

余震の空間分布から求めた 大地震のすべり分布 ～2005年宮城県沖地震を例として～

岩田貴樹 (早稲田大学)

遠田晋次 (産業技術総合研究所)

尾形良彦 (統計数理研究所)

★ 約3/4は5月の連合大会の時と同じ内容

「地震活動の『物理・統計』モデル」

★ 地震活動とそれに基づく予測

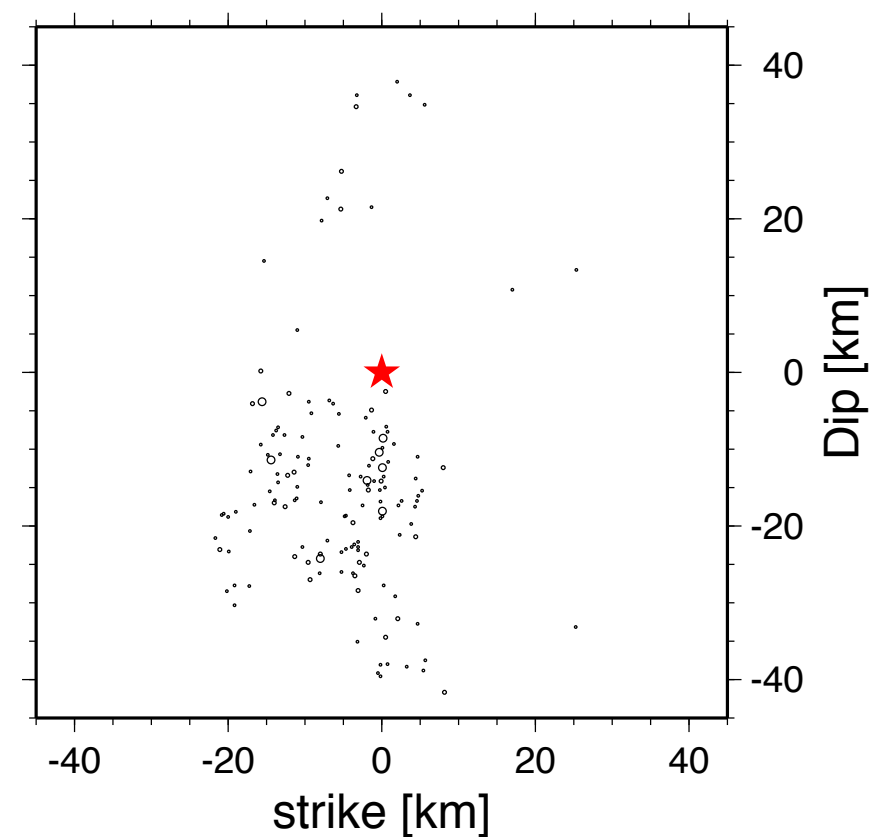
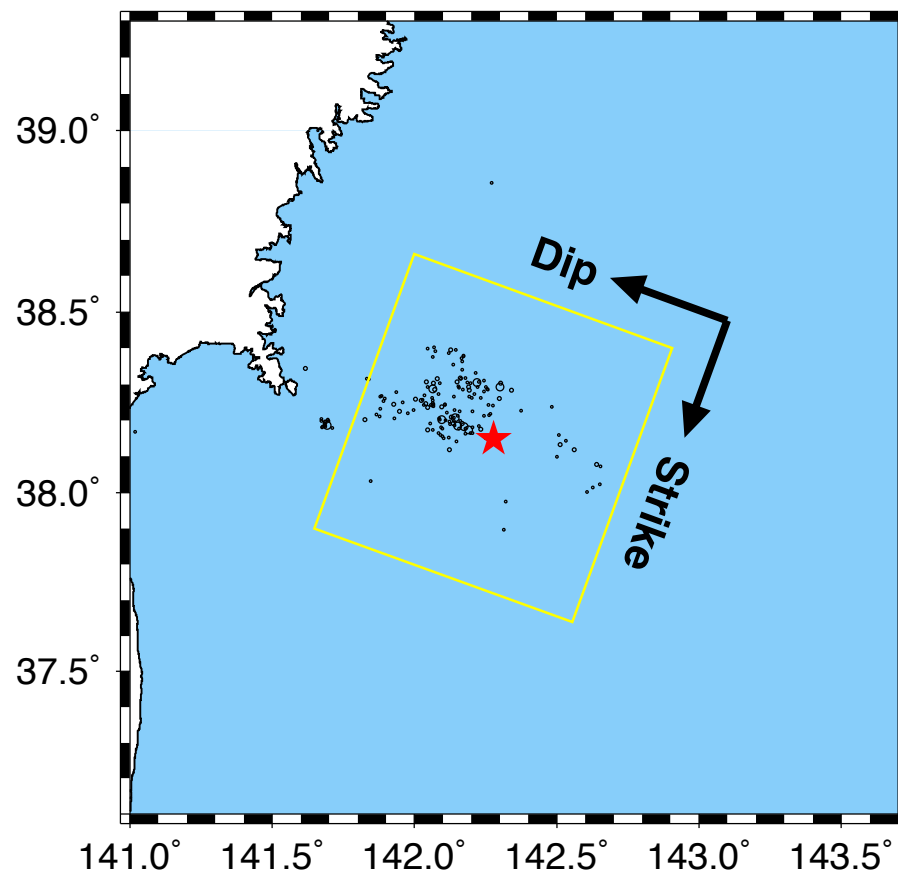
- 大森・宇津公式、ETAS、静穏化・活発化、 b 値.....etc.
- 物理量と直接結びついていない
- どちらかと言うと「統計」モデル

