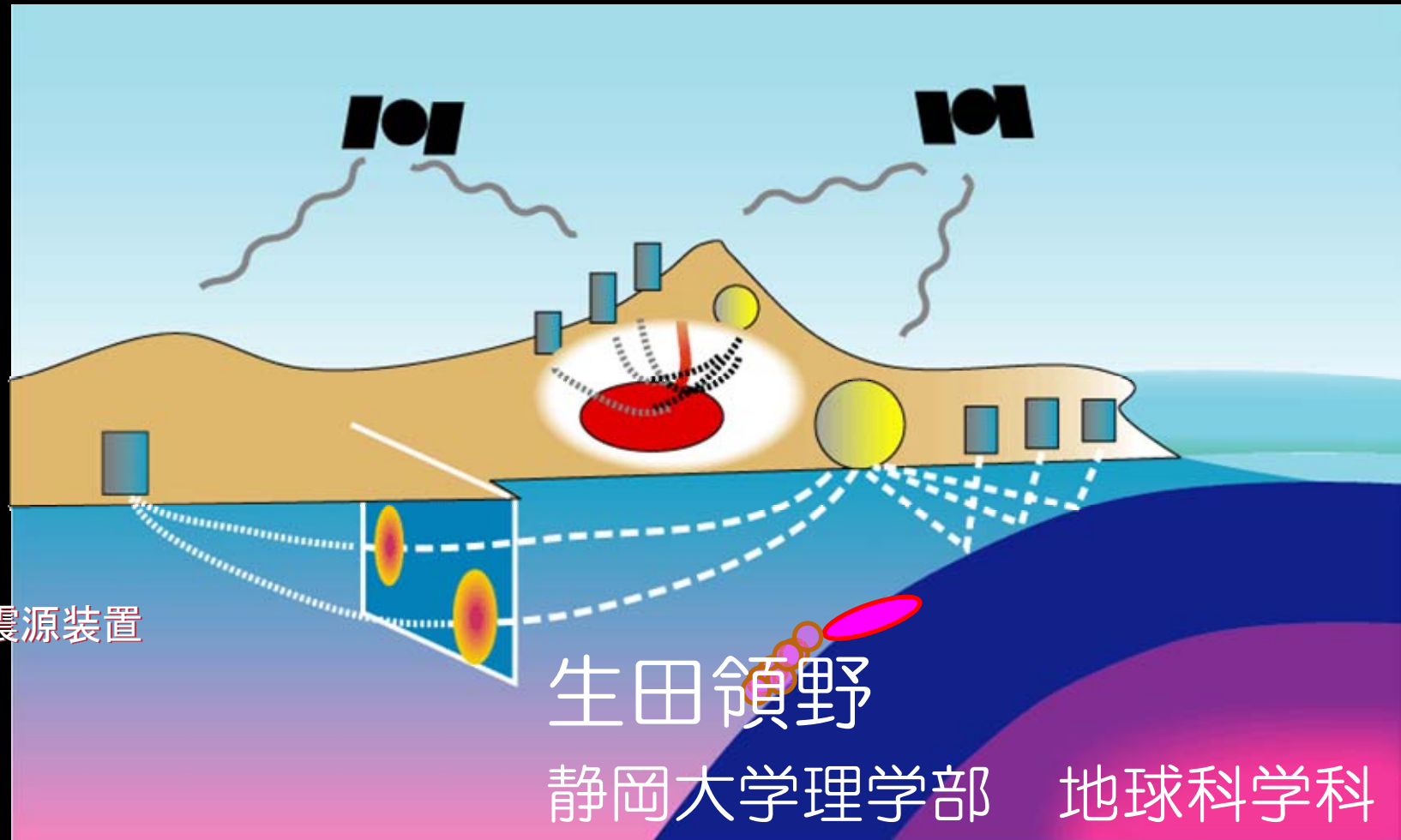


M9.0超巨大地震の正体を探る —震源域で何が起こっていたか?—



ACROSS震源装置



1. 地震の基礎知識

1-1. 地震の規模

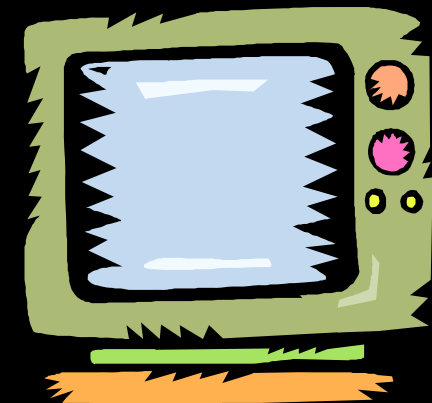
地震の規模； マグニチュード

地震(動) 地表面の揺れの大
きさの指標；震度

断層運動により
放出されるエネ
ルギーの指標；
マグニチュード

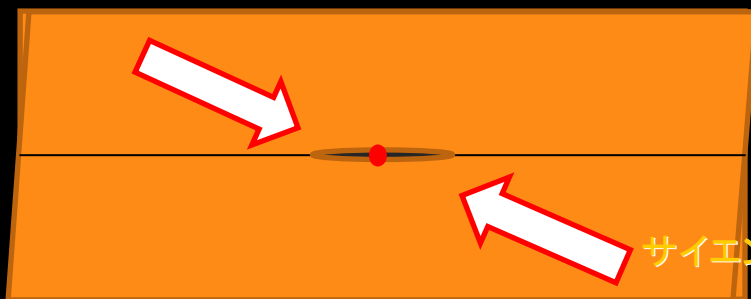
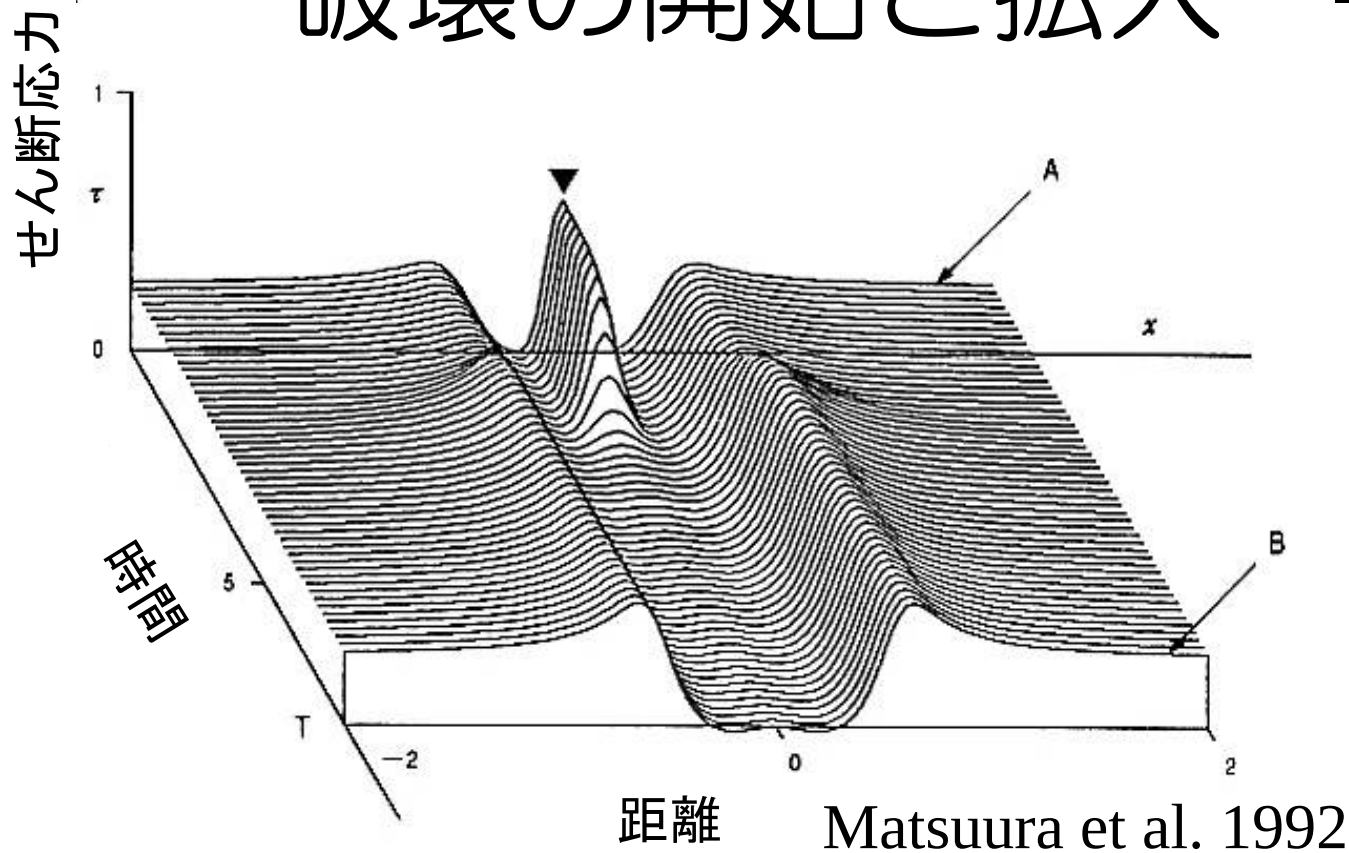
地震

〇時〇分頃、東北地方を中心
に震度5強の地震が発生しま
した。震源の深さは10km、地
震の規模を示すマグニチュー
ドは6.2。念の為沿岸部では津
波に注意してください。各地の
震度は以下の通りです。



サイエンスカフェ@July. 21, 2011

破壊の開始と拡大



破壊の端には力が集中するので
いったん始まった破壊は簡単には止まらない

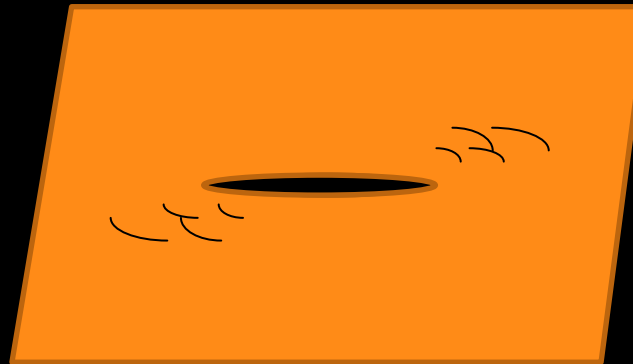
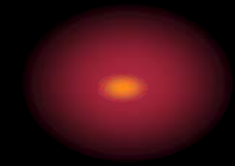
破壊伸展の条件

グリフィスの破壊基準; 応力 $\sigma_c = \sqrt{\frac{4E\gamma_s}{\pi c}}$

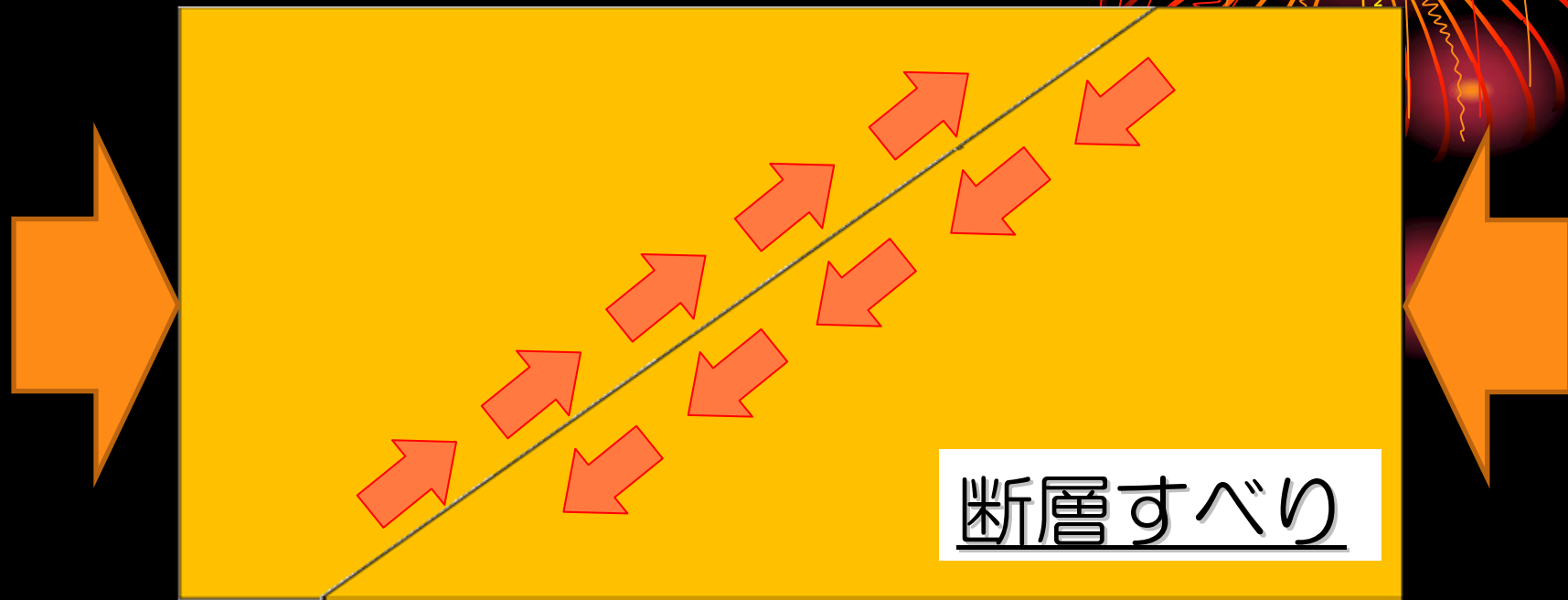
γ_s ; 単位面積あたりの表面エネルギー

もともと長さ c の亀裂があったとき, σ_c を越える
応力がかかると亀裂が自発的に伸展する.

