

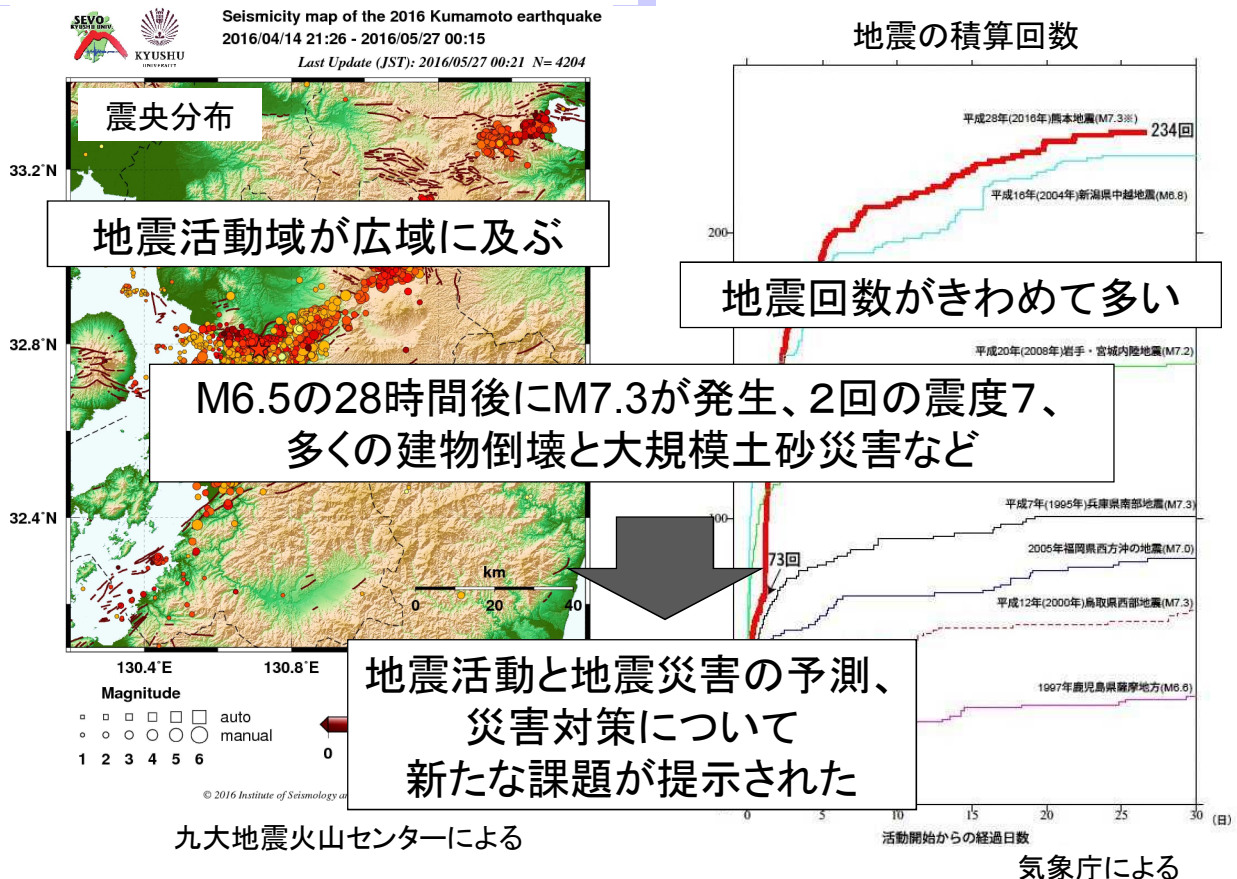
九州の地震活動と地殻変動 の特徴について

清水 洋

九州大学・地震火山観測研究センター

1

2016年熊本地震



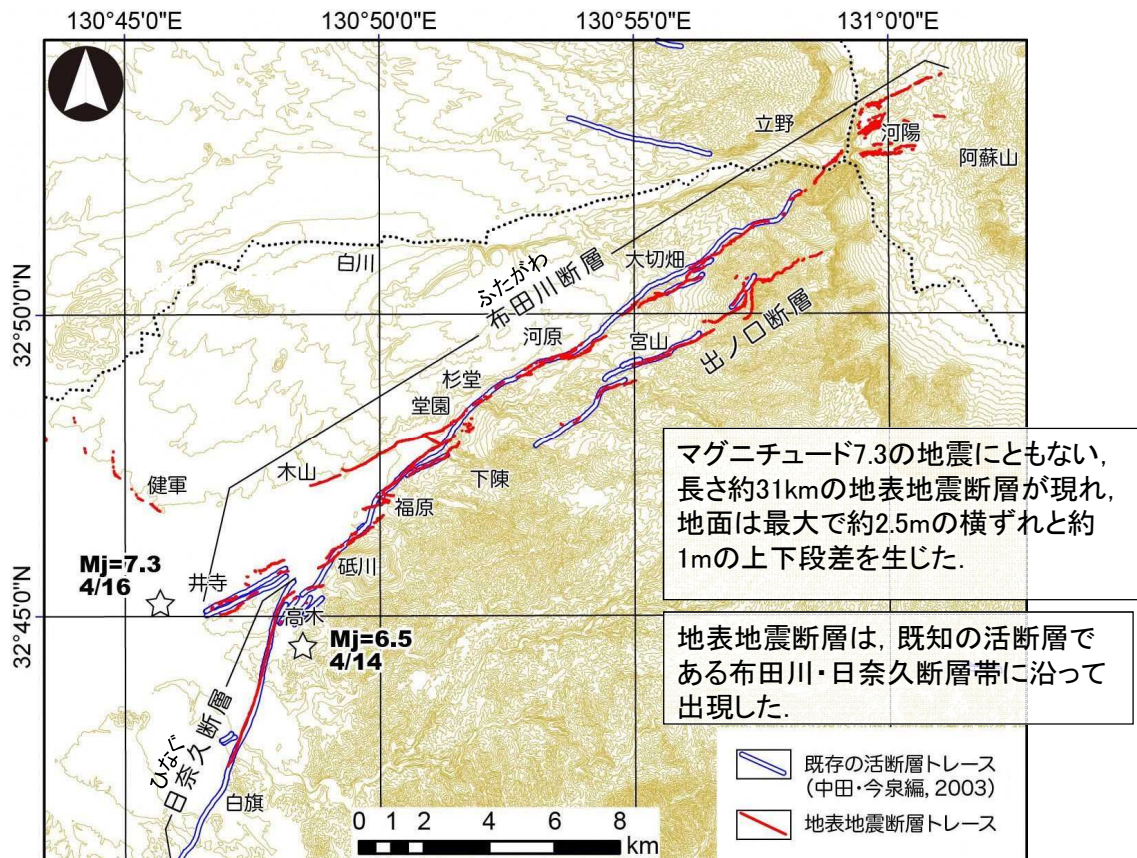
2

熊本地震の特徴(発生メカニズム)