★ 「物理」モデルは？

- 何らかの物理量との対応
- Dieterich [1994, JGR]のモデル

地震活動と応力変化とを定量的に結び付ける

データ・断層の設定



- ★ 気象庁データ、 $M \geq 2.0$
- ★ 本震発生から**1日後**：afterslipの影響を除去
- ★ 震源を通る90 x 90 kmの断層面を考え、そこに余震を深さ方向に射影（**2次元**として扱う）
- ★ 断層のgeometry・メカニズムは八木[2005]に基づく

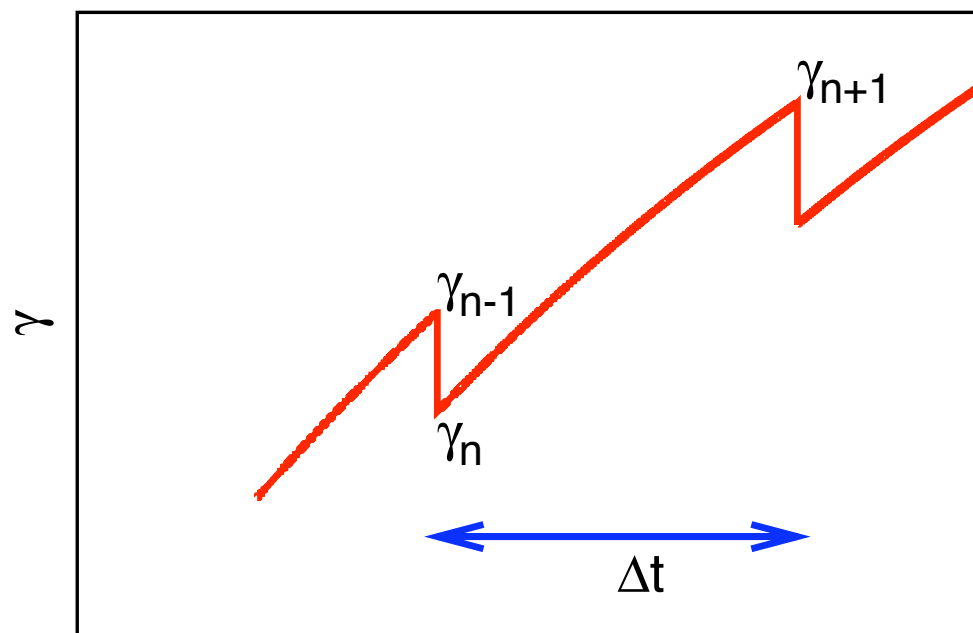
Dieterichモデルの概略

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

stress step あり

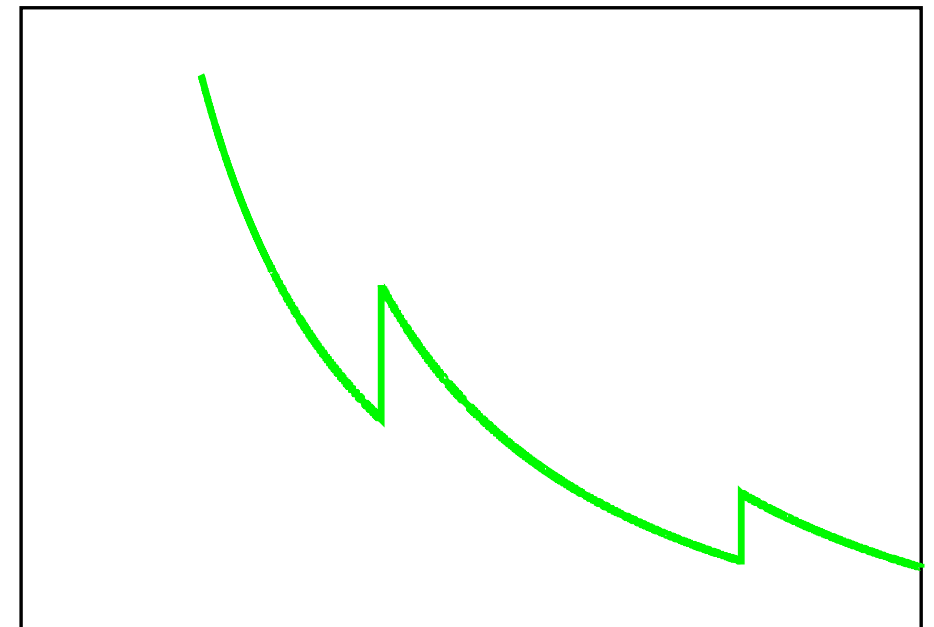
$$\gamma_{n+1} = \left[\gamma_n - \frac{1}{\dot{\tau}_r} \right] \exp\left[\frac{-\Delta t \dot{\tau}_r}{A\sigma} \right] + \frac{1}{\dot{\tau}_r}$$