「弾性エネルギーの減少 < 表面エネルギーの増加」



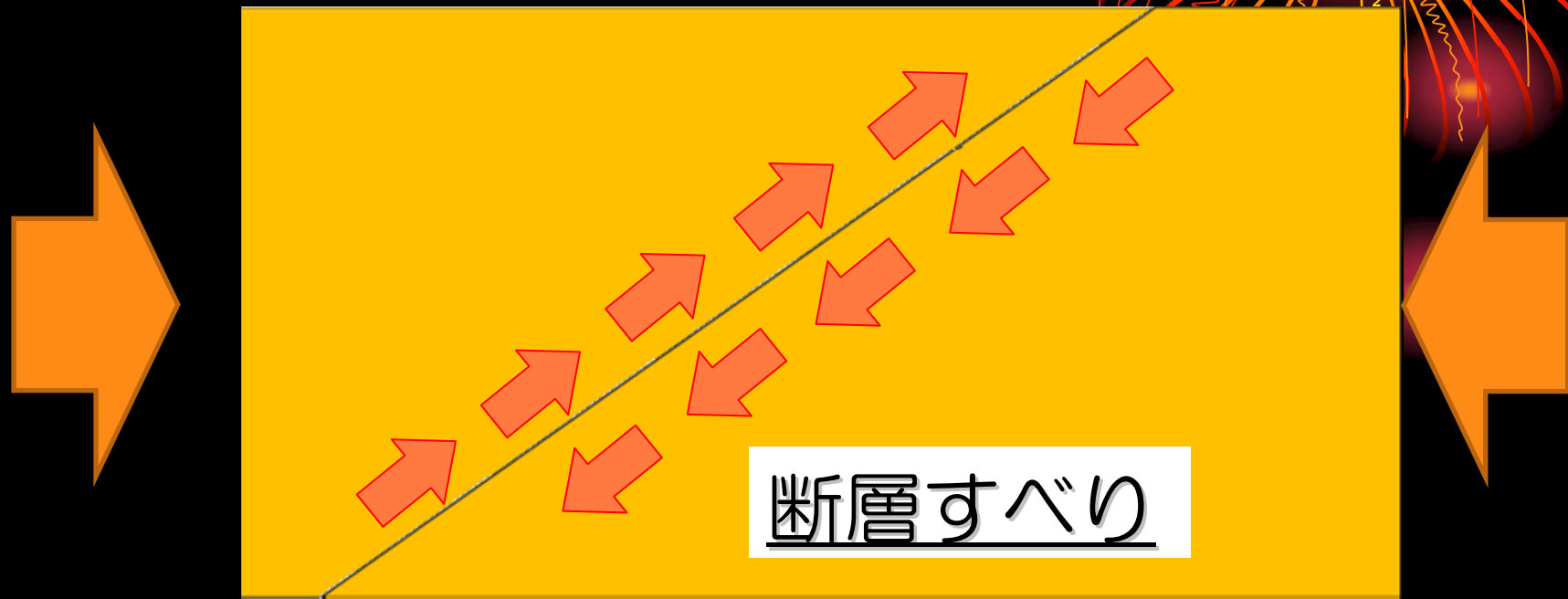
破壊の（すこしゆるい）条件



クーロンの破壊基準

せん断力 > 断層の摩擦強度

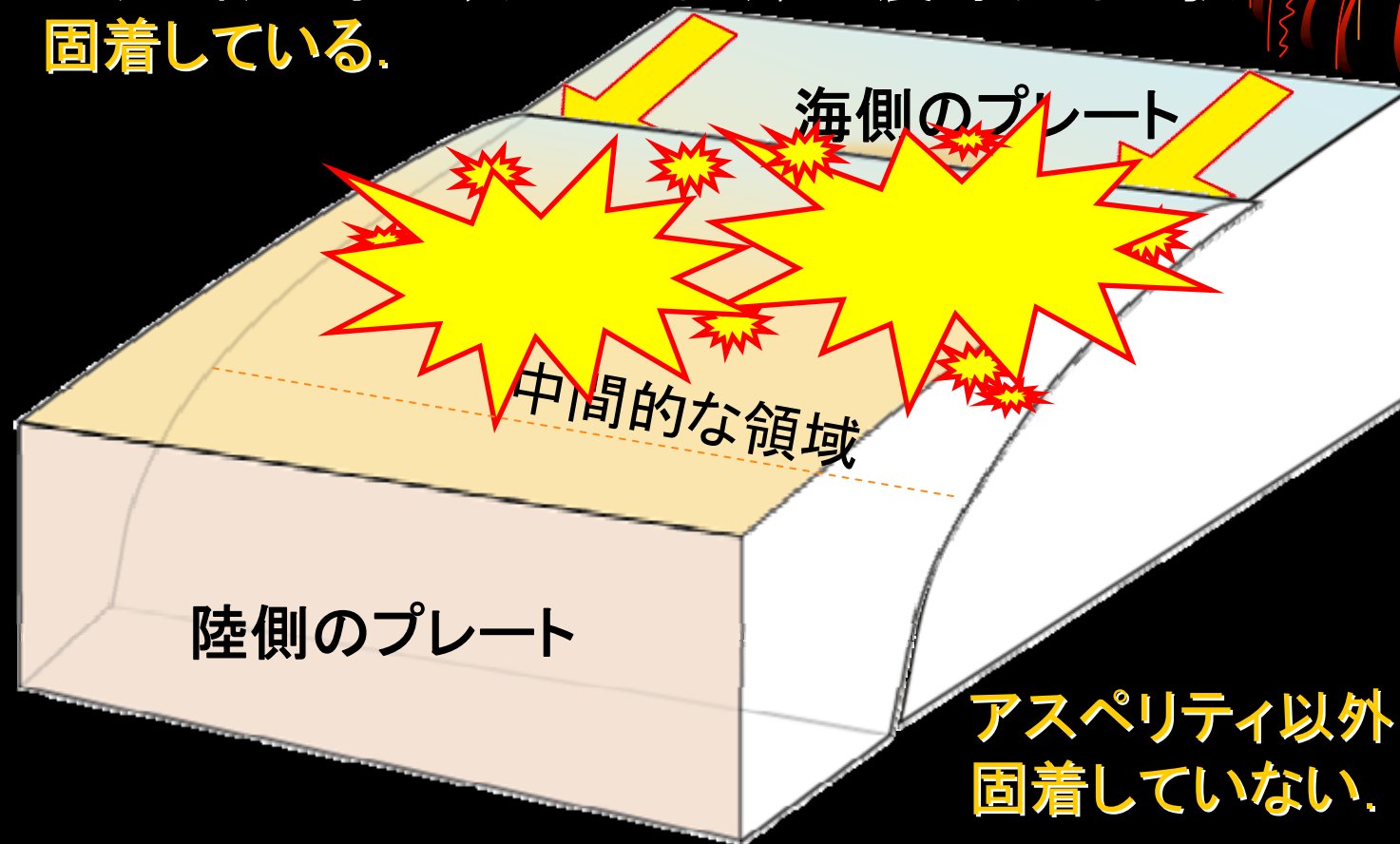
ひずみの蓄積とすべり量



押された以上に滑ることはできない
(グリフィスの破壊基準は“途中で止まらない”と言っている)

アスペリティモデル

海溝型地震で強い地震波を放出する場所(アスペリティ)は予め決まっており、地震時以外は強く固着している。

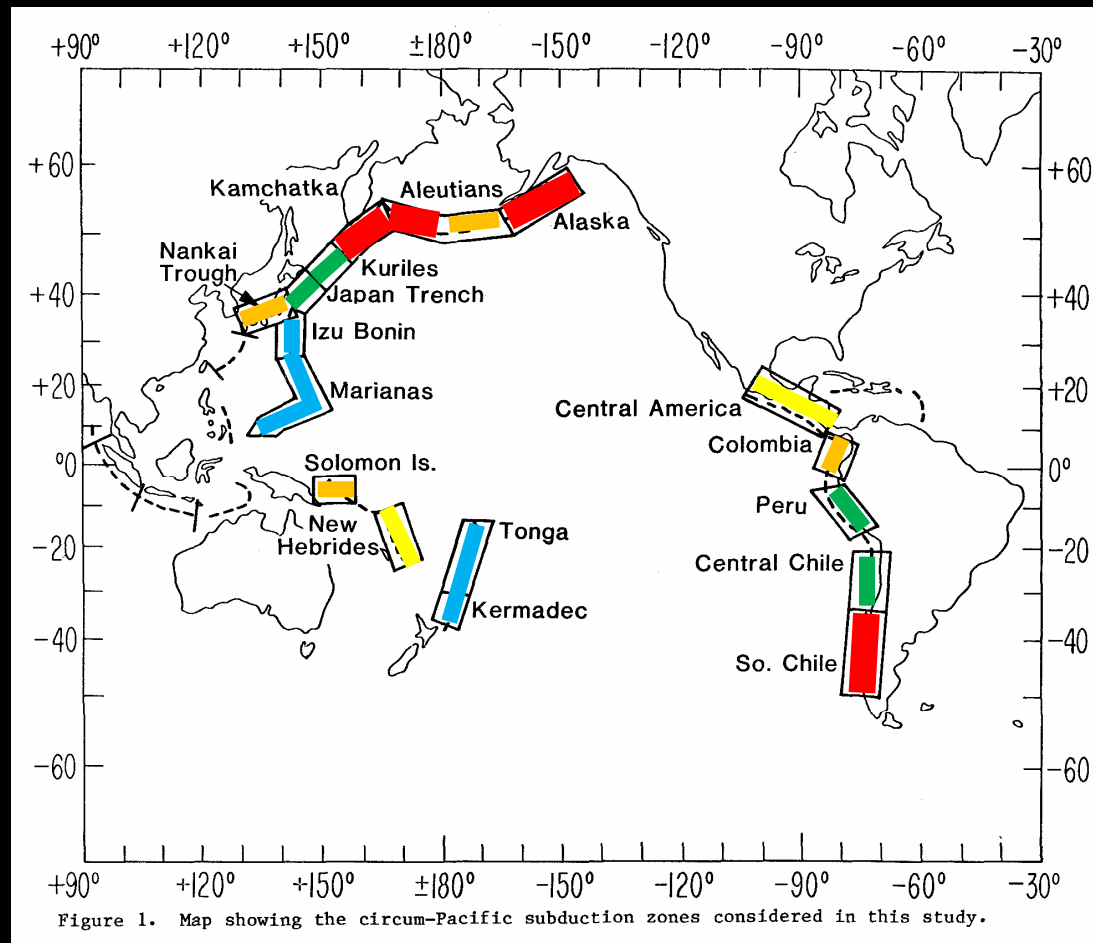


アスペリティ以外の場所は普段固着していない。



2. 地震とアスペリティ

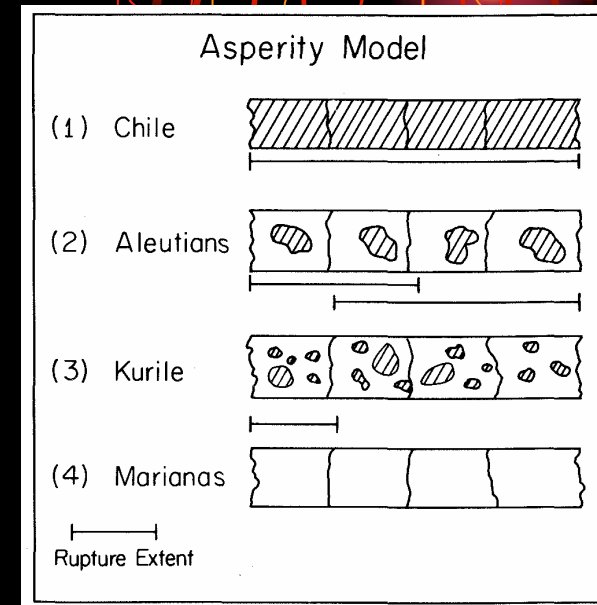
アスペリティモデル



Lay and Kanamori (1981)