3

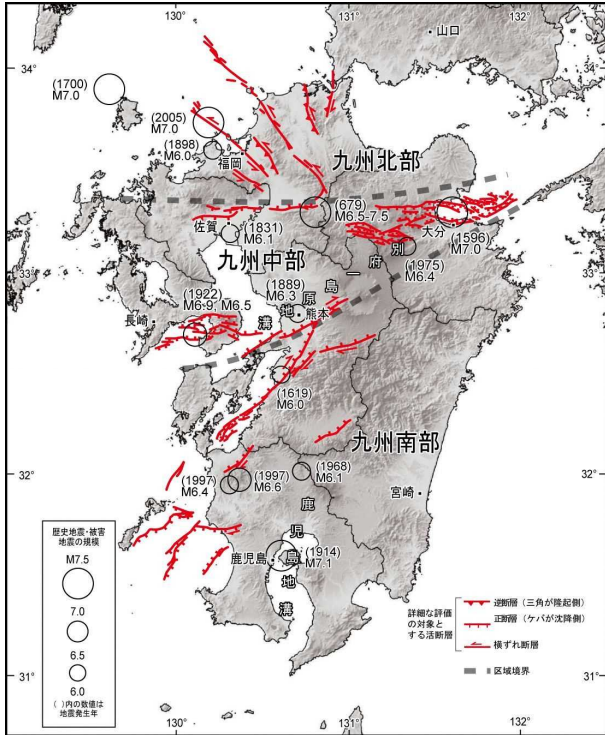
地震断層が地表に現れた場所



熊原康博(広島大学)・大学合同地震断層調査グループ

4

九州の活断層



活断層と過去の主な被害地震

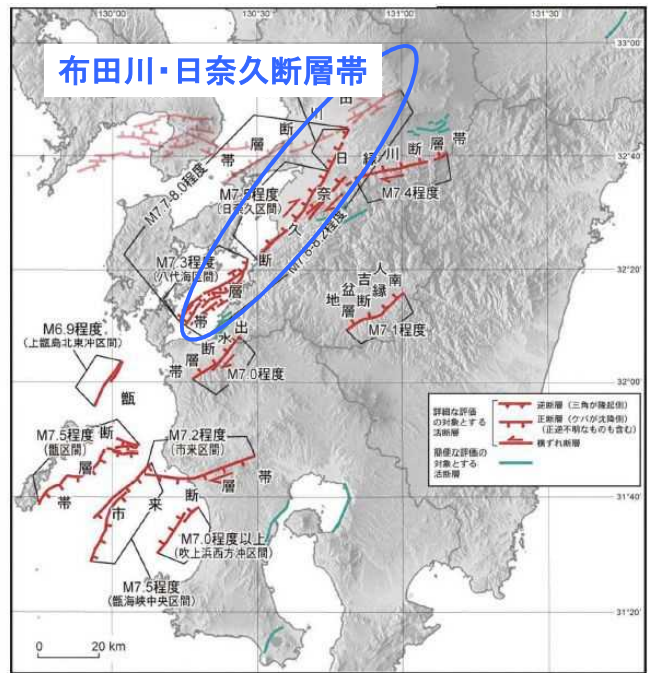
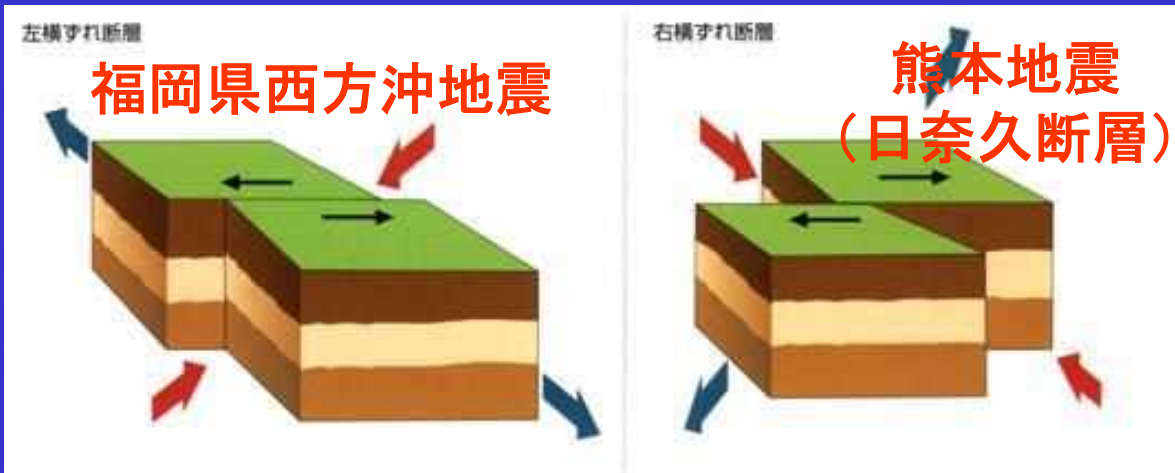


図17 九州南部の活断層の特性と想定される地震の規模

地震調査研究推進本部による

断層のタイプ(その1)



横ずれ断層

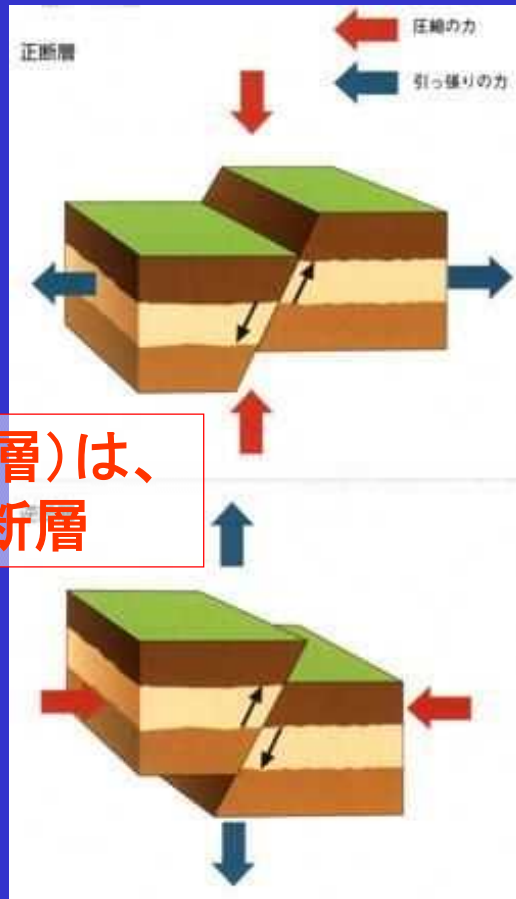
日本中で多くみられる型である。

断層のタイプ (その2)

九州や火山
地域などで多
くみられる **正断層**

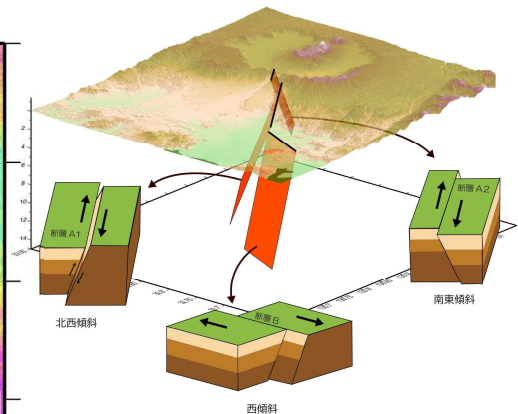
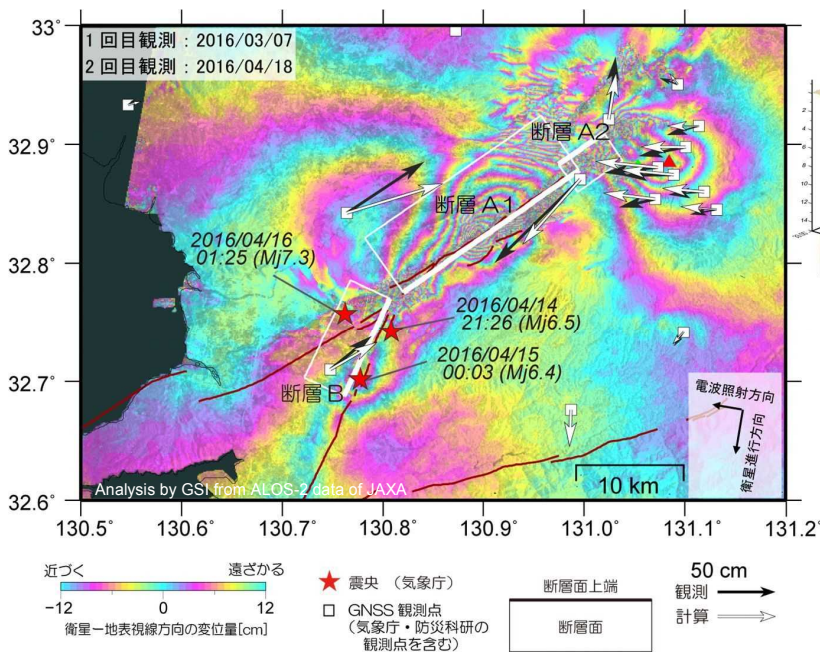
**熊本地震(布田川断層)は、
横ずれ断層+正断層**