なし (応力増加一定)



$$\frac{1}{\gamma} \times r$$

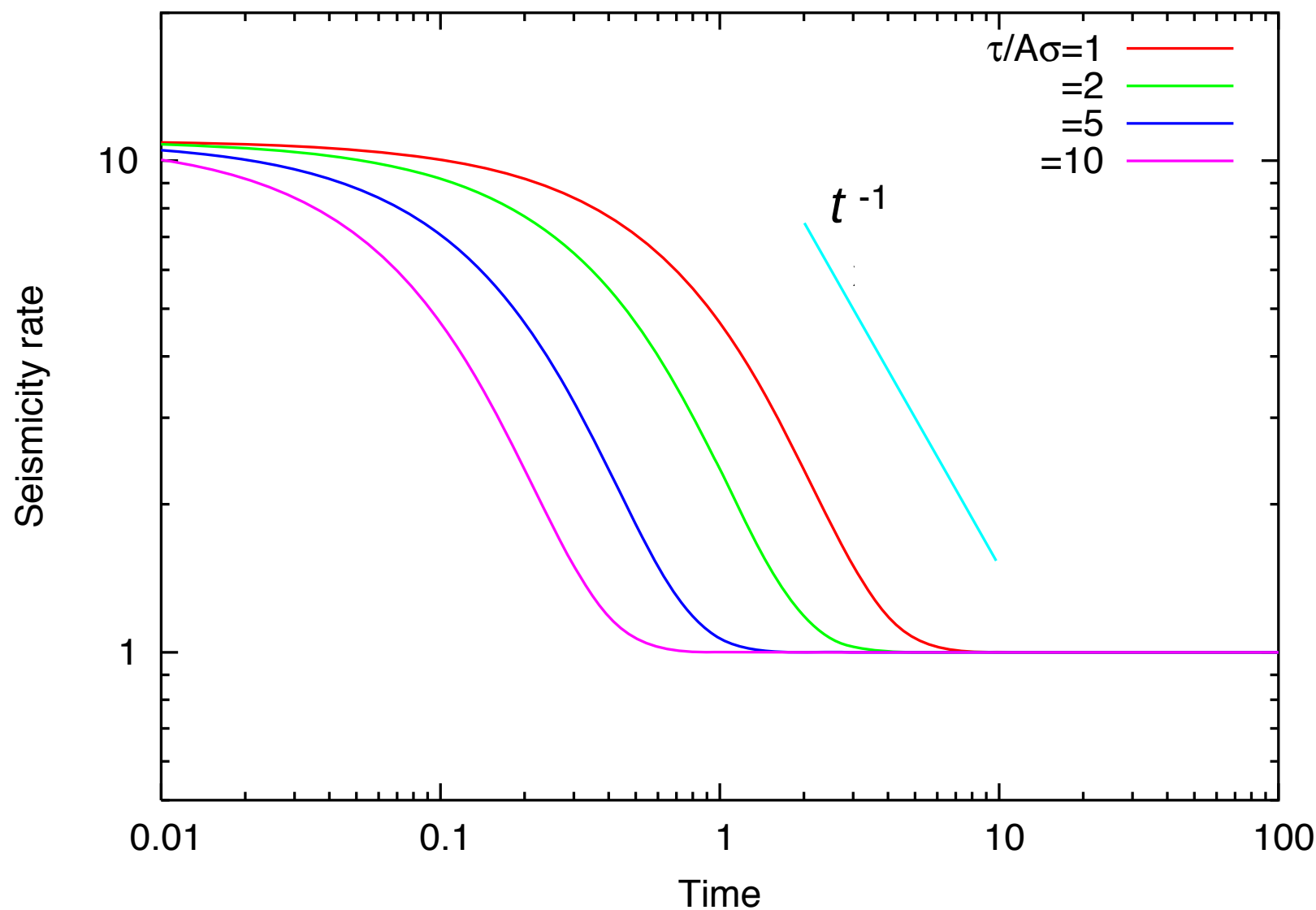
seismicity rate



(γ の逆数に、定常状態での
seismicity r を掛ける)