2-1. 強度のばらつき

- M9クラスを起こせる
- 時々で規模が異なる
- あまり大きな地震を起こせない
- 大きな地震がない

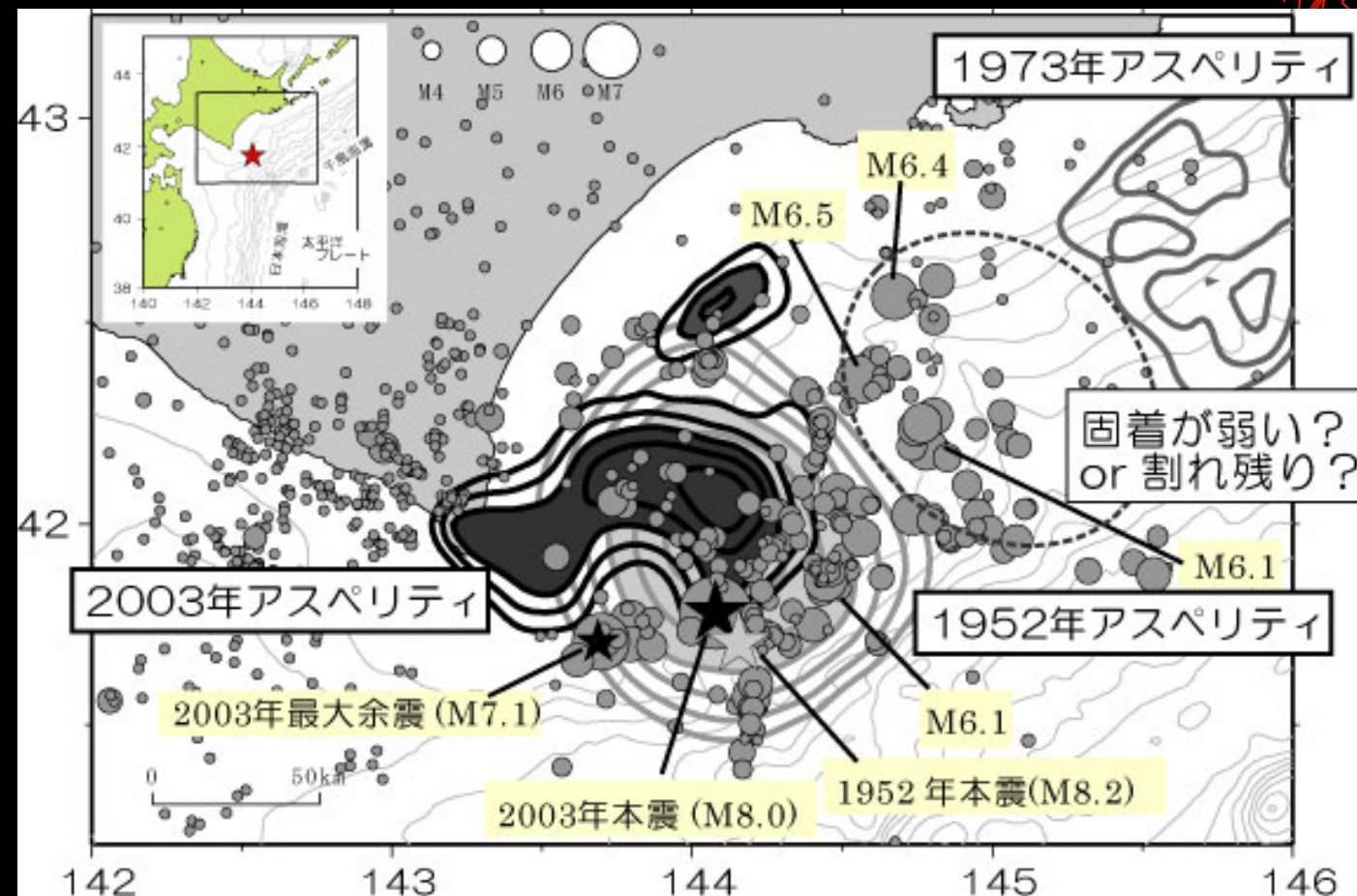
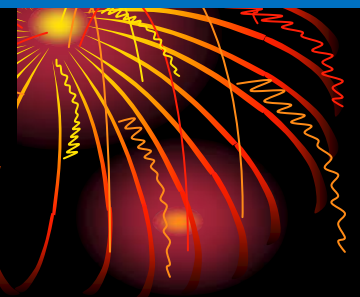


2. 地震とアスペリティ

アスペリティ仮説
→セオリーへ

予想された場所（アスペリティ）

・規模で起こった 2003年十勝沖地震



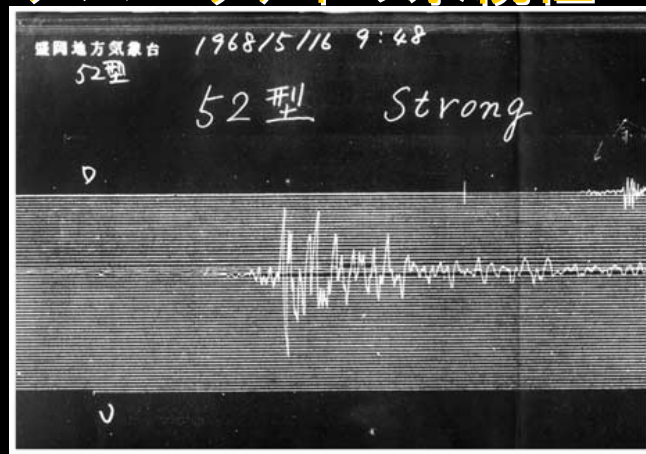
プレート沈み込み速度
約10cm/年
× 50年
約5m
地震時のすべり

2. 地震とアスペリティ

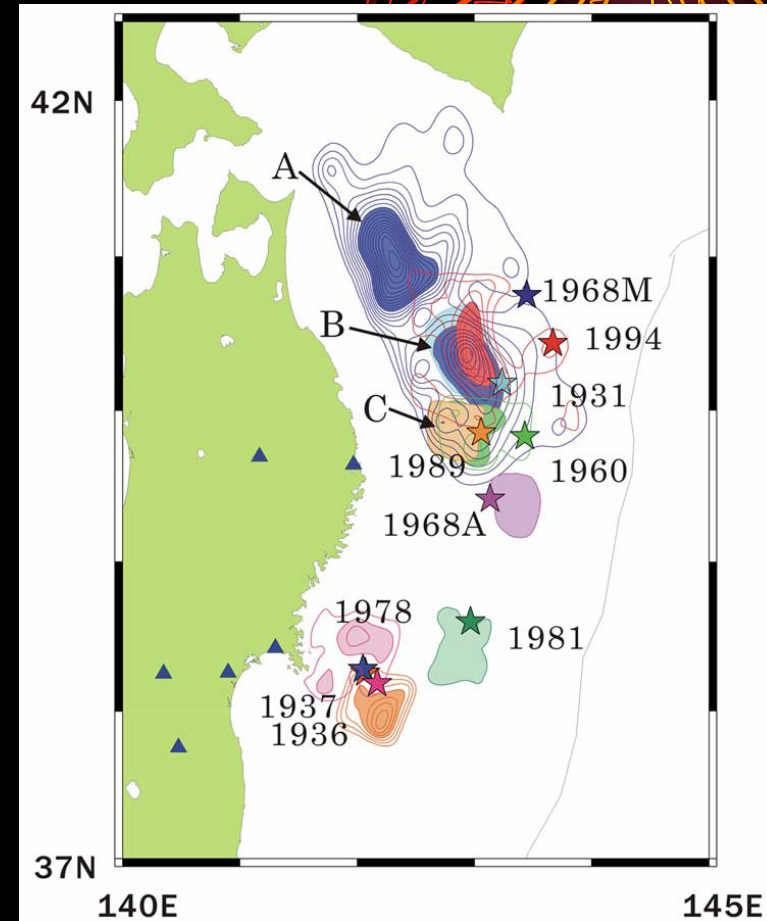
2-3. アスペリティ仮説 →セオリーへ

精査された過去のアスペリティ

アスペリティの永続性



過去70年間のM7クラスの地震を調べると、「大きくすべる場所には再現性がある」ことが分かった。ただし連動することもある。

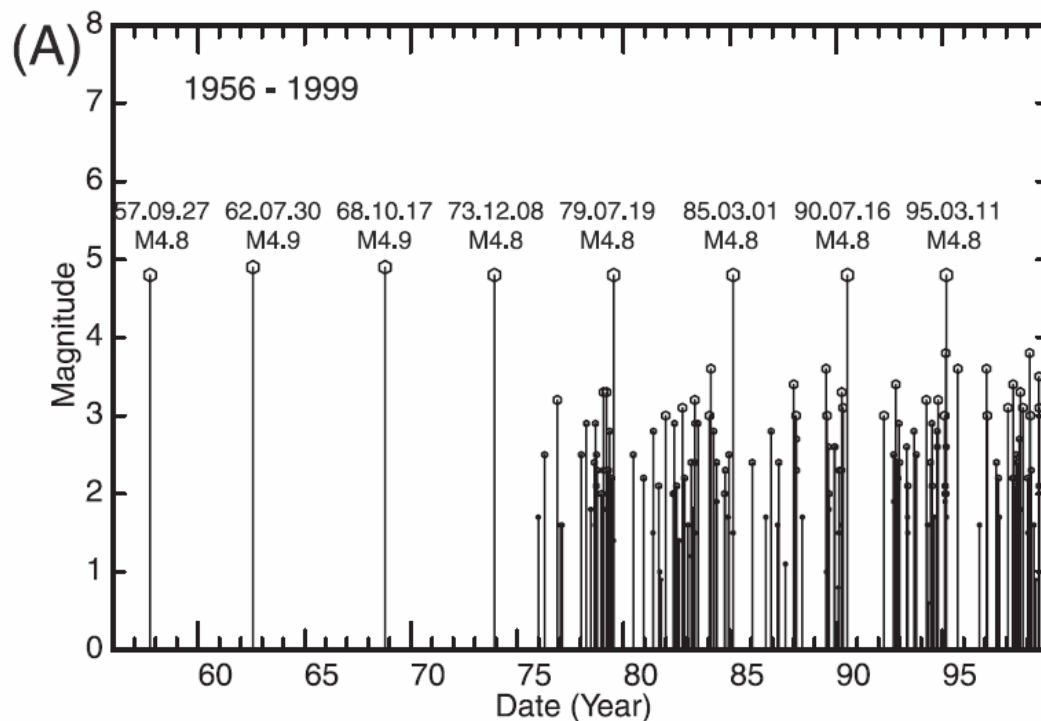
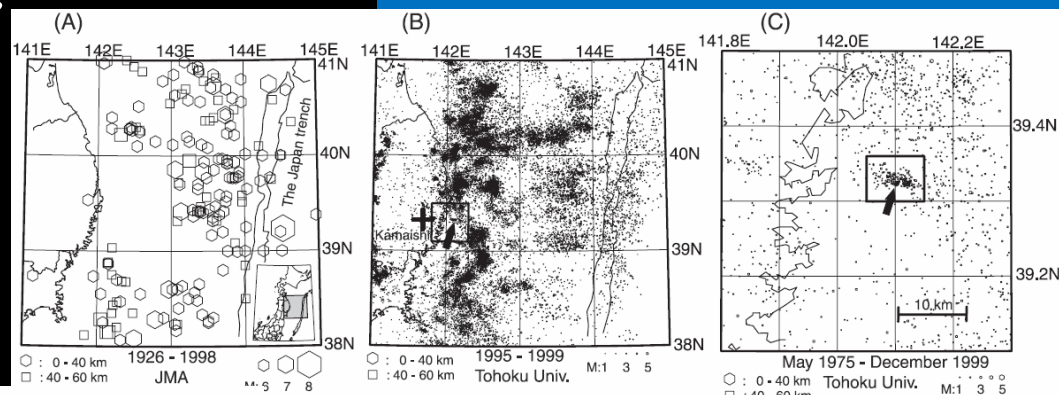


Yamanaka & Kikuchi, 2003

2. 地震とアスペリティ

小さなアスペリティ

2-3. アスペリティ仮説 →セオリーへ



Matsuzawa et al., 2002

ほぼ同じ大きさの地震が
約5.5年周期で繰り返す。
(2001年11月/2008
年1月)

