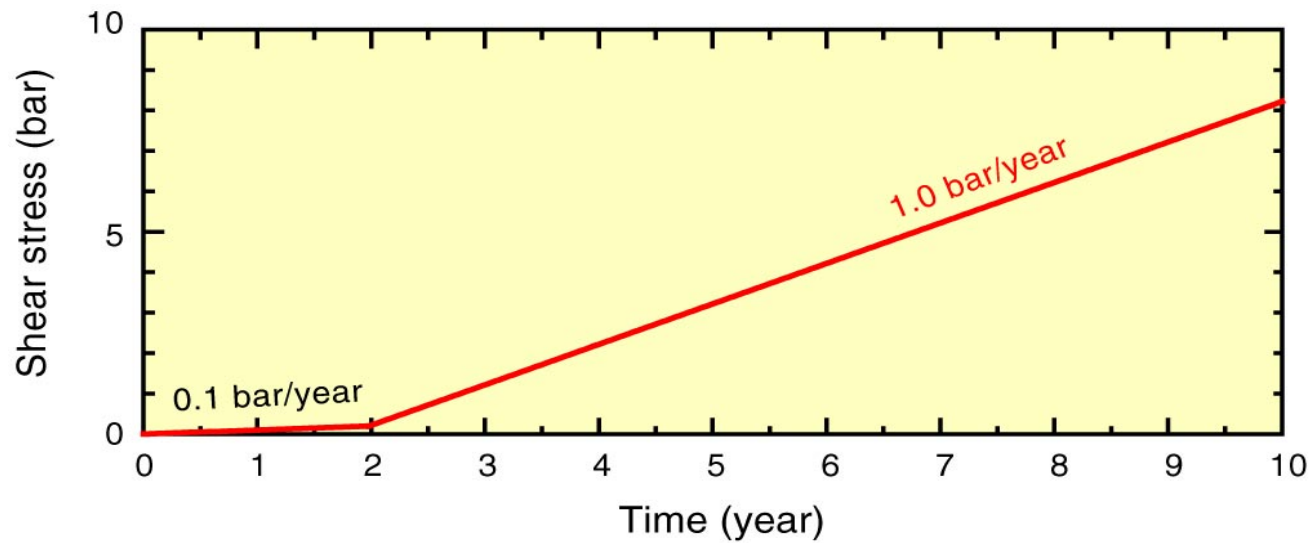
Dieterich, JGR, 1994

Key concept:

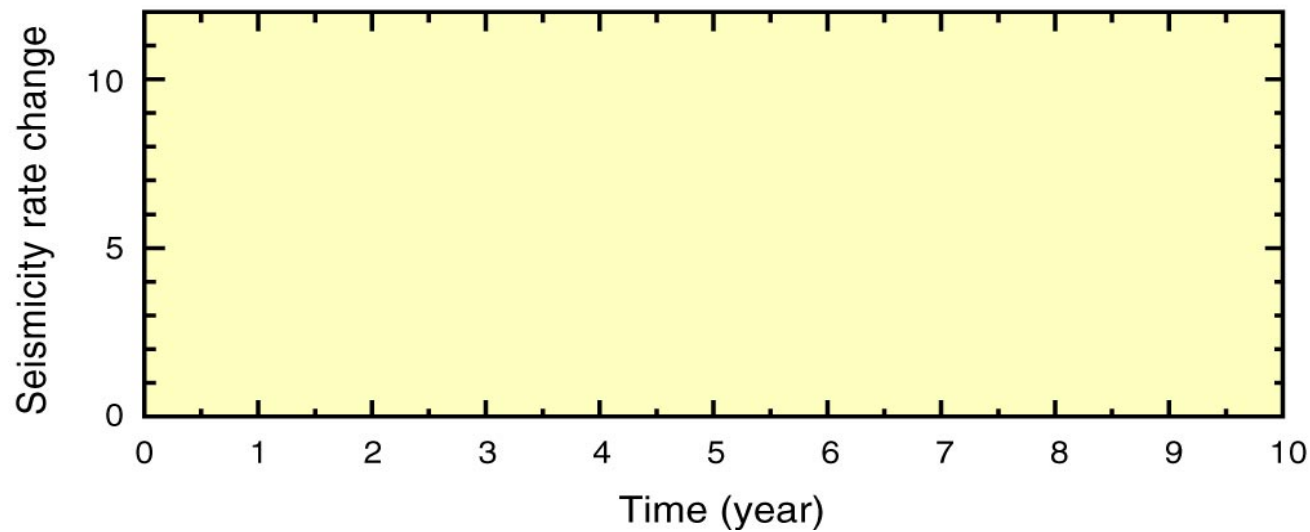
Seismicity rate equation



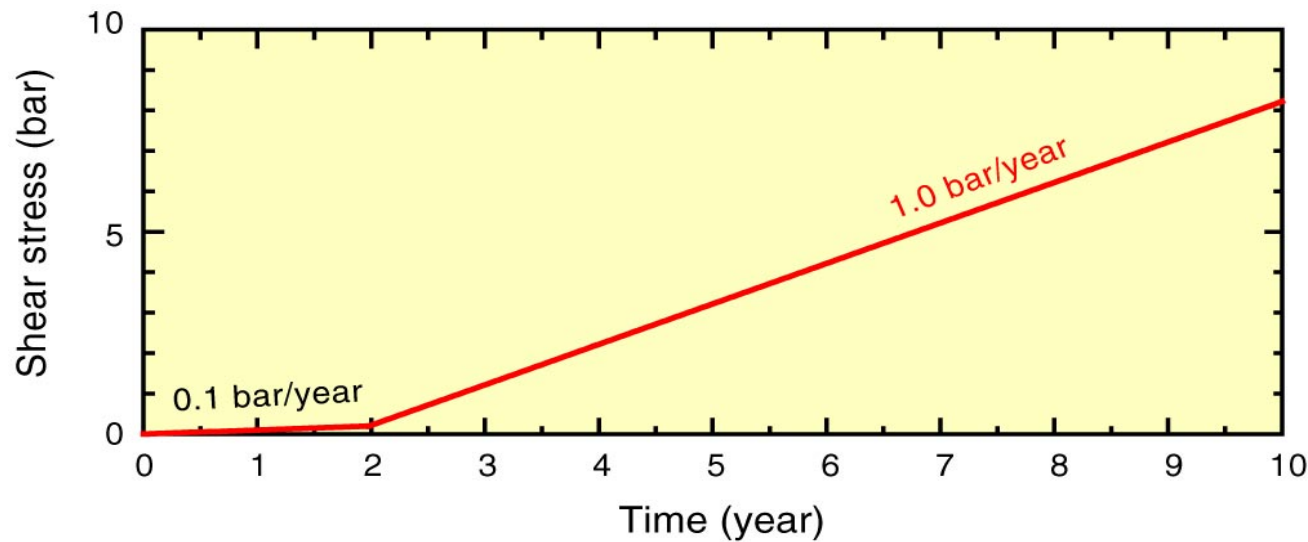
前駆的スロースリップによる応力レート変化に注目



Seismicity rate change
is proportional to
stressing rate change
in steady state

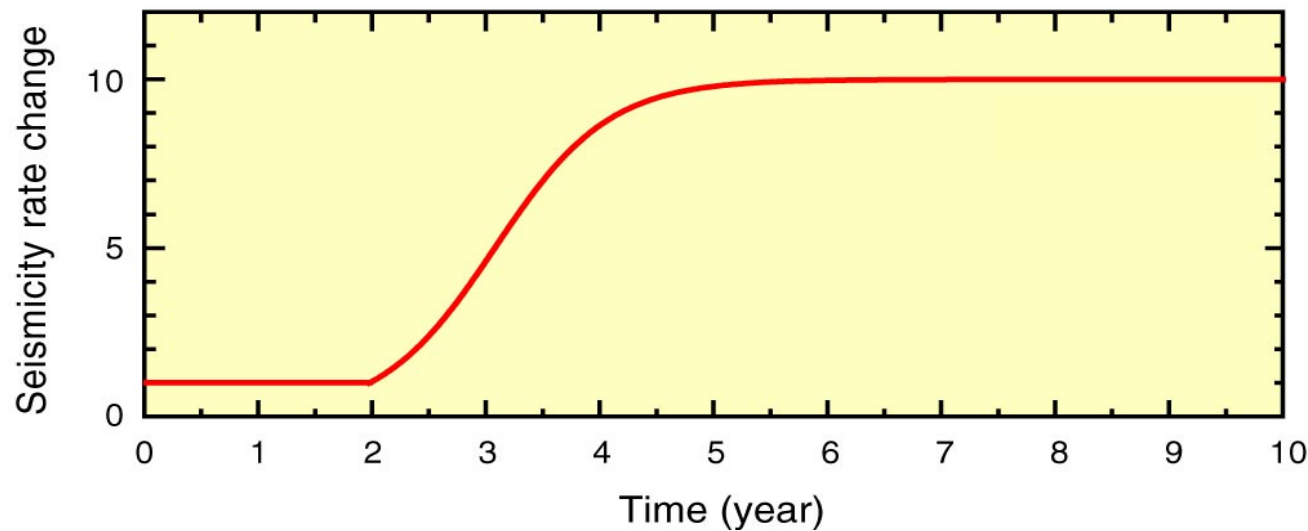


前駆的スロースリップによる応力レート変化に注目



Seismicity rate change
is proportional to
stressing rate change
in steady state

$$\frac{R}{r} = \frac{\dot{\tau}}{\dot{\tau}_r}$$



r Reference seismicity rate
 R New seismicity rate
 $\dot{\tau}_r$ Reference stressing rate
 $\dot{\tau}$ New stressing rate

群発地震活動等での一部検証
(e.g., Toda et al., 2002)

(ゆっくりすべりに伴う) 応力レート変化による

状態変数 γ と地震発生率 R の時間変化

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

$\dot{\tau}_r$ secular shear stressing rate

Δt time increment used to recalculate γ

r background seismicity rate

$A\sigma$ constitutive parameter times the normal stress

γ_n state variable (n time steps)

$$\gamma_n = \gamma_{n-1} \exp\left(\frac{-\Delta CFF}{A\sigma}\right)$$

状態変数 γ 減衰と回復

$$\gamma_{n+1} = \left[\gamma_n - \frac{1}{\dot{\tau}} \right] \exp\left[\frac{-\Delta t \dot{\tau}}{A\sigma} \right] + \frac{1}{\dot{\tau}}$$