time

Dieterichモデルにおける 地震活動の時間減衰



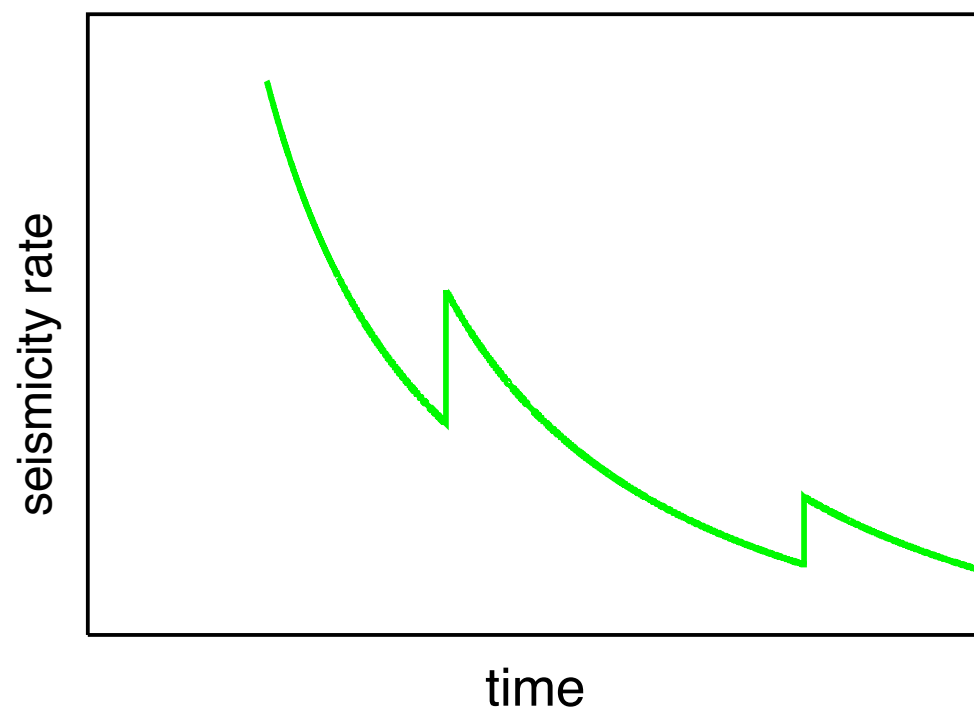
★ t^{-1} に従って減衰

★ あくまで「大森公式」であり「大森・宇津公式」ではない
($p=1$ の場合にのみ対応)

そこで

- ★ Dieterichモデルを改良して、大森・宇津公式に近づける試みはある (e.g., Bebbington [2008, Tectonophysics])
- ★ それらの試みを採用すると、モデルは複雑化 (パラメータ数の増加、など)

余震の**空間分布**だけを考慮
(**時間**変化については、現段階では**無視**)

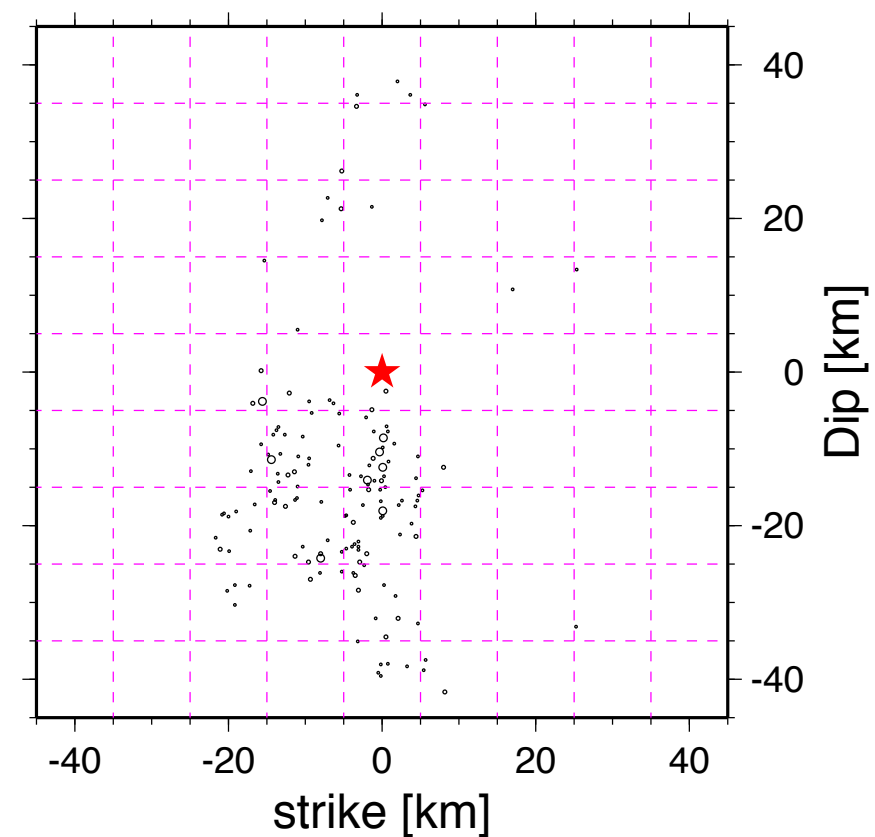
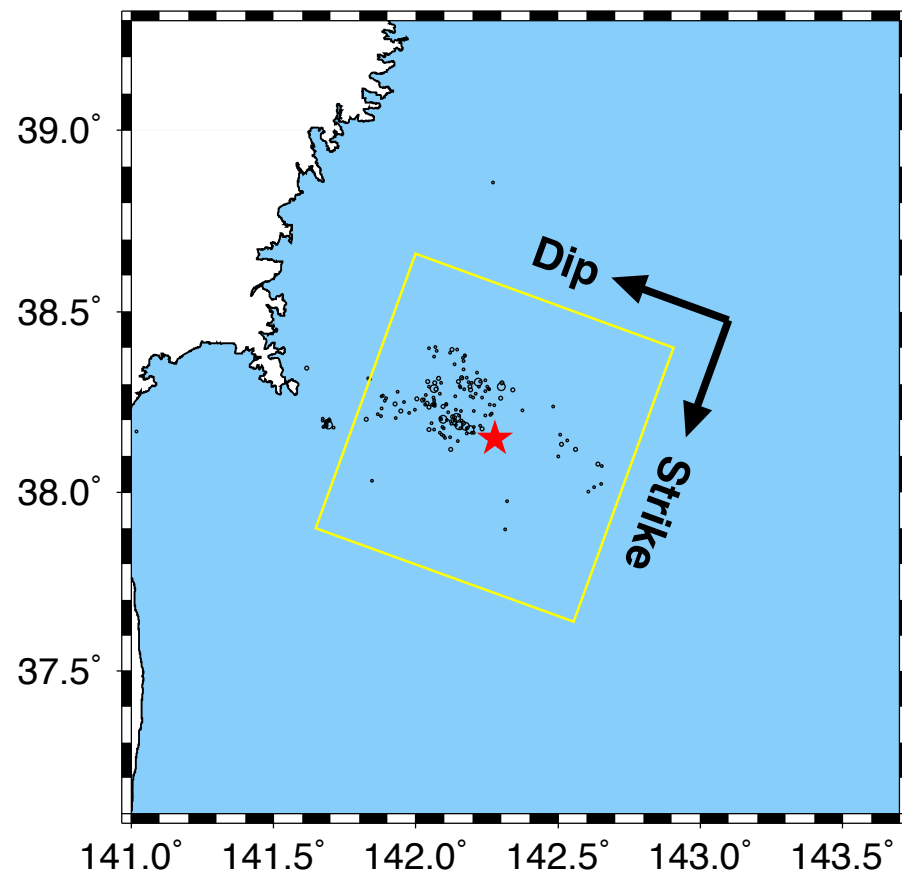