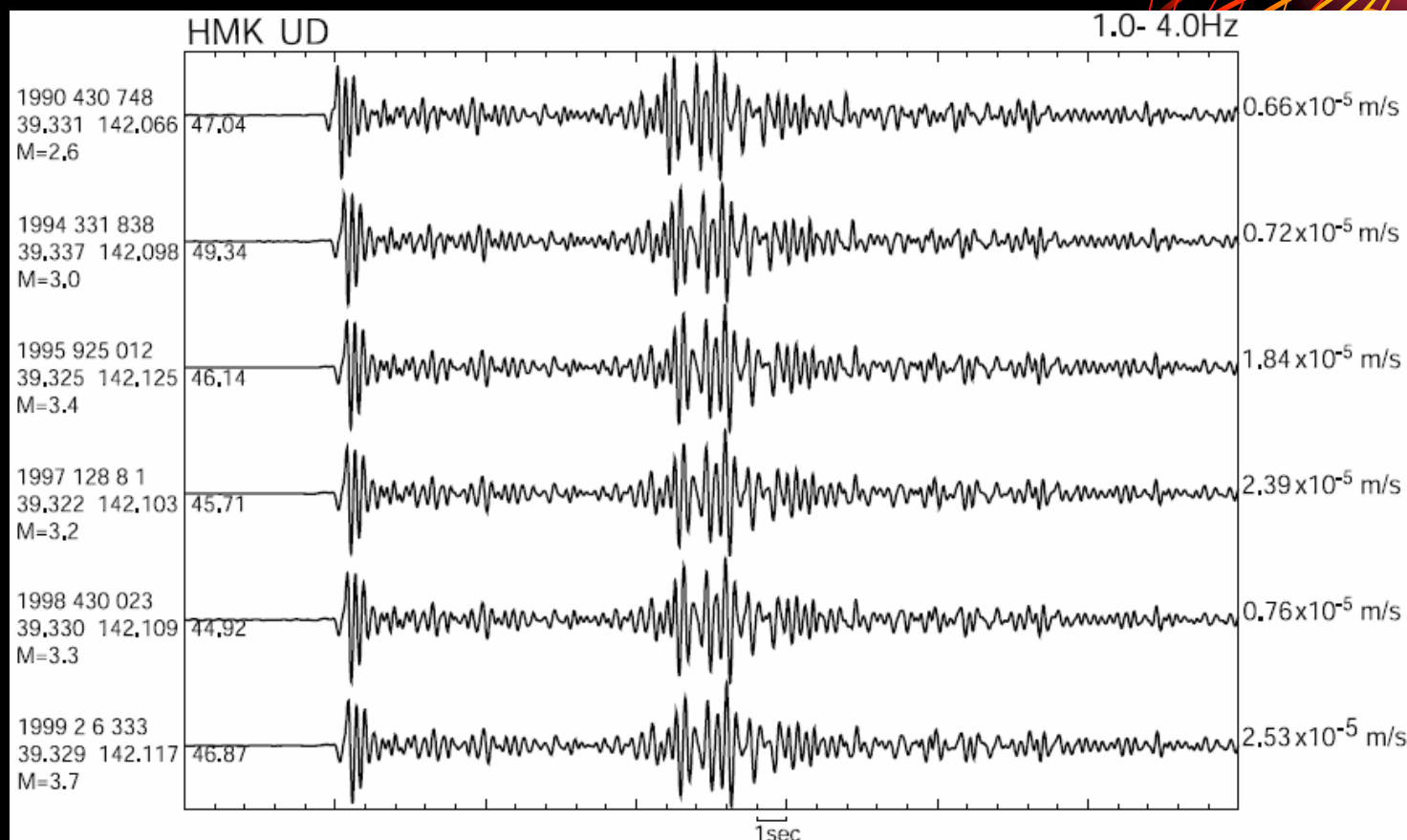


アスペリティの永続性

2. 地震とアスペリティ

2-3. アスペリティ仮説 →セオリーへ

ごく小さなアスペリティ



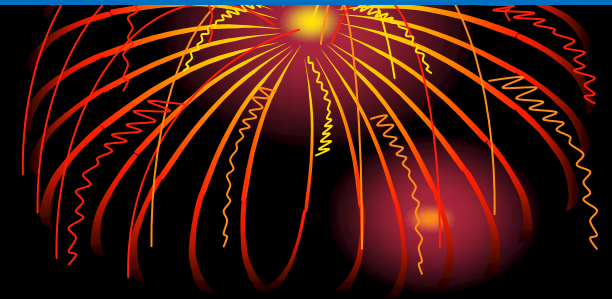
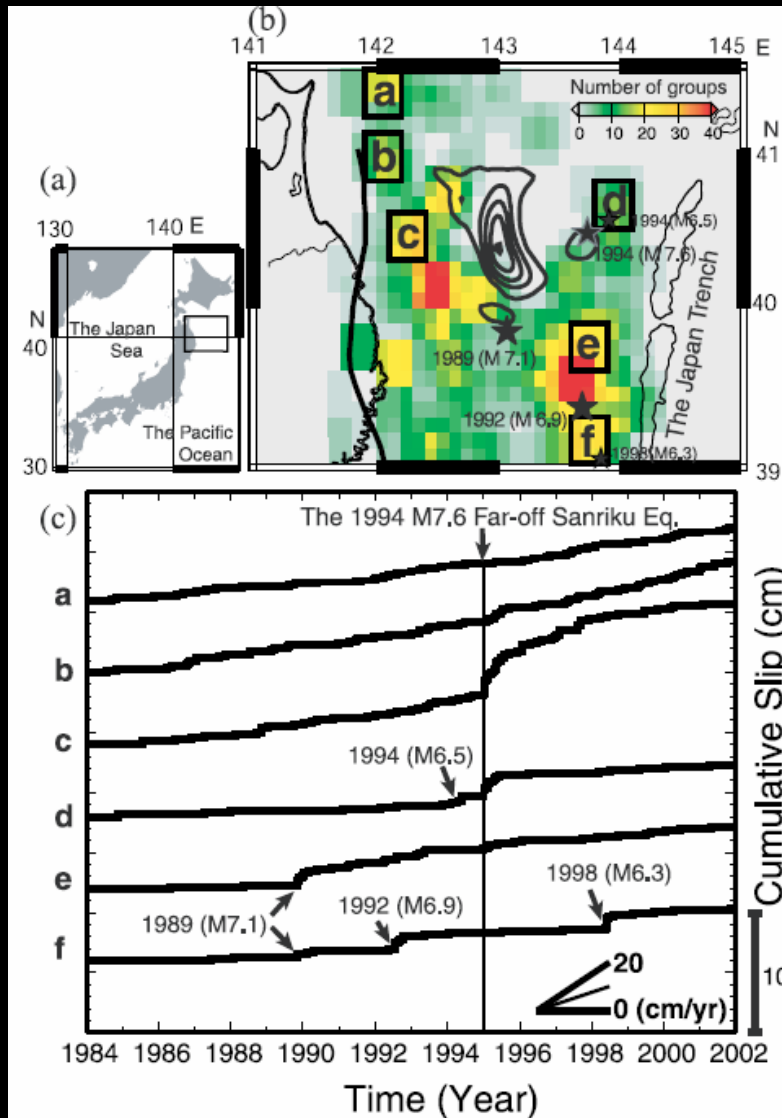
繰り返し起こる非常によく似た波形の地震＝「微小繰り返し地震」

Igarashi et al., 2002

2. 地震とアスペリティ

2-3. アスペリティ仮説 →セオリーへ

ごく小さなアスペリティ



微小繰り返し地震により断層面上でのすべり速度が推定できた。



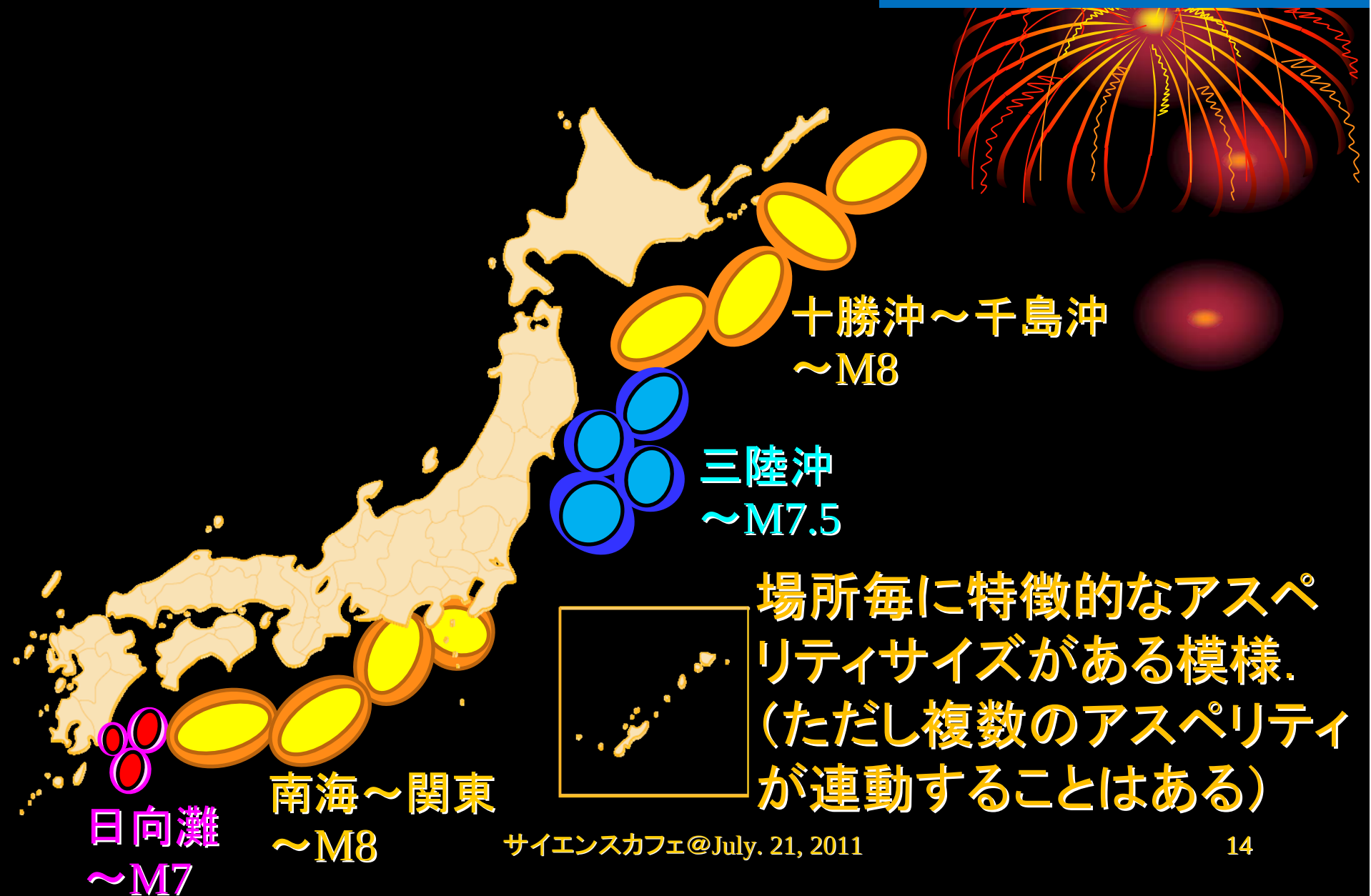
- ・ごく小さなアスペリティにも永続性
- ・それらは地震すべりによってのみプレート間の食い違いを解消。