本州・北海道
に多く見られ
る **逆断層**



断層モデル M6.5+M6.4+M7.3

国土地理院

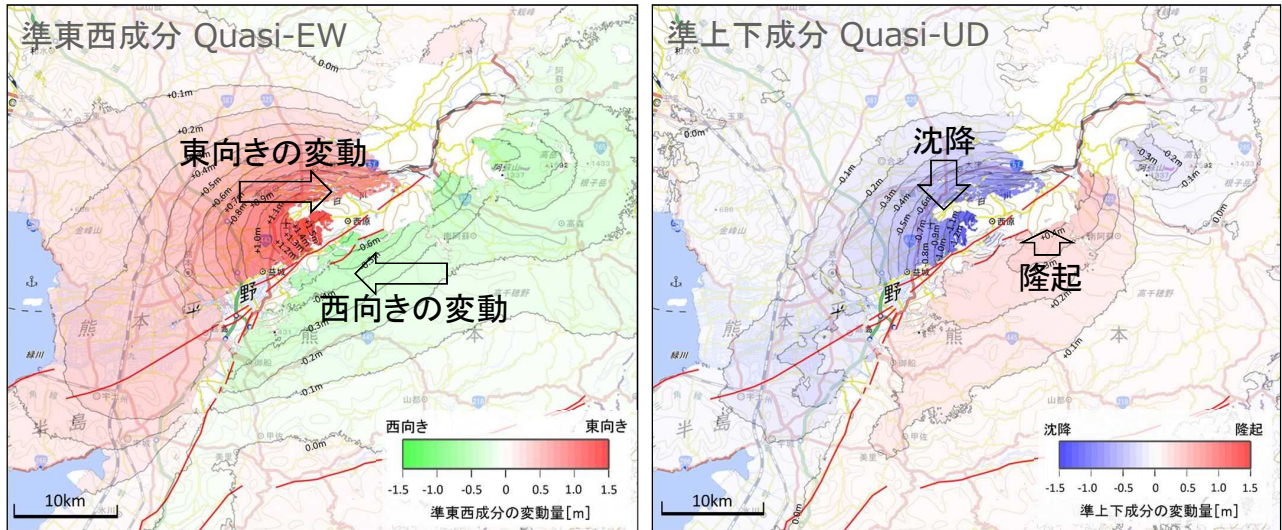


- 布田川断層帯(A1,A2)
 - A1: 布田川断層帯とほぼ一致 北西傾斜
 - A2: 布田川断層帯の東部延長 南東傾斜
- 日奈久断層帯(B)
 - 前震よりもやや低角
- いずれも右横ずれ (A1は正断層成分も)

Fault	Lon. (°)	Lat. (°)	Depth (km)	Length (km)	Width (km)	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Slip (m)	Mw
A1	130.996	32.878	0.6	20.0	12.5	235	60	209	4.1	6.96
A2	130.975	32.883	0.2	5.1	6.6	56	62	178	3.8	6.36
B	130.807	32.770	0.8	10.2	13.0	205	72	176	2.7	6.65

本震（4/16 マグニチュード7.3）

人工衛星によって撮影された電波画像の解析(干渉SAR解析)

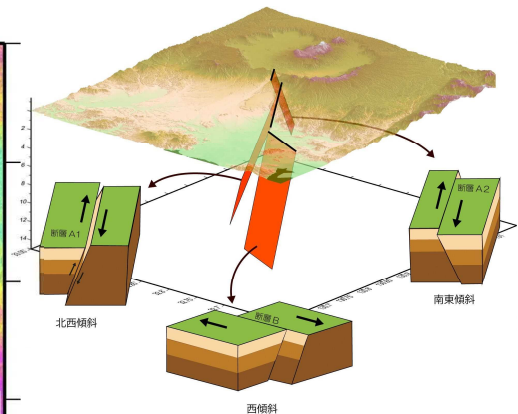
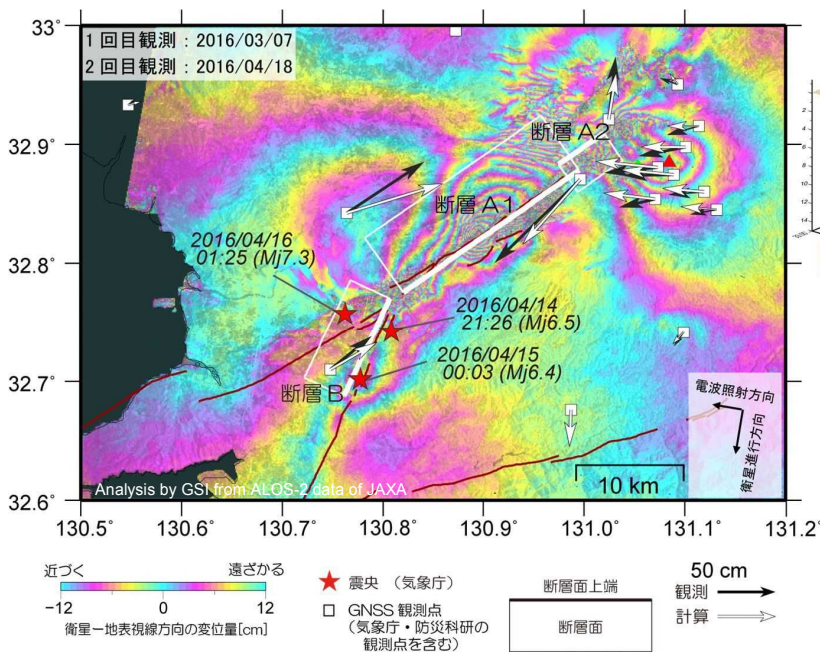


- 2方向の干渉画像を用いた解析
- 断層帯の北側で東向き、南側で西向きの変動
 - 断層帯で右横ずれ
- 断層帯の北側で沈降、南側で隆起
 - 正断層成分を含む

国土地理院による

断層モデル M6.5+M6.4+M7.3

国土地理院



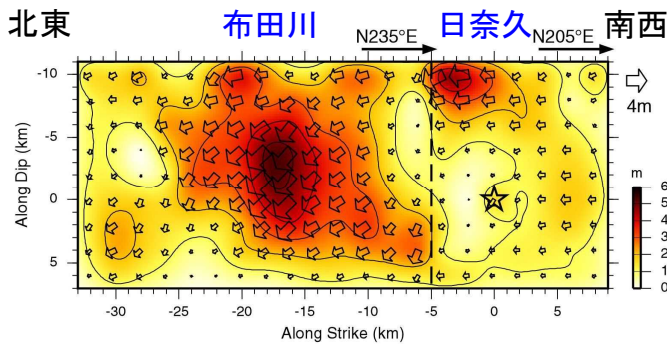
- 布田川断層帯(A1,A2)
 - A1：布田川断層帯とほぼ一致 北西傾斜
 - A2：布田川断層帯の東部延長 南東傾斜
- 日奈久断層帯(B)
 - 前震よりもやや低角
- いずれも右横ずれ (A1は正断層成分も)