→
時間積分
期待数

解析手法の骨子

- ★ 90 x 90 kmの解析領域を5 x 5 km のセルに**分割**し、
各セルの**中心点**での ΔCFF を計算
- ★ ΔCFF を計算する際のメカニズム（＝余震のメカニズム）
は**本震と同じ**ものを仮定
- ★ 摩擦係数 = 0.4
- ★ **セルごと**に、モデルによる地震の**空間密度**（期待数）を計算
- ★ **空間密度** $\lambda(x, y) =$ （background seismicity μ ）
+ （Dieterichモデルによる地震数）
- ★ 空間密度と実際の地震活動との合い具合を
点過程モデルの**対数尤度**で統計的に評価
- ★ **余震による ΔCFF の影響も考慮**
→ 各余震の M の値から、スケーリング則により
断層の大きさ・変位を求め、これらから ΔCFF を計算

断層モデル



- ★ 断層面は**81**(= 9 x 9)の**小断層に分割**
- ★ 各小断層の滑り量を最適化
- ★ **比較的多数**のパラメータ
 - 安定的に解を求めるため**ベイズ**的な解析

ベイズ的手法による推定

- ★ 滑り分布に空間的な**スムージング**の制約（=**事前分布**）
- ★ rake=87°（すべり方向一定）、**非負**の拘束
- ★ **断層端**は**変位0**の制約
- ★ スムージングの重みは**ABIC**（周辺化尤度）で決定
- ★ Dieterichモデルに含まれるパラメータ（ $\mu, r, A\sigma, t_a$ ）には、適当な平均値を持つ**指数分布**を事前分布と仮定
- ★ Dieterichモデルのパラメータと滑り分布の最適解（=**事後分布平均**）を同時に推定
- ★ 計算には**モンテカルロ的な手法**（MCMC）を使用

結果：モデルパラメータ

	μ	r	$A\sigma$ [MPa]	t_a [day]
mean of prior (exponential)	1.00e-3	5.00e-4	1.00e-1	5.00e+2
posterior mean	1.34e-3	3.53e-4	1.11e-1	1.20e+3