coseismic stress
change

stressing rate
change

15 Nov. 2006
Mw=8.3

Change point

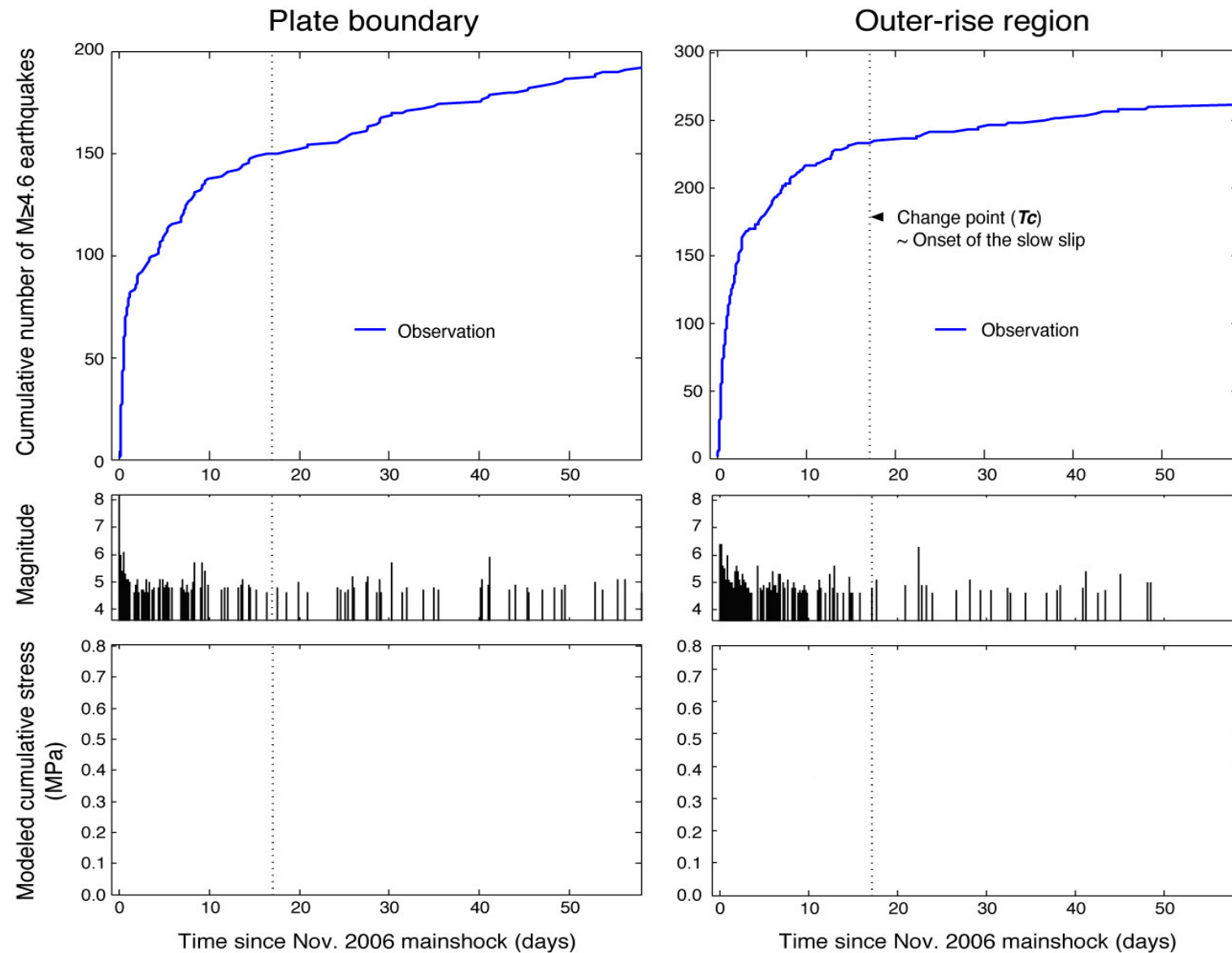
Slow slip

13 Jan. 2007
Mw=8.1

TIME

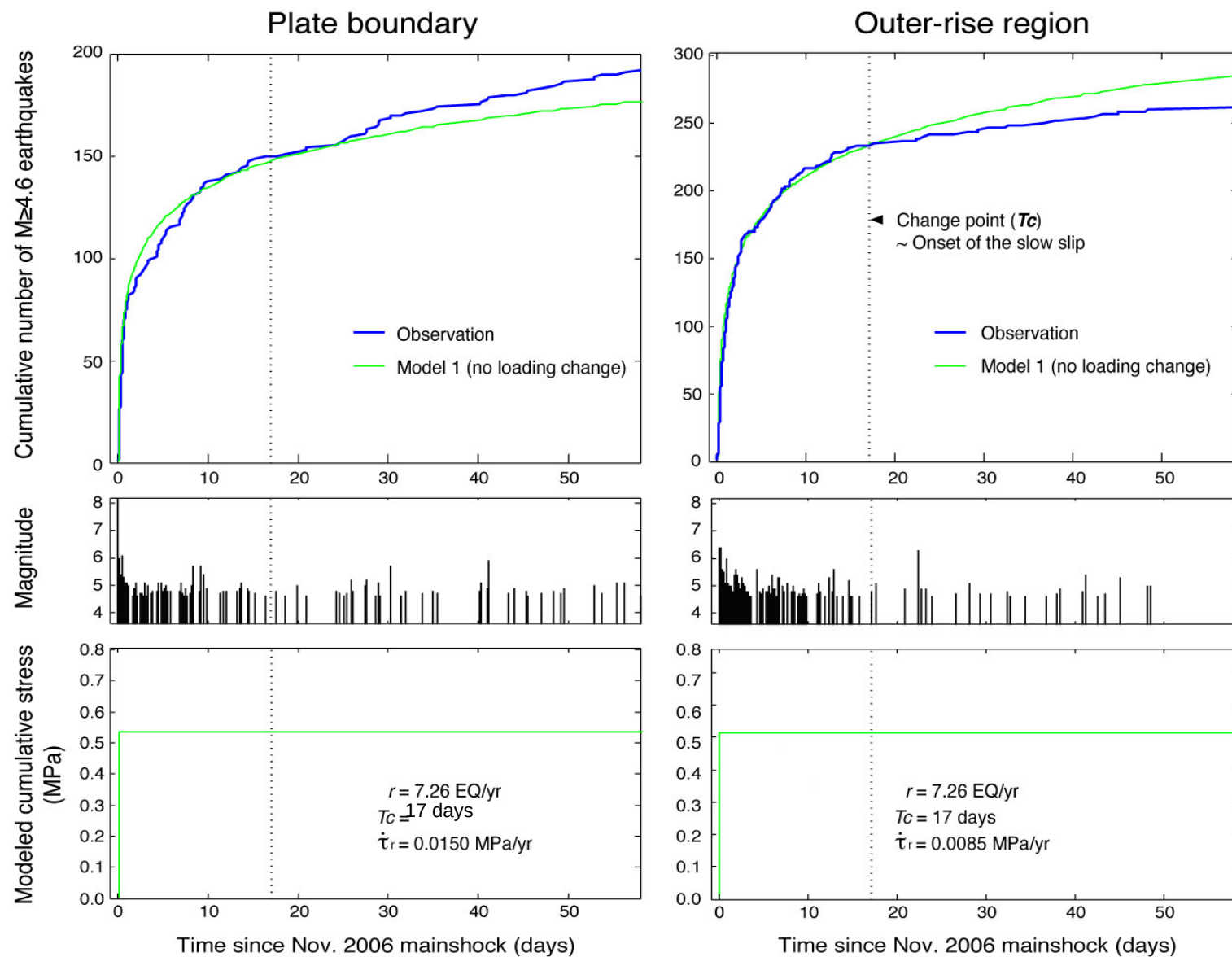