Fault	Lon. (°)	Lat. (°)	Depth (km)	Length (km)	Width (km)	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Slip (m)	Mw
A1	130.996	32.878	0.6	20.0	12.5	235	60	209	4.1	6.96
A2	130.975	32.883	0.2	5.1	6.6	56	62	178	3.8	6.36
B	130.807	32.770	0.8	10.2	13.0	205	72	176	2.7	6.65

強震動: 4月16日1時25分の地震の震源破壊過程

破壊は日奈久断層帯北部の深部で始まり、布田川断層へ伝播し、北東方向へほぼユニラテラルに広がった。浅い部分でのすべり量は1~3m。布田川断層では正断層成分を含む。

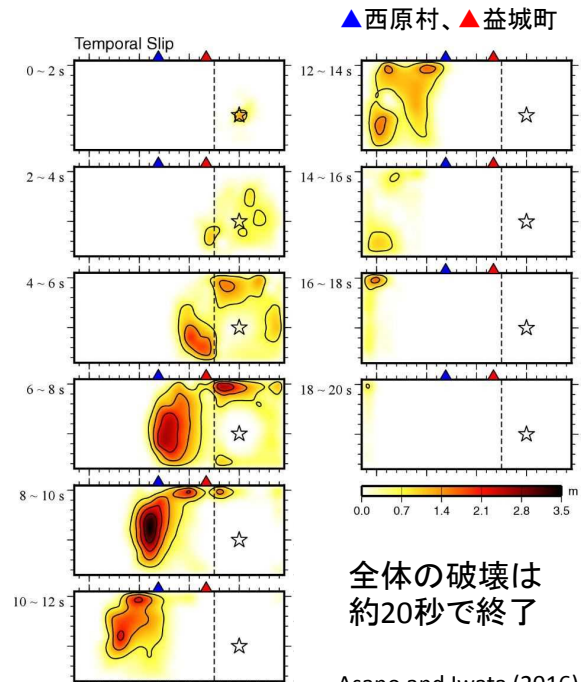
最終すべり分布



日奈久部分: 走向205度、傾斜72度
 布田川部分: 走向235度、傾斜65度
 タイムウィンドウ数 9個(計5秒間)

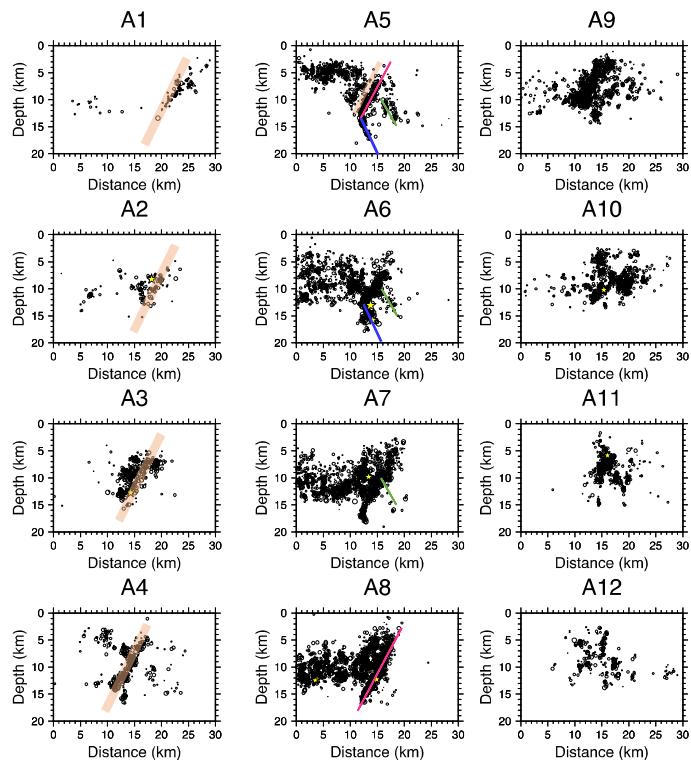
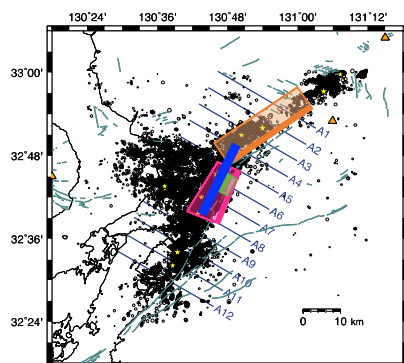
地震モーメント 4.50×10^{19} Nm (Mw7.0)
 平均すべり量 1.9 m
 最大すべり量 5.1 m
 第1タイムウィンドウ破壊伝播速度: 2.4 km/s

すべりの時空間発展



Asano and Iwata (2016)

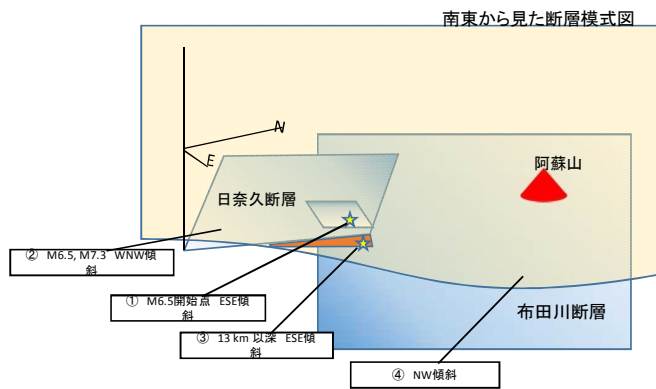
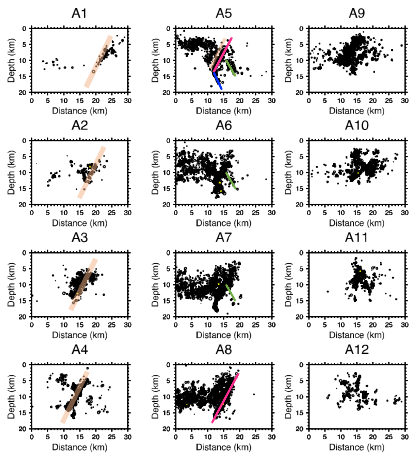
高精度震源分布から
 推定される断層構造