Uchida et al., 2003

2. 地震とアスペリティ

アスペリティ

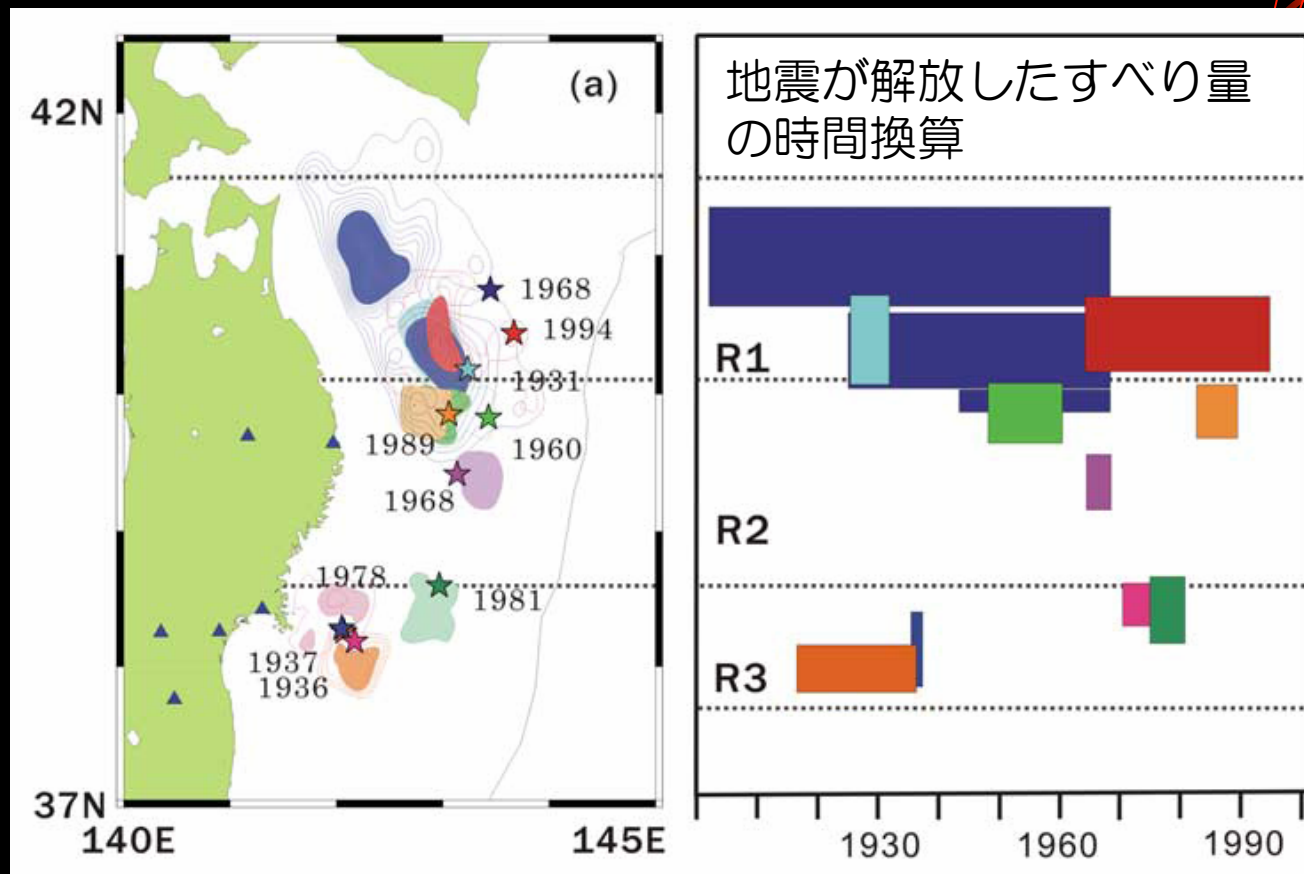
2-3. アスペリティ仮説 →セオリーへ



2. 地震とアスペリティ

2-3. アスペリティ仮説 →セオリーへ

東北地方のアスペリティ



大地震のアスペリティは海溝沿いにほぼ万遍無く存在するが、その解放量は必ずしも一様ではない。「アスペリティでない場所はずるずるすべって解放している」

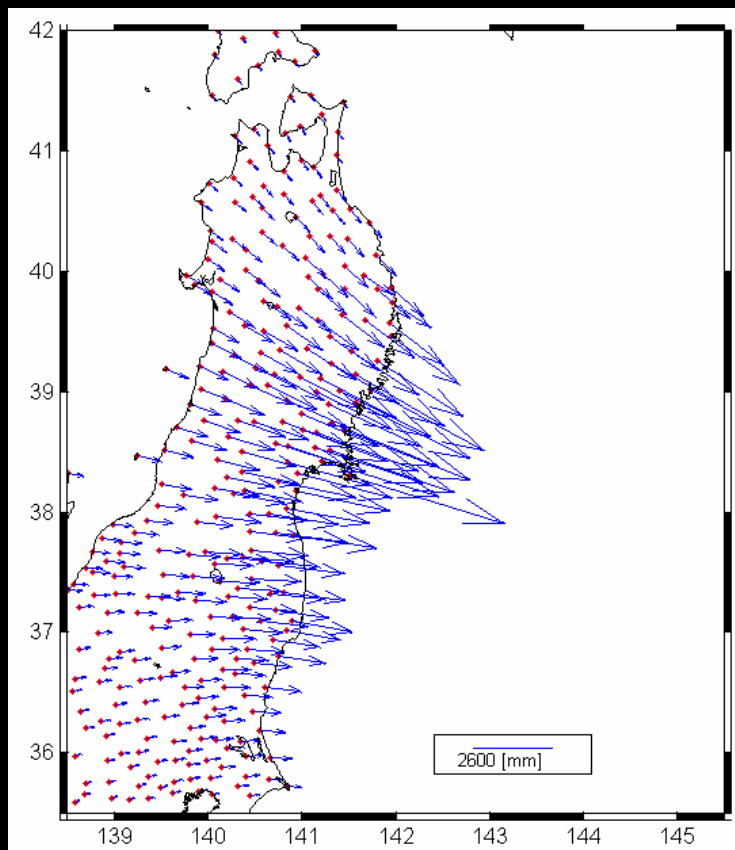
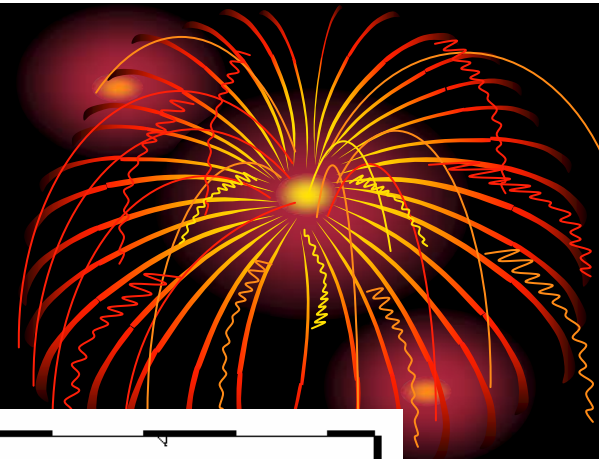
サイエンスカフェ @ July 21, 2011

Yamanaka & Kikuchi, 2003

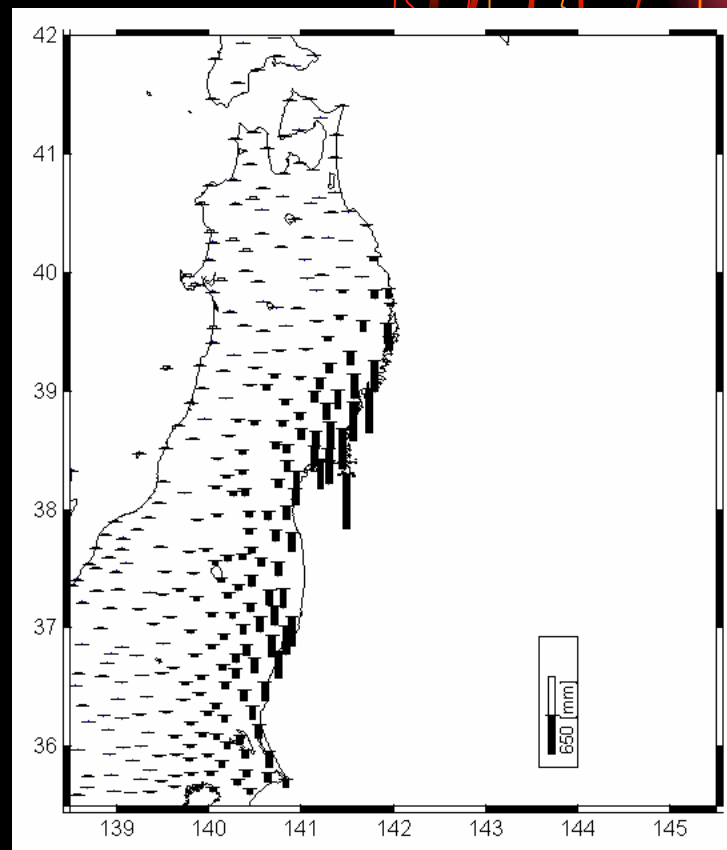
3. 常識を覆した巨大地震

M9.0巨大地震の発生

地震時の変位



最大5mの水平変位



最大90cmの沈降

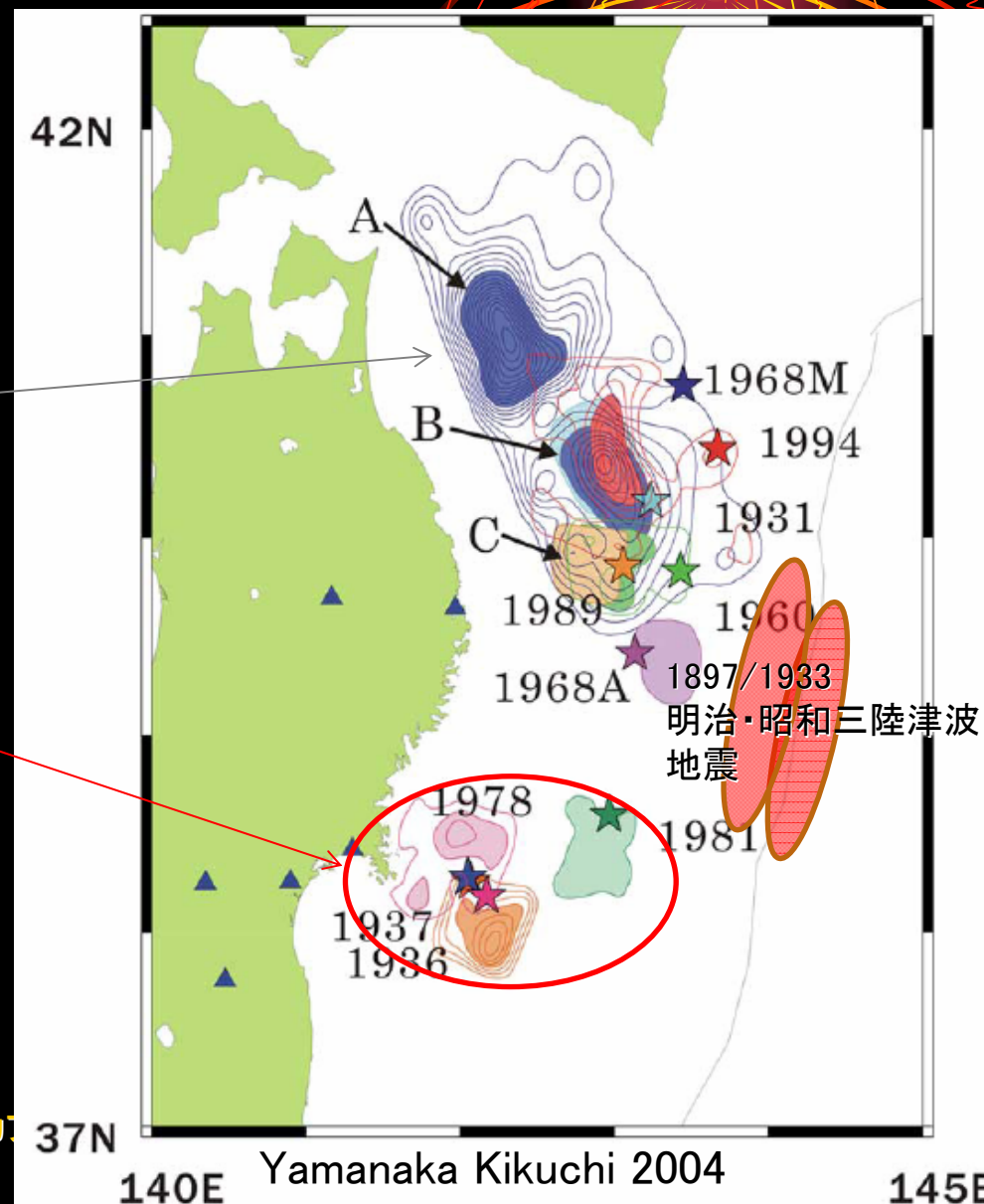
サイエンスカフェ@July. 21, 2011

3. 常識を覆した巨大地震

3-1. 地震の長期予測

地震調査研究推進本部による長期予測

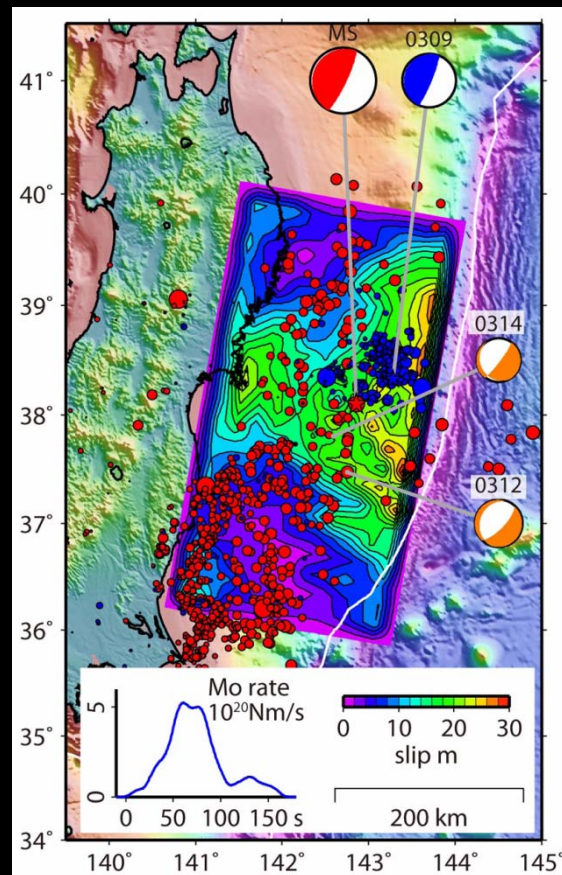
領域・地震名		予想地震規模	30年確率
三陸沖から房総沖海溝寄り	津波地震	Mt8.2前後	20%
	正断層型	8.2前後	4-7%
三陸沖北部		8.0前後	0.5-10%
宮城県沖	7.5前後	連動8.0前後	99%
三陸沖南部海溝寄り	7.7前後		80-90%
福島県沖	7.4前後(複数の地震が続発する)		7%程度以下
茨城県沖	6.7-7.2		90%以上



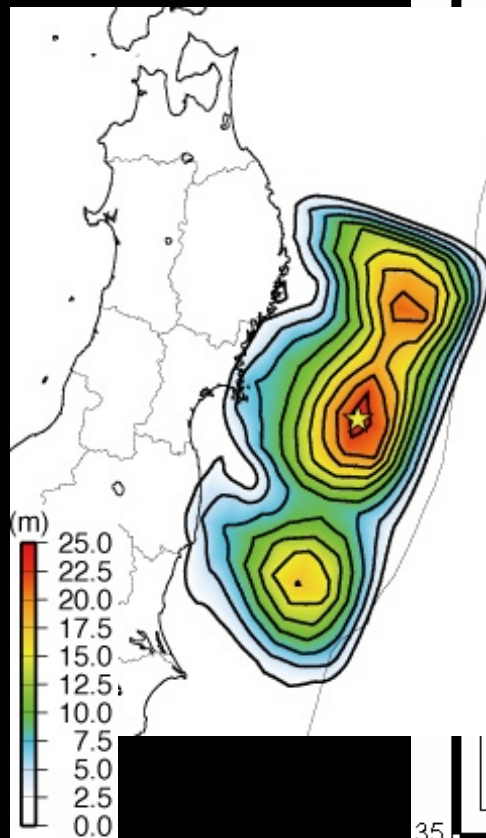
地震調査研究推進本部(文科省)
地震調査委員会による長期評価(2011)
を改変