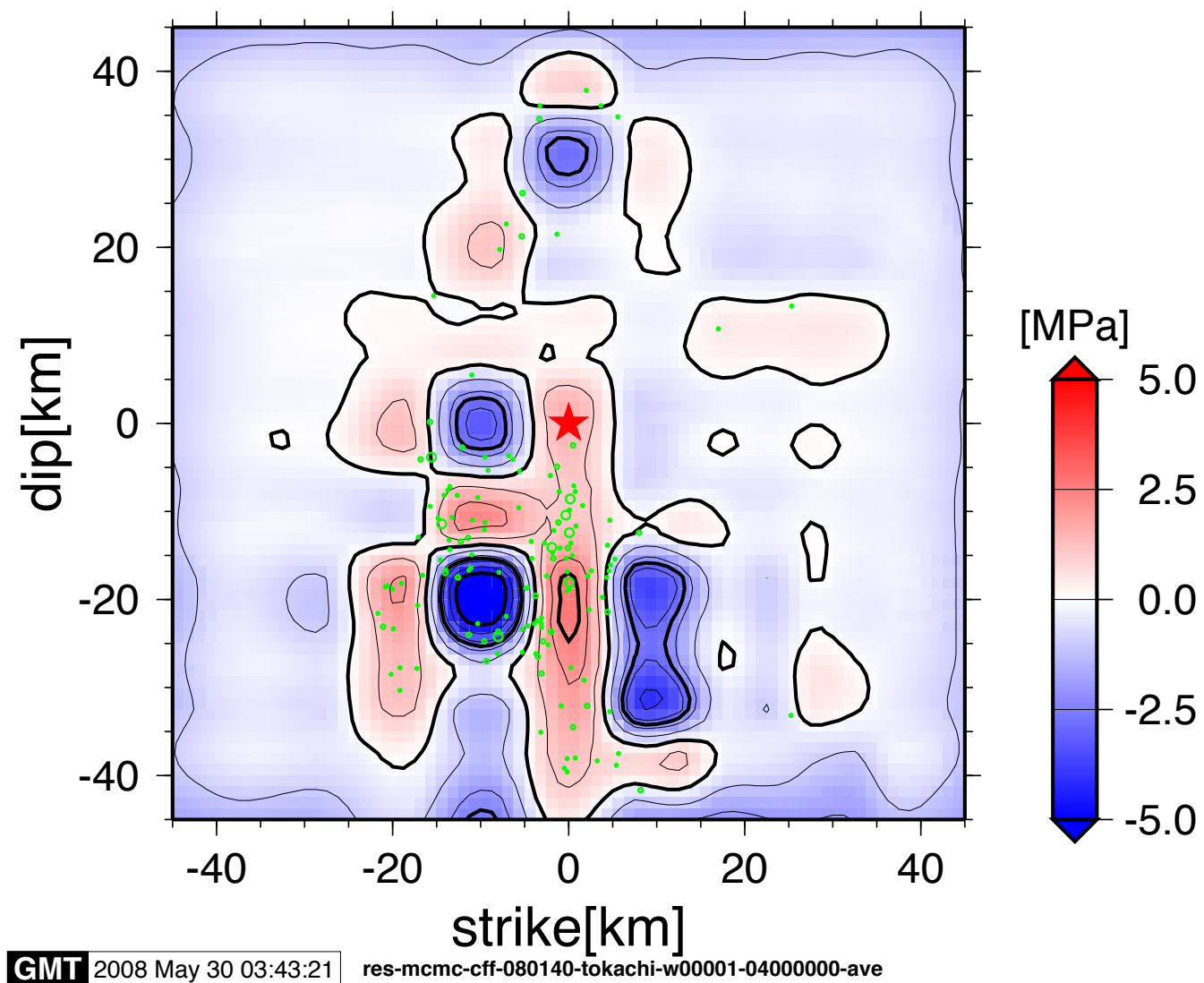
これまでの種々の研究によると

★ $0.01 < A\sigma < 0.75$

★ 数ヶ月 $< t_a <$ 数十年

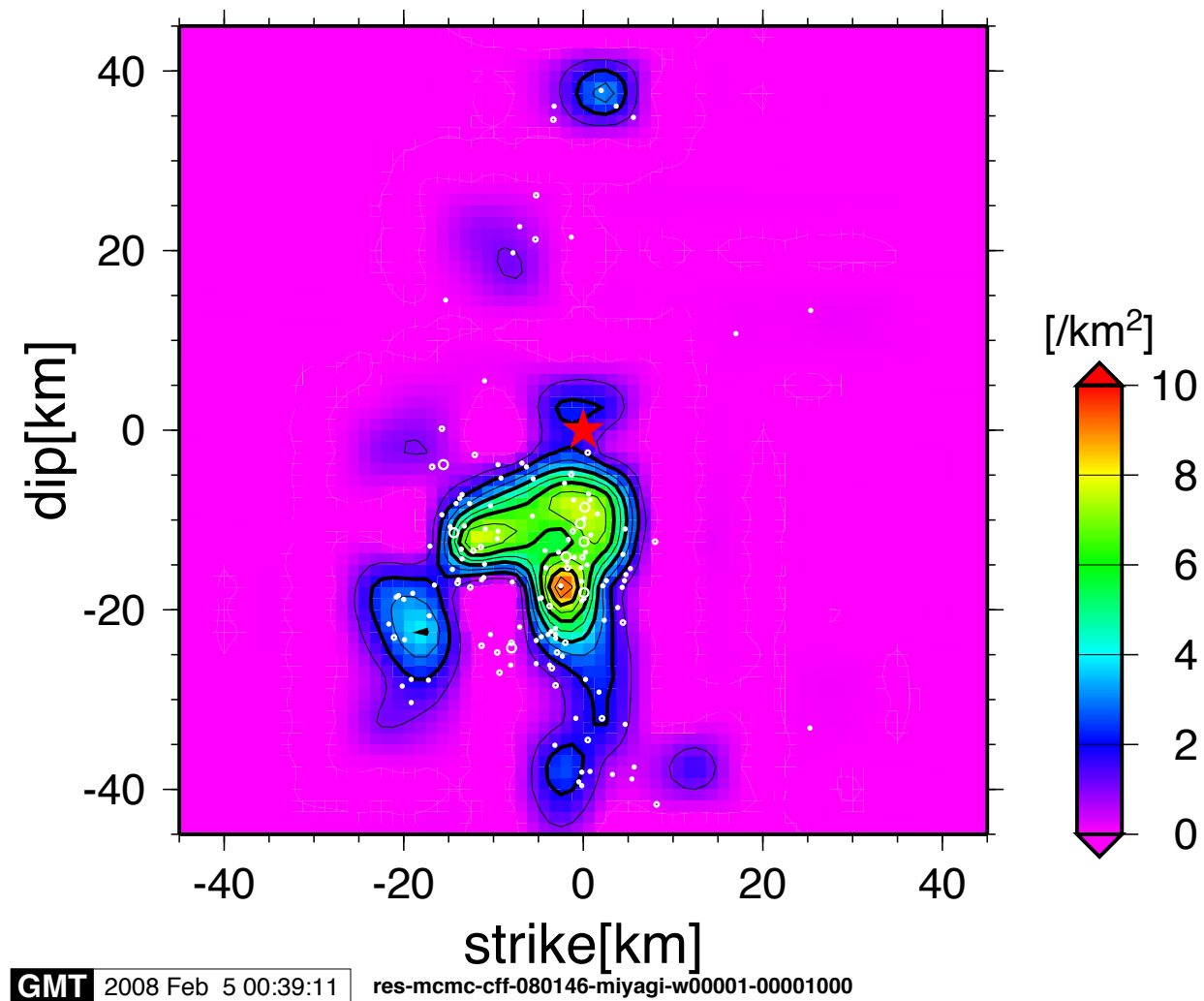
→ 本研究の結果はこれらに**整合的**

結果： ΔCFF の分布



ΔCFF が**正**の領域に余震が**集中**

結果：期待される余震の分布



余震の期待数が**多い**領域に余震が**集中**