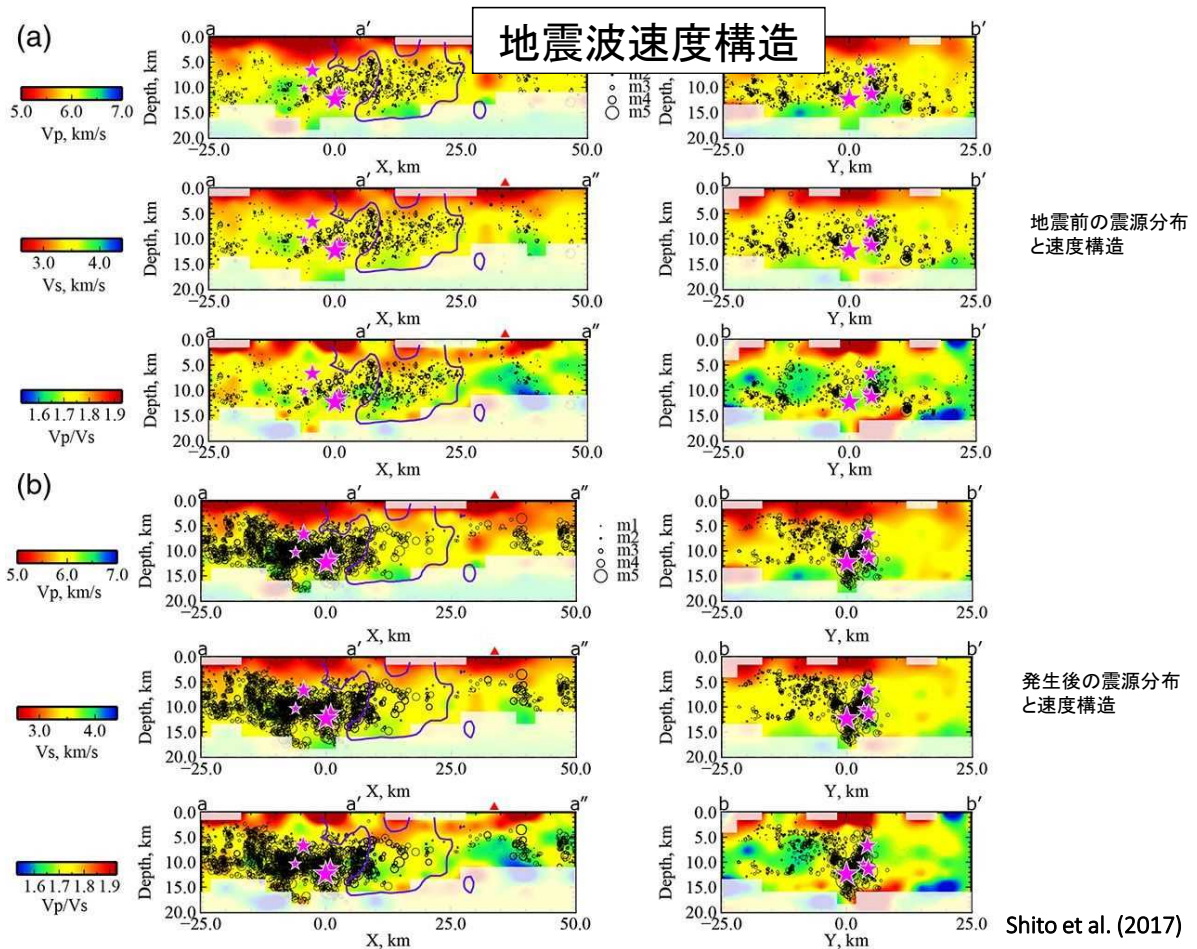
(Shimizu et al., in preparation)

熊本地震の断層構造と破壊過程

- 最大前震 (M6.5) は東南東傾斜の断層から破壊が始まり、西傾斜の断層へ広がった。
- 本震 (M7.3) は深部の東南東傾斜横ずれ断層から開始し、布田川断層走向と日奈久断層走向の二つの面で大きなすべりを起こした。
- 本震時に大きくすべった領域では、余震活動は不活発である。
- 複数の断層面は複雑に分布している。

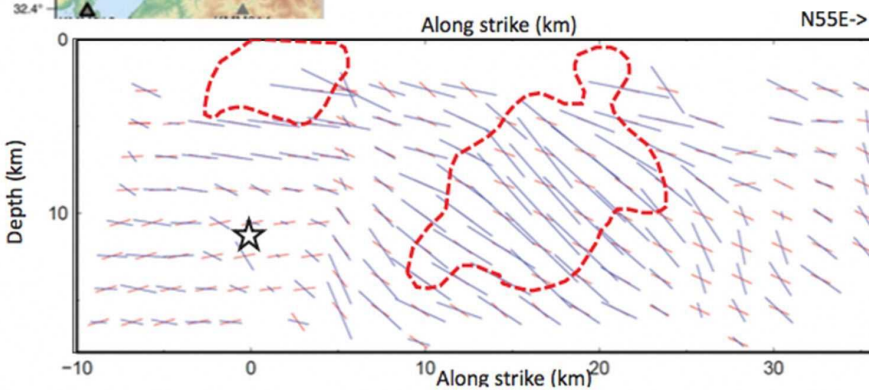
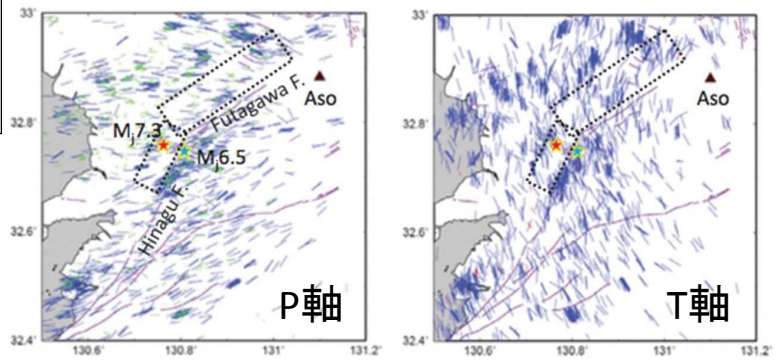
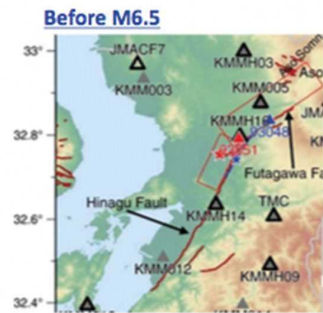


(Shimizu et al., in preparation)



地震発生以前の応力場から地震時すべり方向を推定する試み

2016年熊本地震発生以前の起震応力場



熊本地震前の震源のみを使って高分解能で推定した応力場から、本震断層面上で期待されるすべり方向(赤線)を推定し、それを Asano and Iwata (2016) による本震時すべり(青線)と比較した。

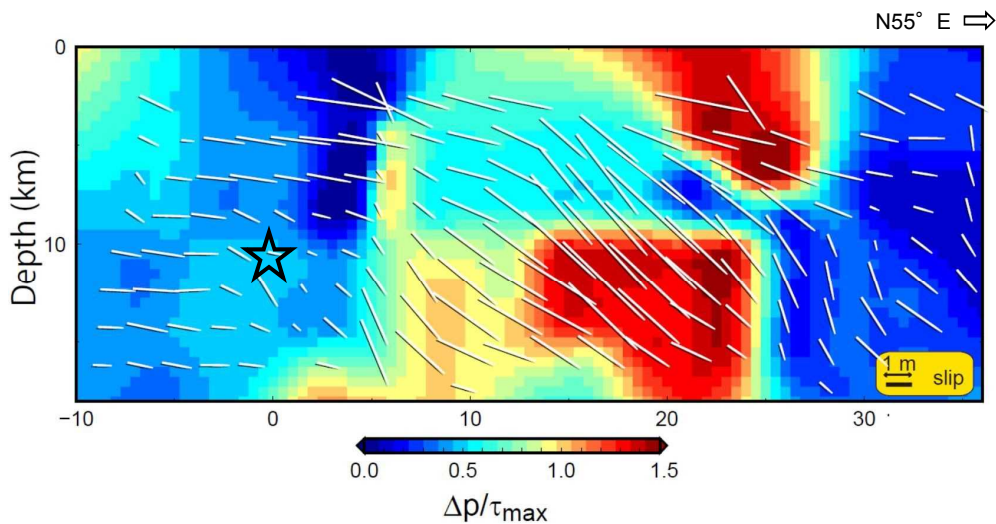
断層形状と応力場から、複雑な地震時すべり方向を事前に見積もることができることが示唆された。
→ 強震動予測の高度化

松本他 (2016)