3. 常識を覆した巨大地震

既知のアスペリティと 巨大地震のすべり域

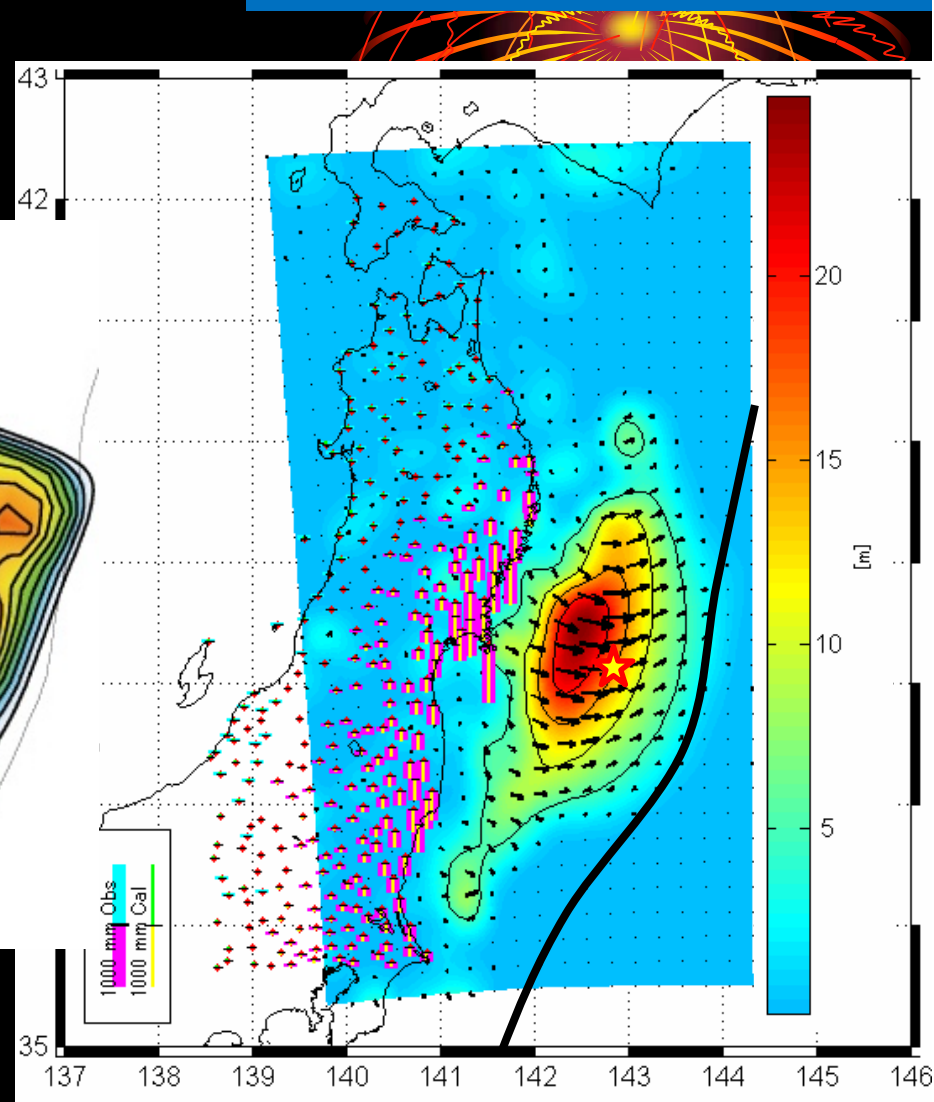


Ide et al., 2011



八木, 2011

3-2. 既知アスペリティと すべり域

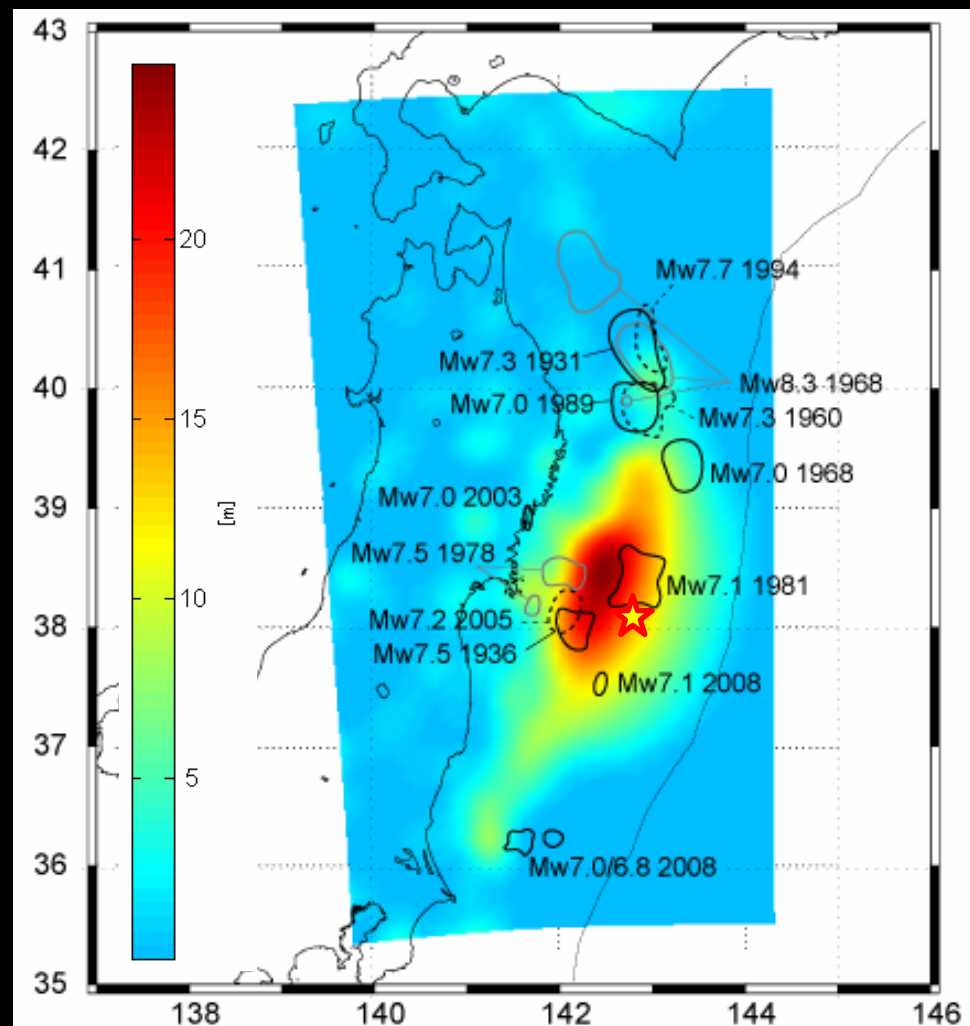


本研究

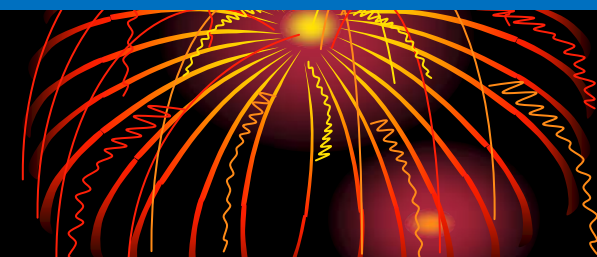
サイエンスカフェ@July. 21, 2011

3. 常識を覆した巨大地震

既知のアスペリティと 巨大地震のすべり域



3-2. 既知アスペリティと すべり域



既知のアスペリティを複数
含み、しかも前回地震後の
引きずり込みよりもずっと
大きくすべっている。

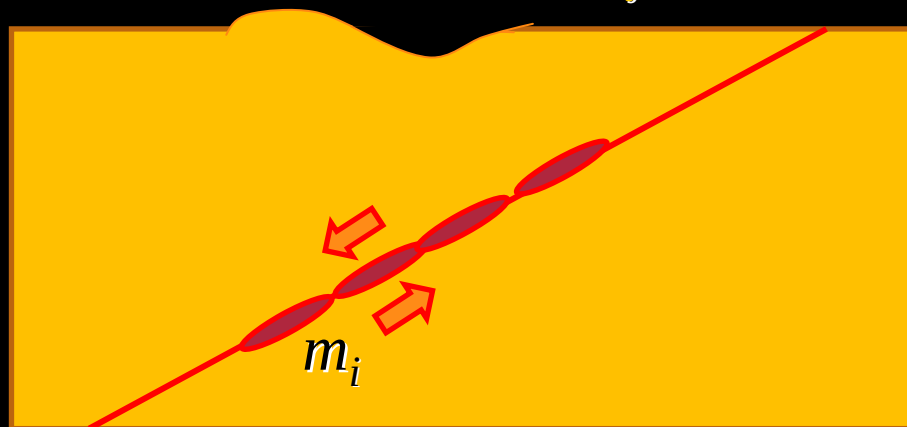
- 30年前にM7.1を起こした
場所が20mすべっている
(貯まっているのはせいぜ
い3mのはず)
- 想定宮城県沖地震のアス
ペリティも10m以上(予想
は2-3m)

4. 超巨大地震の震源域と準備過程

4-1. 解析手法

解析手法：逆問題解析（インバージョン）

結果：地表 j が変形した（ u_j ）



原因：微小な領域 i で食い違いがあった（ m_i ）

結果 ← 弾性体 ← 原因
原因

$$u_j = \sum_i G_{ji} m_i$$

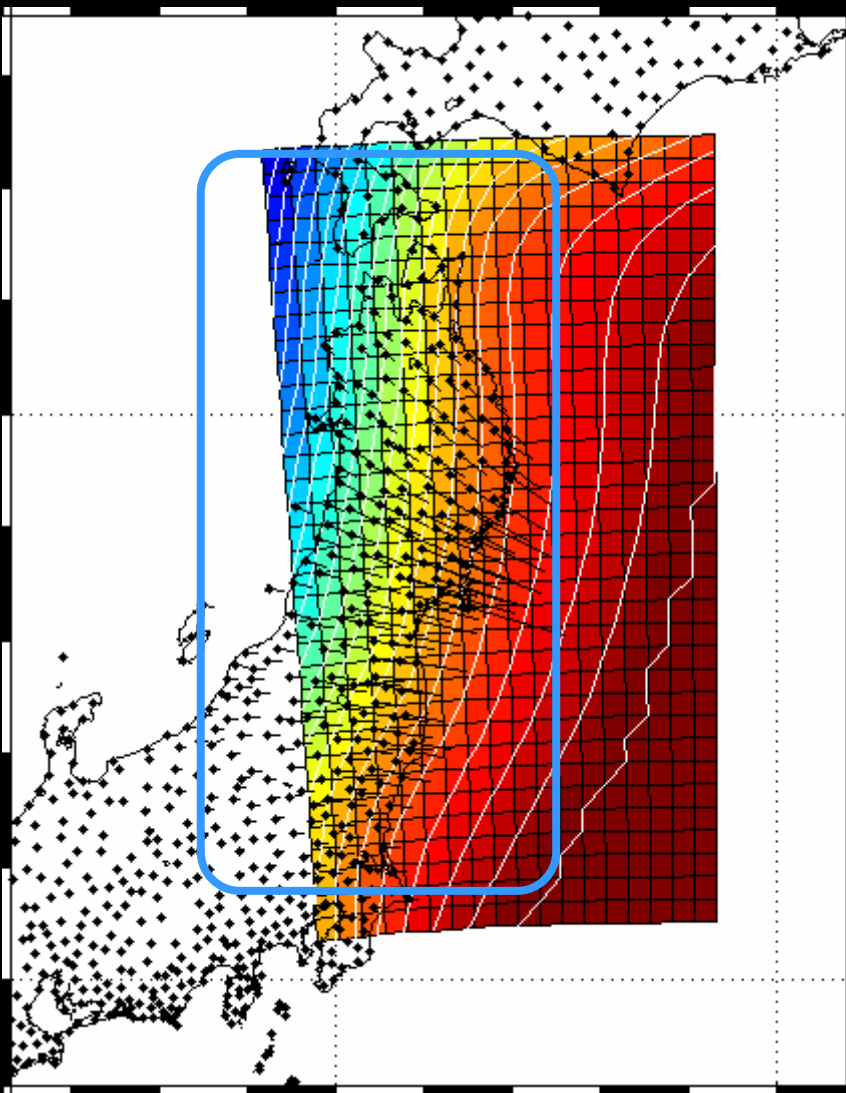
食い違い m について
連立方程式を解く

$$\left\{ \begin{array}{l} u_1 = \sum_i G_{1i} m_i \\ u_2 = \sum_i G_{2i} m_i \\ \vdots \\ u_j = \sum_i G_{ji} m_i \end{array} \right.$$

4. 超巨大地震の震源域と準備過程

4-2. すべり域の解明

3.11 地震のすべり域の解明



- ・ 未知数；プレート境界面上の $700 \times 350 \text{ km}$ の領域を $35 \times 18 = 630$ 個に区切ったグリッド上のすべり.
- ・ GPSデータ；290点分