R/S則-応力変化による余震活動時系列のモデル化

観測結果



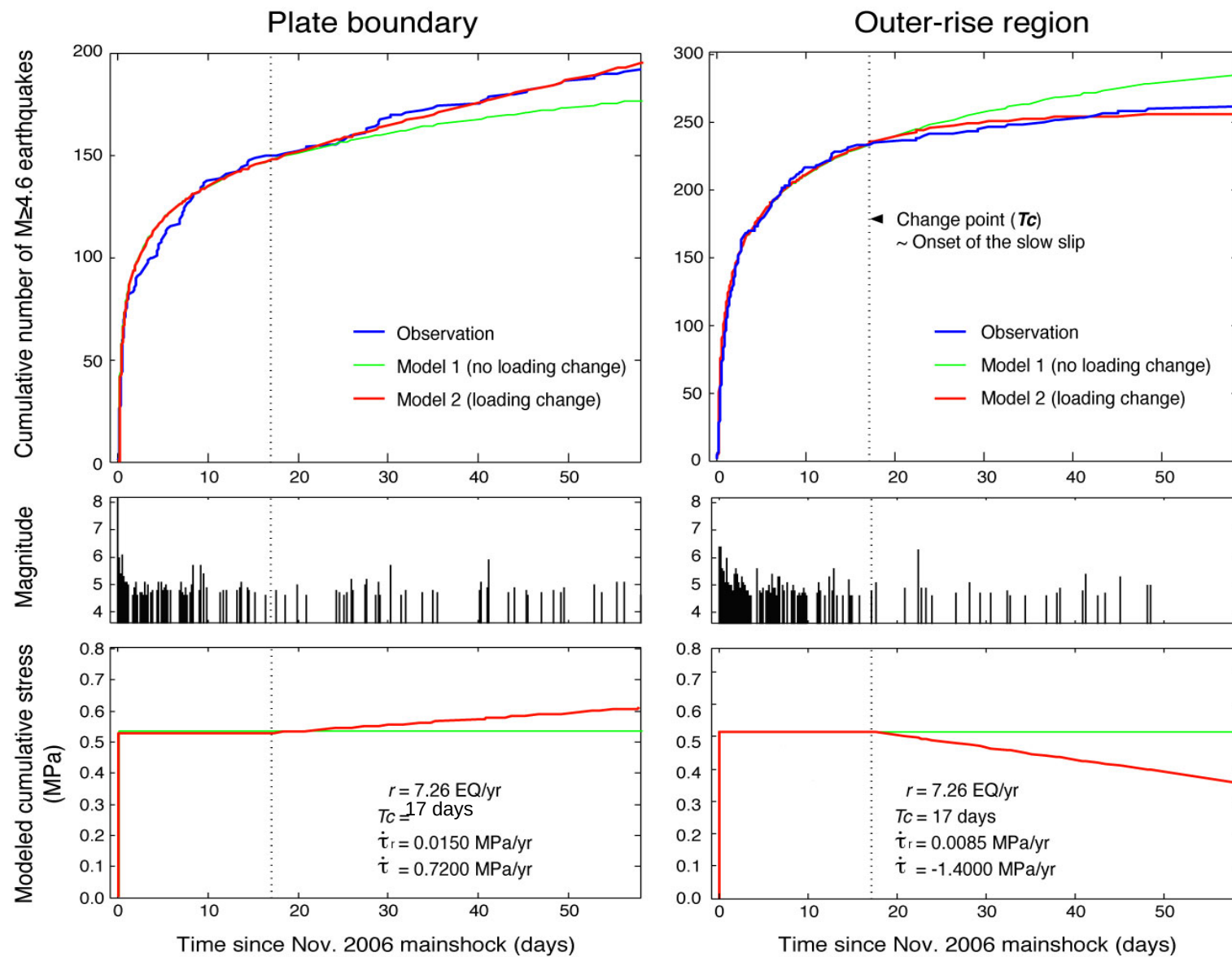
R/S則-応力レート変化による余震活動時系列のモデル化

観測結果 + 06年本震応力ステップ



R/S則-応力変化による余震活動時系列のモデル化

観測結果 + 06年本震応力ステップ + 応力変化



まとめ

- 千島列島沖アウターライズのオフフォールト余震と大地震はプレート境界地震によって誘発された。
- アウターライズの非地震性断層運動(ゆっくりすべり)も地震後に誘発された可能性が高い。
- アウターライズのゆっくりすべりは、オフフォールト余震を静穏化させ、プレート境界の余震を活発化させた。
- Dieterich の Rate and State Friction 則のもと、ゆっくりすべりによる応力変化を仮定することで、余震発生率の量的変化を再現できる。