地震時すべりと応力場

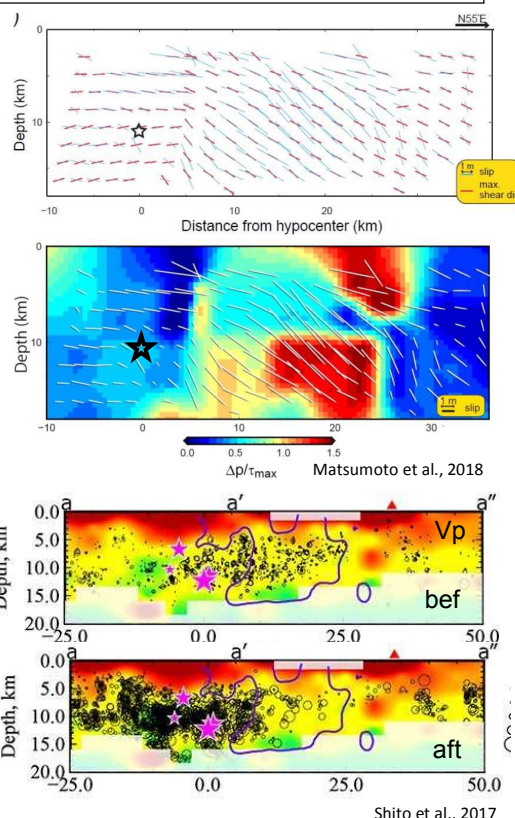
応力場に最適な面で滑ったところ: 青
ずれた面で滑ったところ: 赤

赤の部分: 解釈
強度が弱く、すべることができた。
が、すべりが減速して停止した。



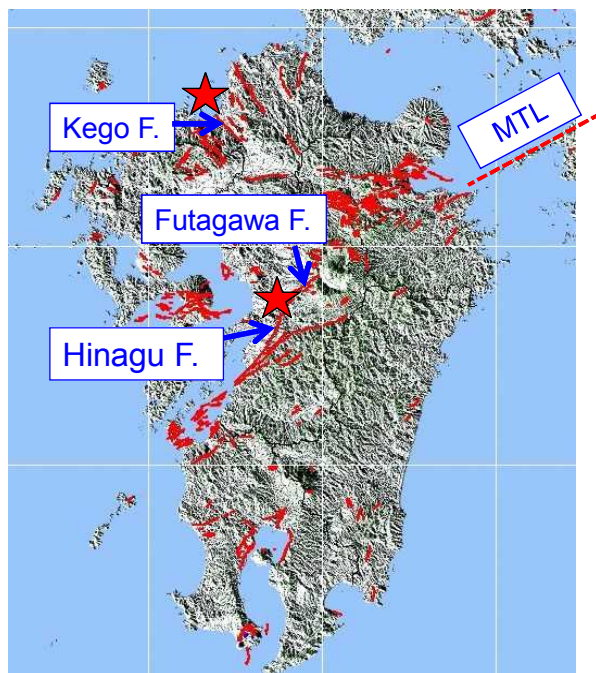
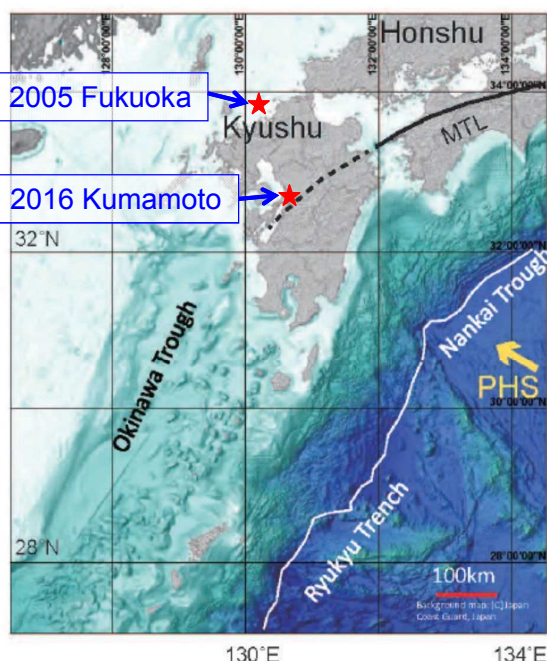
熊本地震の震源断層(布田川・日奈久断層帯) の応力場と地震波速度構造

- 地震時のすべり方向は応力場によって規定されている。→ **断層に働く応力を事前に知れば、地震時の断層すべりをある程度予測できる。**
- 地震前の応力場に対して、最適な面で大きなすべりが起こったが、断層の縁辺部では最適なすべりからずれてくる。
- 地震は低速度域を避けて発生している。また、大きなすべりはD95の範囲内で発生している。→ **地震波の低速度域では大きな地震時すべりは起こらない可能性が高い。また、震源断層の幅は、背景の地震活動の深さ分布から推定できる。**



17

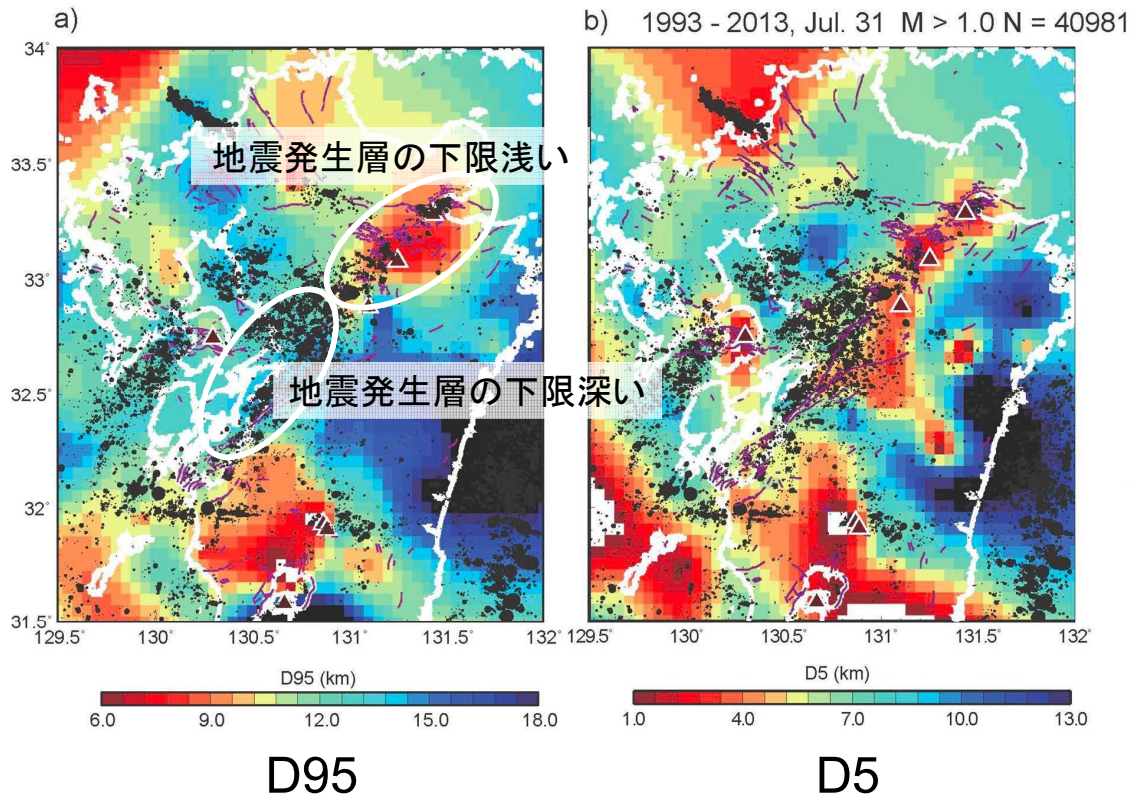
九州のテクトニクスと活断層



Left map : Location and tectonic setting of Kyushu Island. The Philippine Sea slab (PHS) is subducting beneath Kyushu from the Nankai Trough. The Median Tectonic Line (MTL) consisting of right-lateral strike-slip faults crosses Honshu and Shikoku.
 Right map : Distribution of active faults in Kyushu.
 The 2005 Fukuoka earthquake occurred at the northwestern segment of the Kego fault.
 The main shock of the 2016 Kumamoto earthquake occurred at the vicinity of the junction of Futagawa and Hinagu faults.