連立方程式の数（データ数）

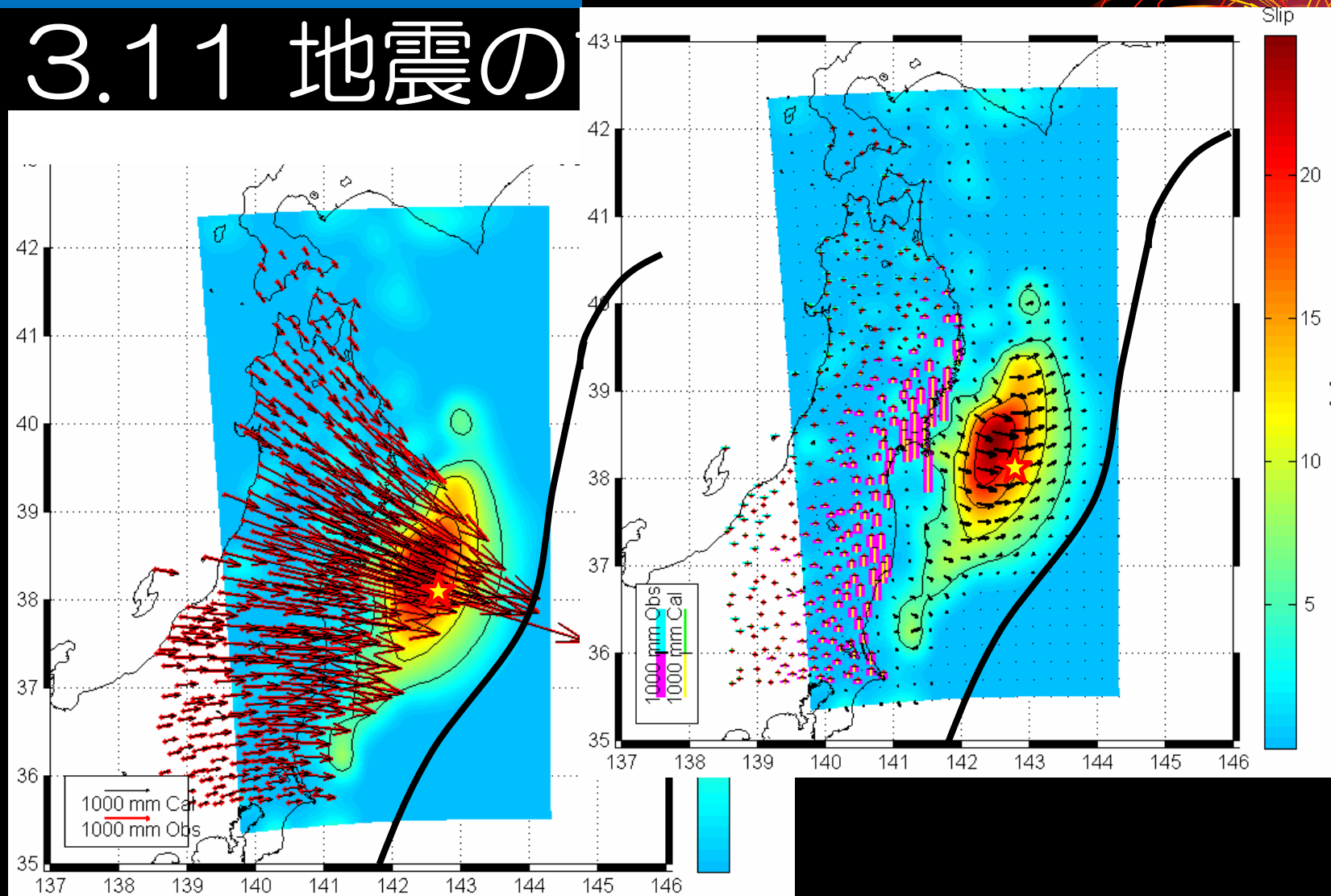
より未知数が多く解けない。

制約条件を入れて解を解く。
「分解能の無い場所の食い違い量は小さい」

4. 超巨大地震の震源域と準備過程

4-2. すべり域の解明

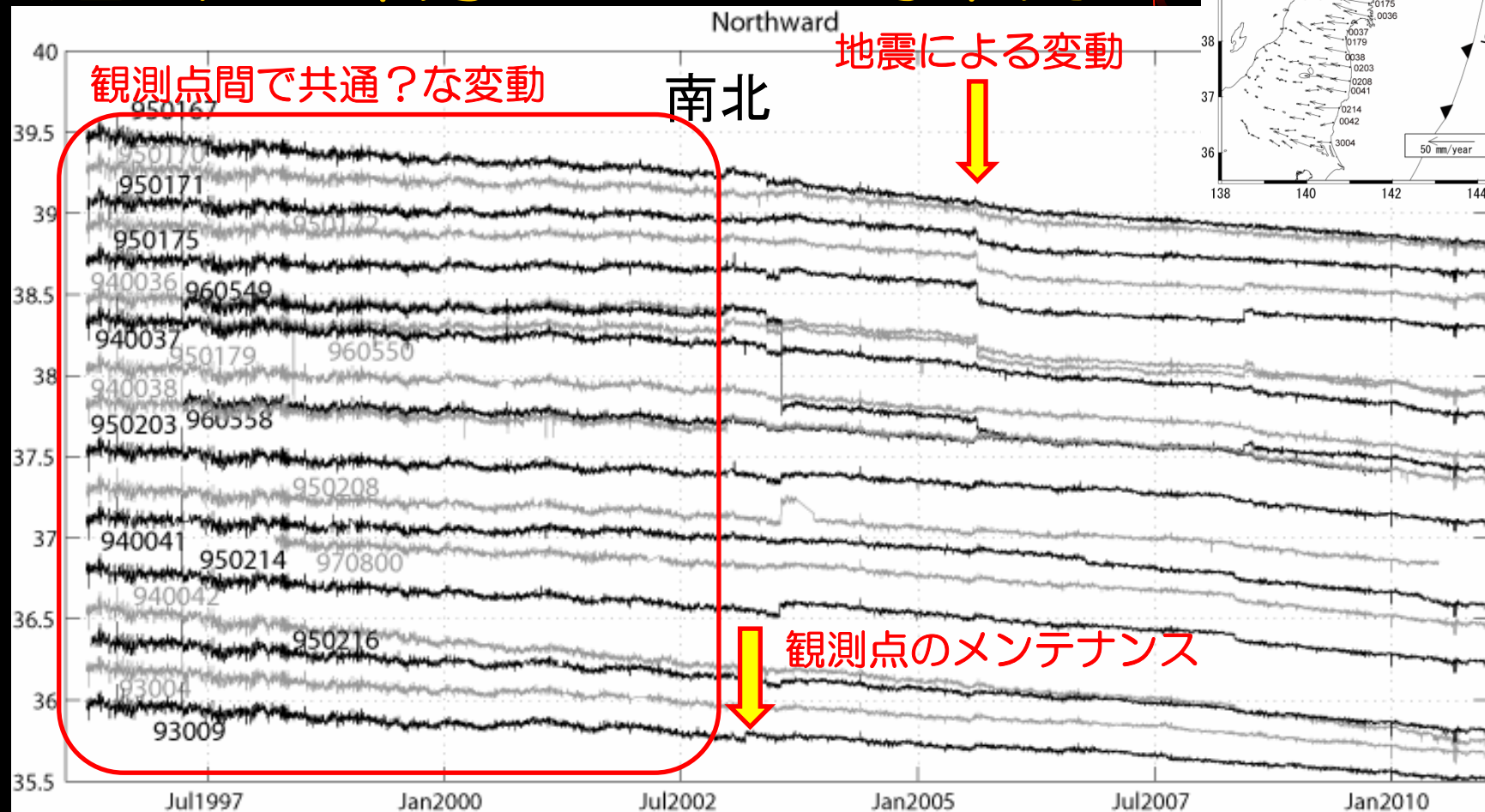
3.11 地震の



$M_w 8.8$; 地震波の解析に比べ小さいが、沖合に分解能が無いことを思えば 22 妥当か。

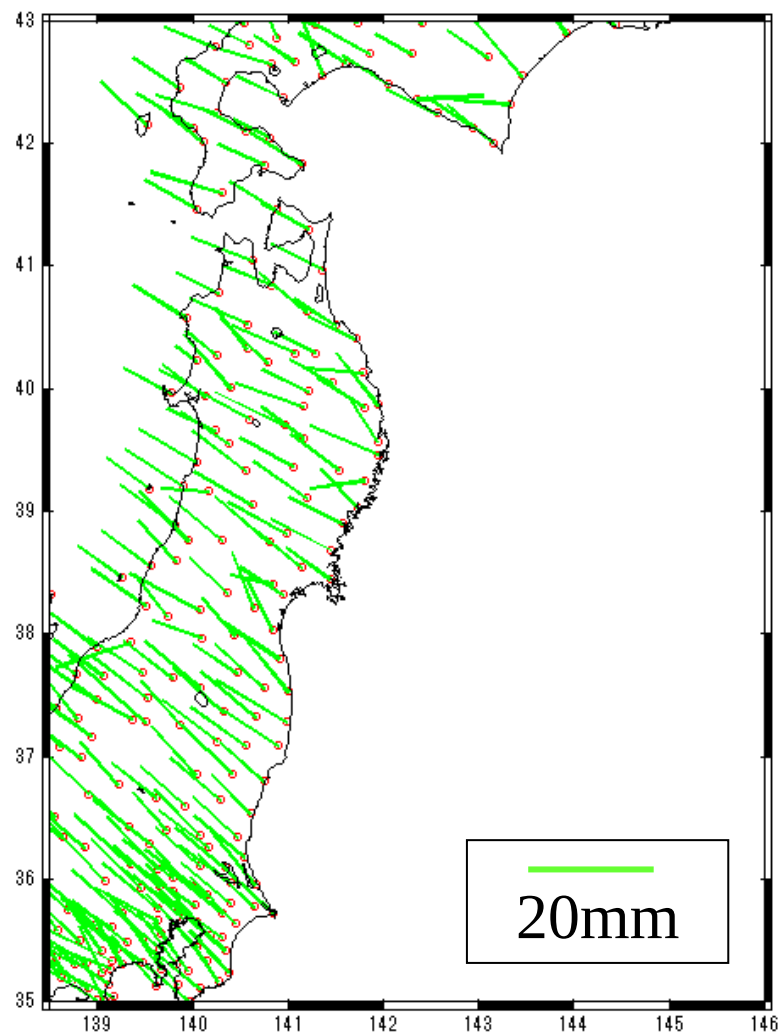
サイエンスカフェ@July. 21, 2011

4-3. 準備過程の解明



4. 超巨大地震の震源域 と準備過程

1996年12月11－12日



4-3. 準備過程の解明

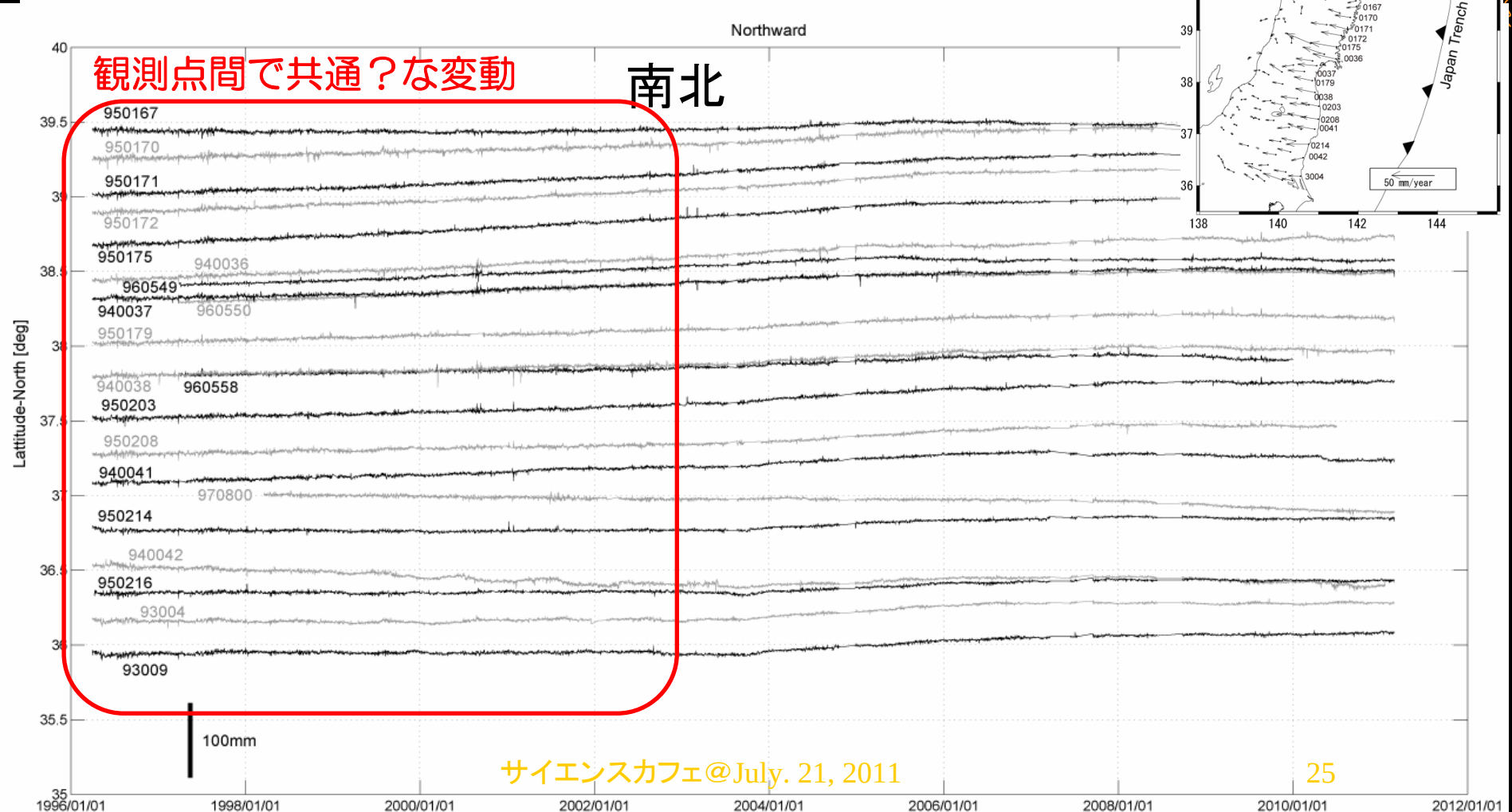
データの準備

観測点間で相関のある
短期の変動が邪魔

4. 超巨大地震の震源域 と準備過程

4-3. 準備過程の解明

3.11地震の準備過程の解明 過去15年分のGPSの時系列

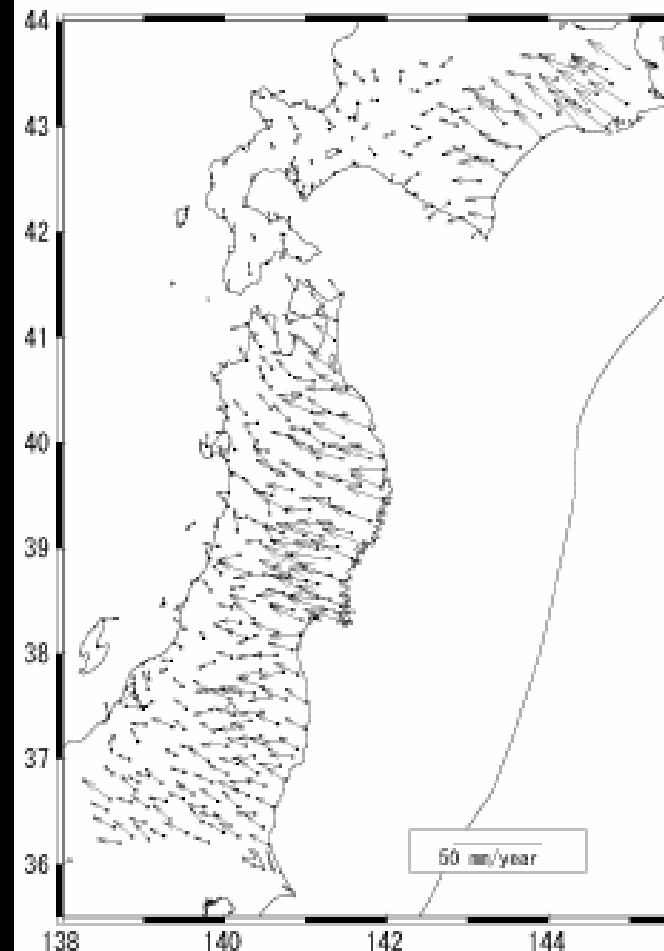


4. 超巨大地震の震源域 と準備過程

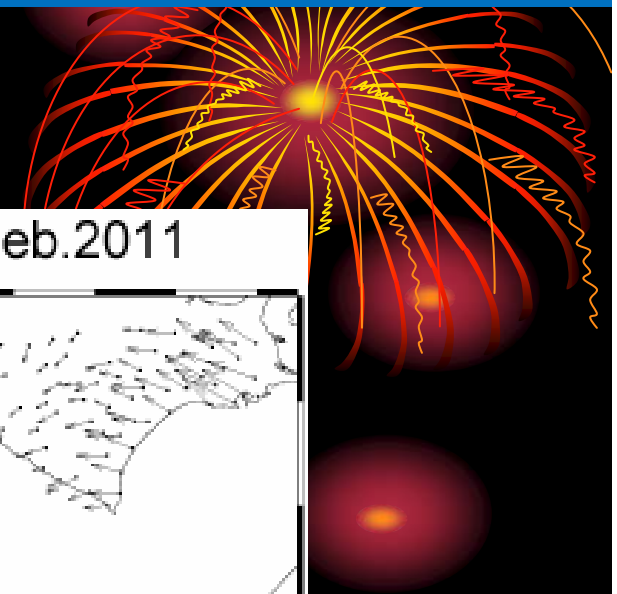
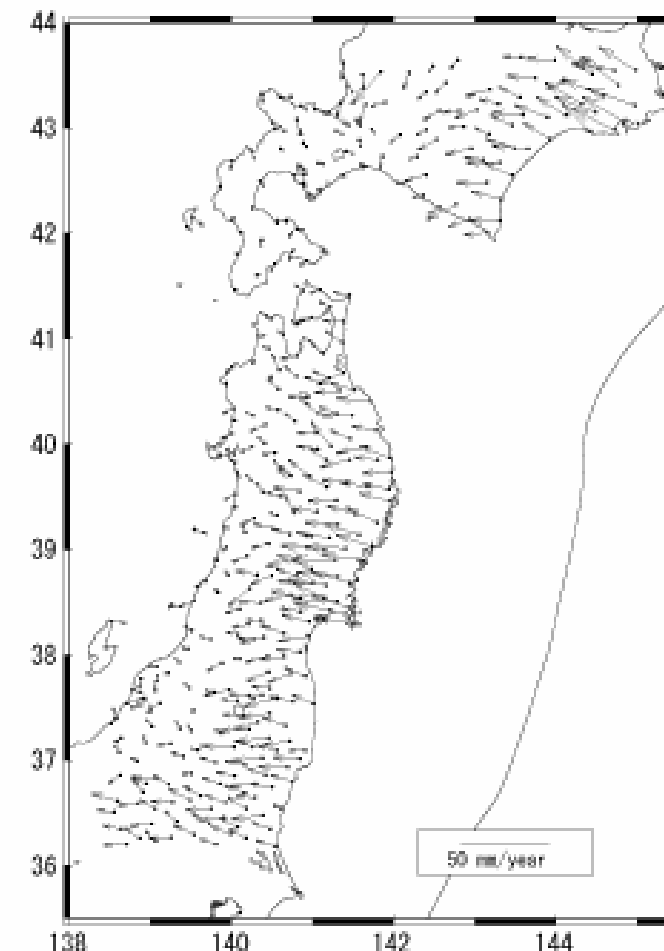
4-3. 準備過程の解明

地殻変動の経年変化