まとめ（その1）

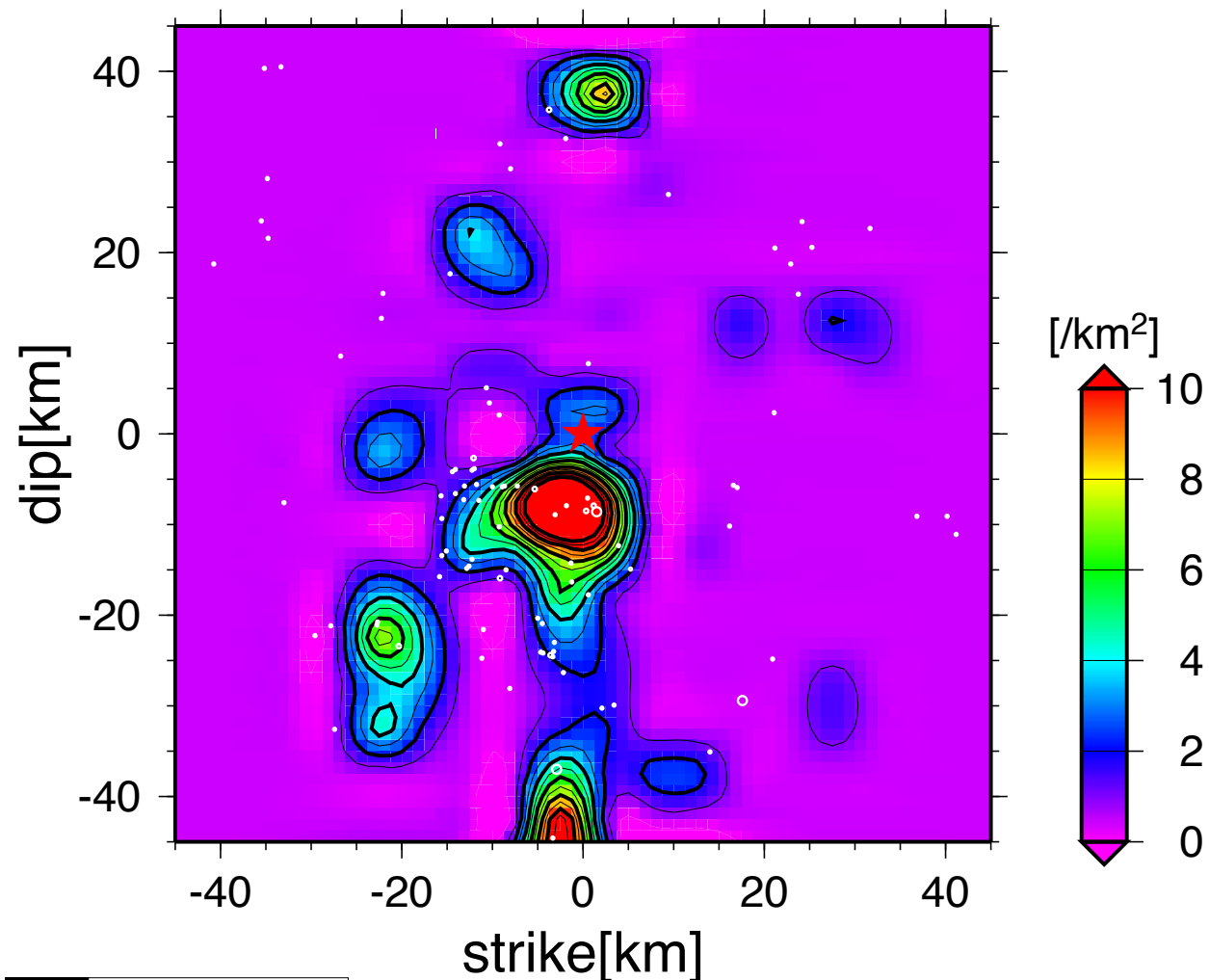
- ★ Dieterichモデルと余震の空間分布を元に、本震の滑り分布を求める手法を開発し、2005年宮城県沖地震へ適用
- ★ 得られた滑り分布は波形解析によるものと似た傾向
- ★ Dieterichモデルに含まれるパラメータの値も、これまでの研究で知られている値と整合的
- ★ メカニズム解・余震の3次元的な広がりなど、より現実的なモデリング