18

九州の background seismicity と地震発生層の深さ



Matsumoto (2016)

19

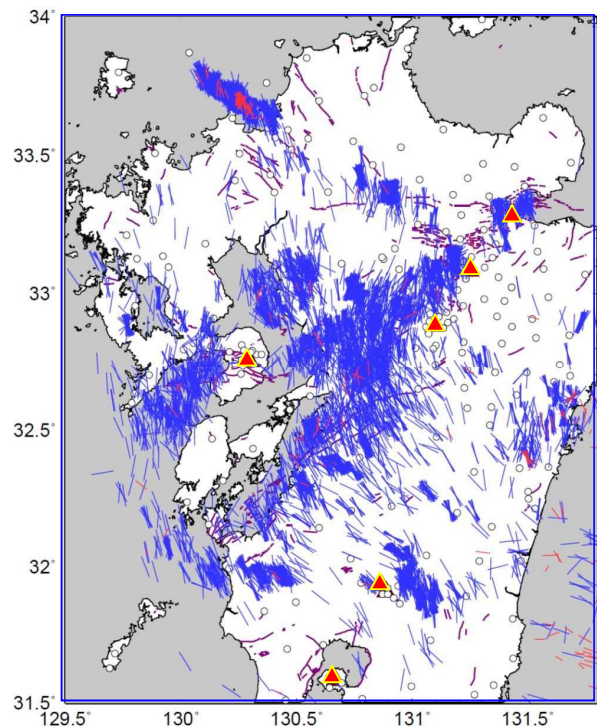
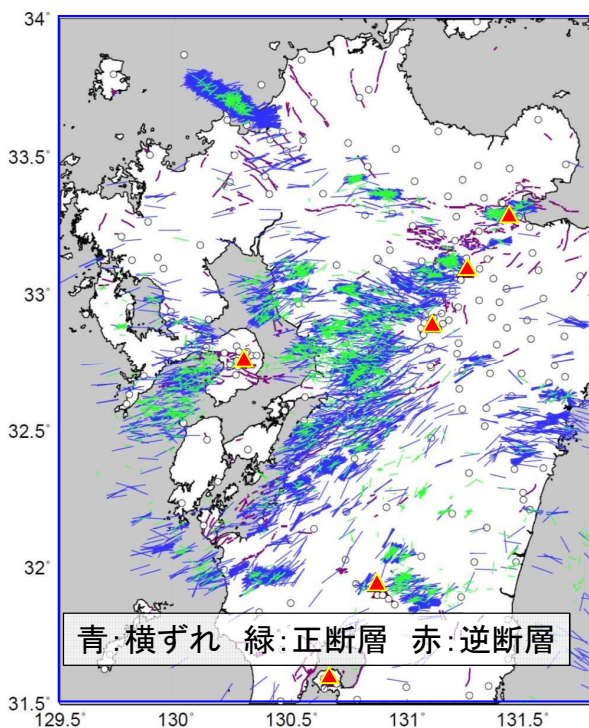
九州における地殻内の地震の起震応力場

1993 - 2013.7 M > 1

N=9177

P axis

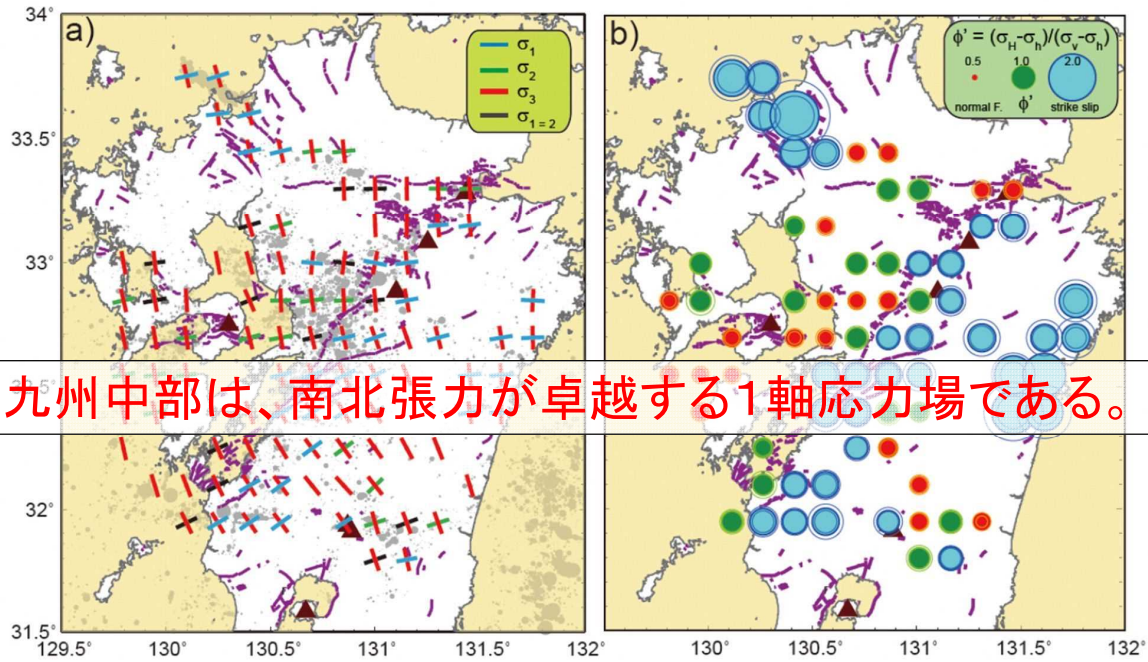
T axis



Matsumoto et al.(2015)

20

応力テンソルインバージョンによる内陸地震発生層の応力分布



主応力の方向

応力比の分布

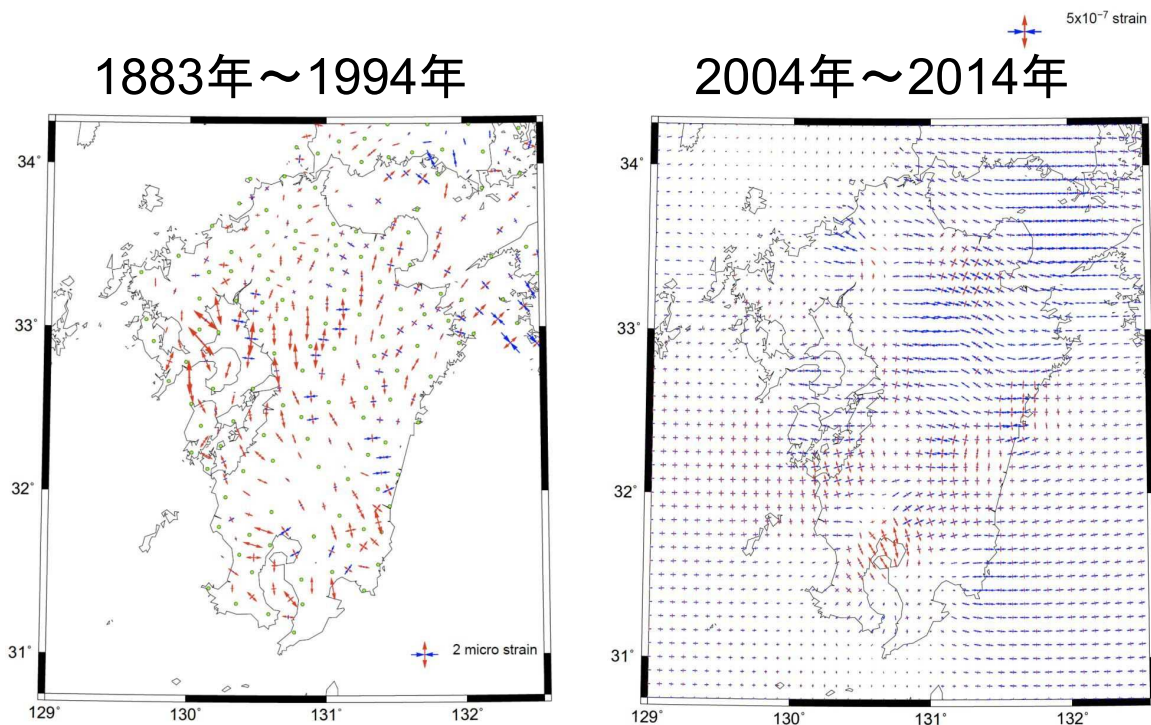
Directions of the two principal stresses close to the horizontal plane