(o) Apr.2009-Mar.2010



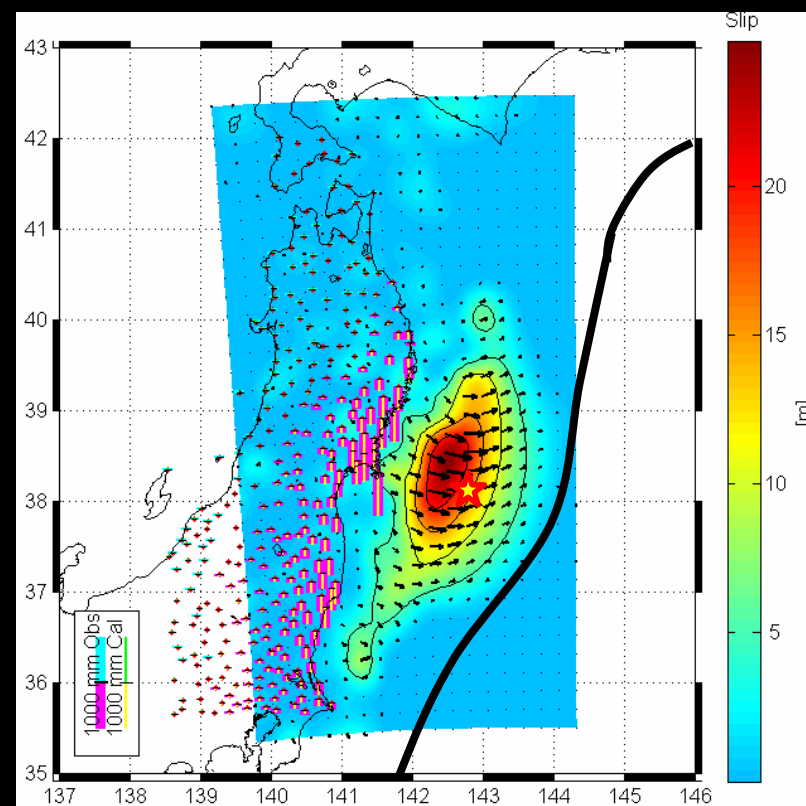
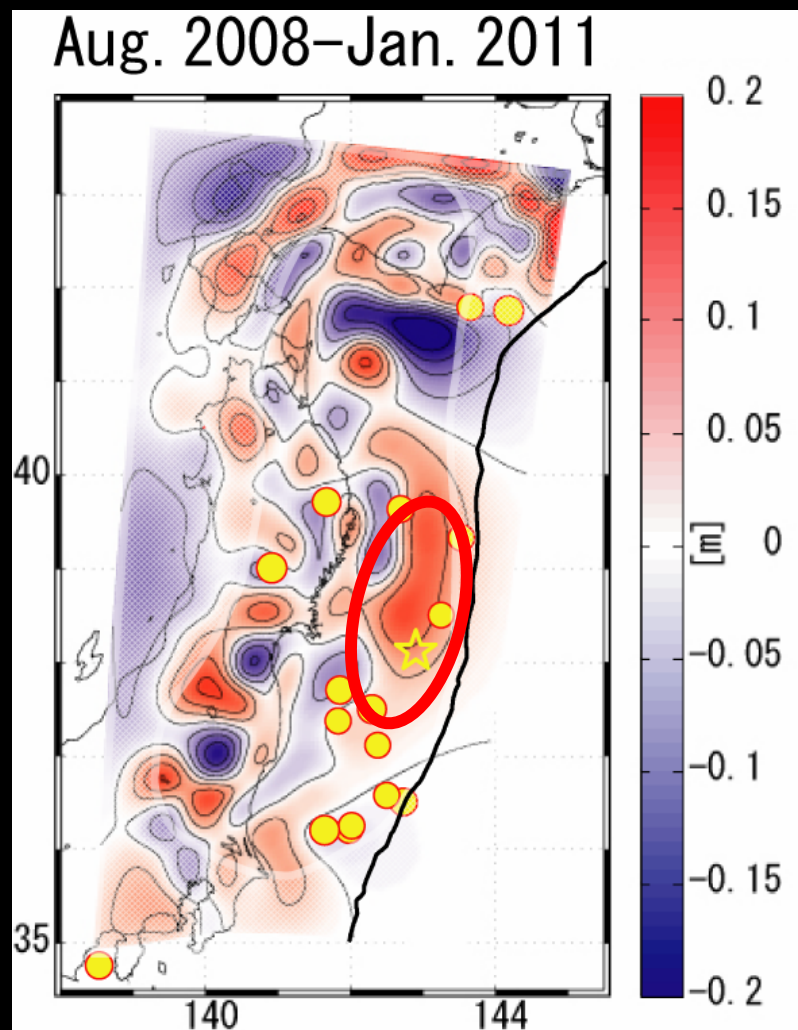
(p) Apr.2010-Feb.2011



4. 超巨大地震の震源域と準備過程

4-3. 準備過程の解明

プレート間の固着状態の変遷



5. M9.0の地震の正体

5-1. TP/SP/偶然？

タイムプレディクタブル

前の地震の規模から次の地震
の時刻が予測可能

スリッププレディクタブル

前の地震からの時間から、次の地震
の規模が予測可能

累積変位量

タイムプレディクタブルがよく合う事例が多いといわれてきた。物理的にも「破壊基準」という考え方でよく説明できる。
※応力が下がりきらないのはなぜ？

時間

応力が強度を越えて(クーロンの破壊基準)破壊するが、応力は下がりきらない。

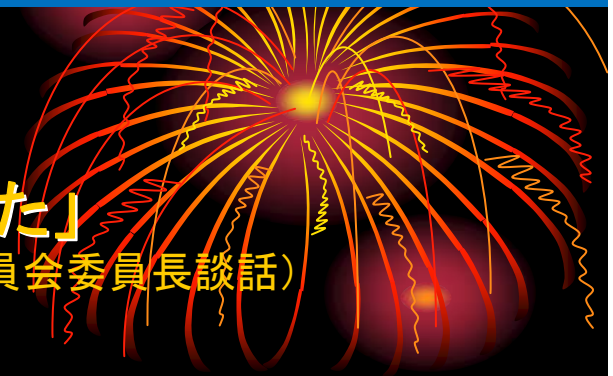
時間

何かのきっかけで破壊が始まるが、始まったすべりは応力をゼロにするまで止まらない。

M9.0の地震は何だったのか？

「4つの想定域が連動するとは想定できなかった」

(地震調査委員会委員長談話)



強度の強いアスペリティ

周辺のアスペリティの地震サイクルは、このアスペリティの固着により、実効的なプレート食い違い速度が遅くなることで支配されていた。

連動したから大きくなったのではなく、大きいから（そもそも支配していたから）連動した。