求められた断層モデルに基づく「予測」

- ★ 本震発生後**1日**の地震活動に合うような滑り分布を計算
- ★ では、その後（例えば**1ヶ月先**）の地震活動をどの程度「予測」出来ているか？

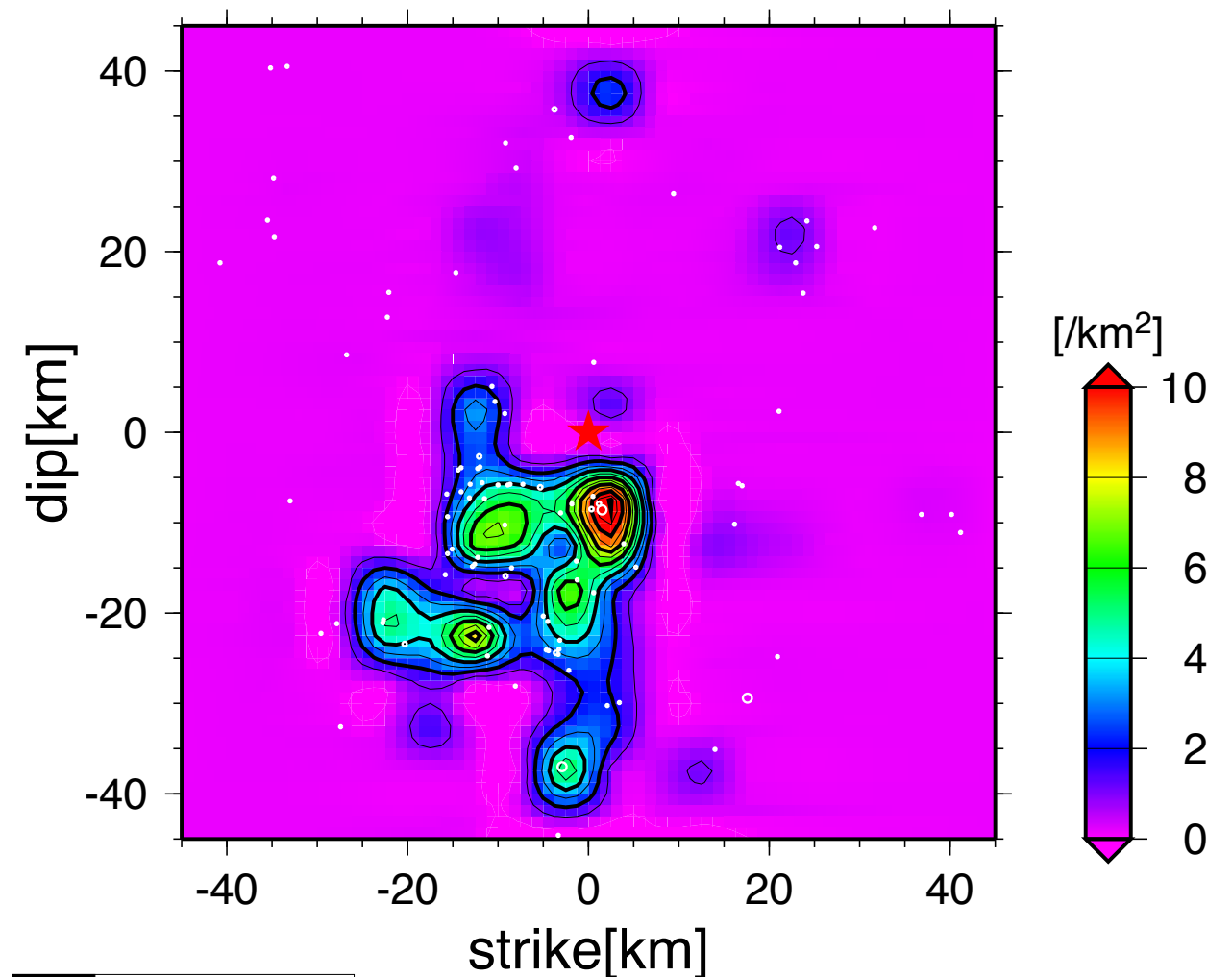
予測される地震の空間分布

1日: $LL = -289.61$



GMT 2008 Jul 16 13:04:30 res-mcmc-cff-080147-miyagi-w00001-00000001

1ヶ月: $LL = -167.02$



GMT 2008 Jul 16 13:21:48 res-mcmc-cff-080148-miyagi-w00001-00000001

「1日」の結果に基づく予測は「よい」か？

まとめ（その2）

- ★ 「予測」という観点からも、まだまだ改善の必要
- ★ afterslipなど、時間に依存して変化する要素も
考慮する必要
- ★ 滑りの時間変動も考慮出来るようにすれば、
afterslipの時空間インバージョン（など）への発展
（逐次データ同化？）

謝辞： 解析には気象庁震源データを用いました。記して感謝致します。