Stress ratios :
 $\phi' = (\sigma_{Hmax} - \sigma_{Hmin}) / (\sigma_v - \sigma_{Hmin})$

Matsumoto et al.(2015)

21

九州における主ひずみの分布



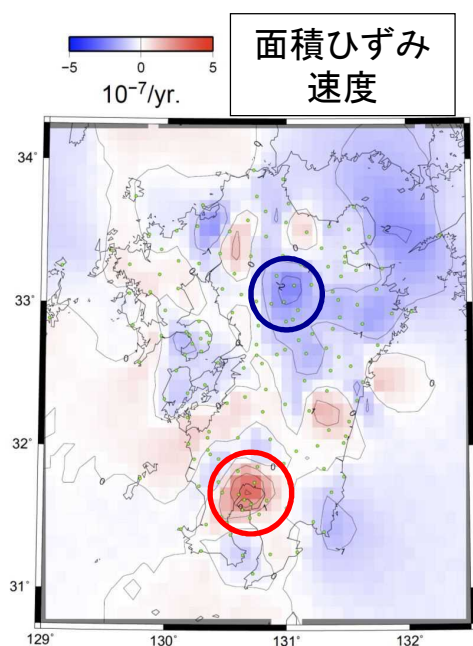
国土地理院の三角・三辺測量による

GEONET+九大・京大・鹿大のGNSS観測による

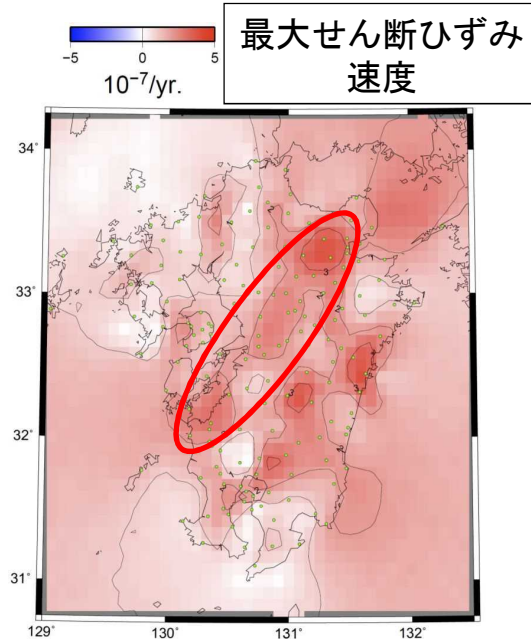
中尾・他 (2017)

22

GEONET+九大・京大・鹿大GNSS連続観測による面積ひずみと最大せん断ひずみ(2004年-2014年)



阿蘇山付近で縮み
始良カルデラで伸び

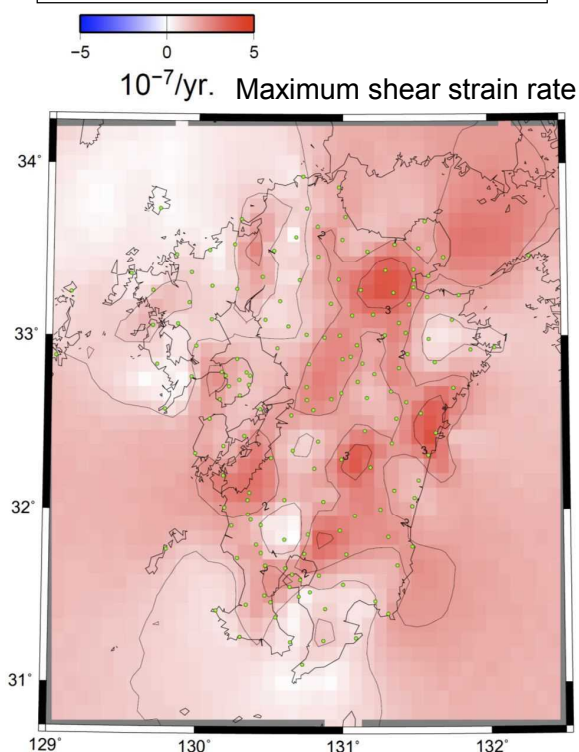


別府-万年山断層帯で大きい
布田川・日奈久断層帯も大きい

中尾・他 (2017)

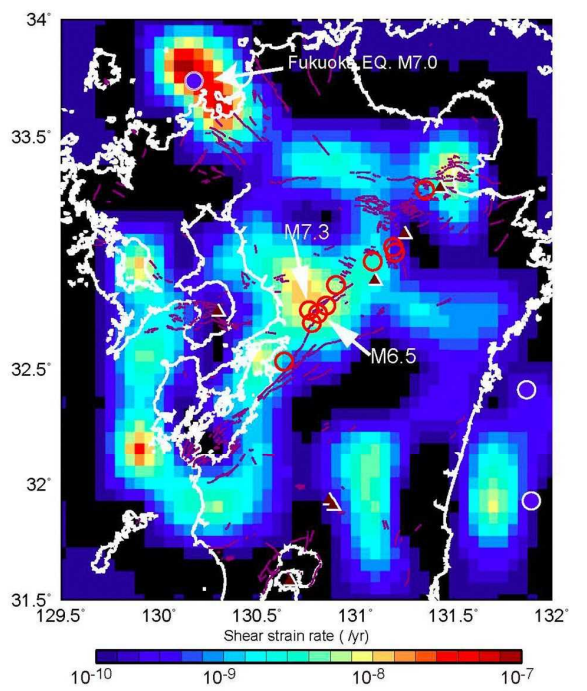
地殻変動と地震活動から推定されるひずみ速度の比較

Crustal strain rate estimated by
GNSS observation



中尾・他(2017)

Inelastic strain rate estimated by
the cumulative seismic moment of
background seismicity



Matsumoto et al.(2016)

九州の地震活動と地殻変動の特徴 まとめ

1. 2016年熊本地震の特徴と推定される震源断層

- ・震源断層は複雑である。
 - 断層帯の接合部には、走向や傾斜方向が異なる複数の断層が存在。
 - 本震の初期破壊は、主破壊の断層面(布田川断層)上にはない。
- ・地震活動は地殻応力と地殻構造の影響を強く受けている。
 - 地震時の断層すべり方向は応力場から推定可能。
 - 震源断層の幅も背景の地震活動から推定可能。
 - 地震は低速度・(低比抵抗領域)を避けて発生している。

2. 地震発生場の特徴

- ・地震発生層下限の深さは九州中部の東西で異なる。
 - 東部(別府-万年山断層帯)では浅く、西部(布田川・日奈久断層帯)では深い。
- ・九州中部域は、南北伸張の一軸応力場(最大と中間主応力が同程度の大きさ)。
 - 複雑な断層構造の要因の可能性。
- ・九州中部域の地震活動は活発。背景の地震活動による非弾性ひずみ速度は、地殻変動によるひずみ速度と同程度。