

# 2021年3月20日M6.9の 宮城県沖の地震について

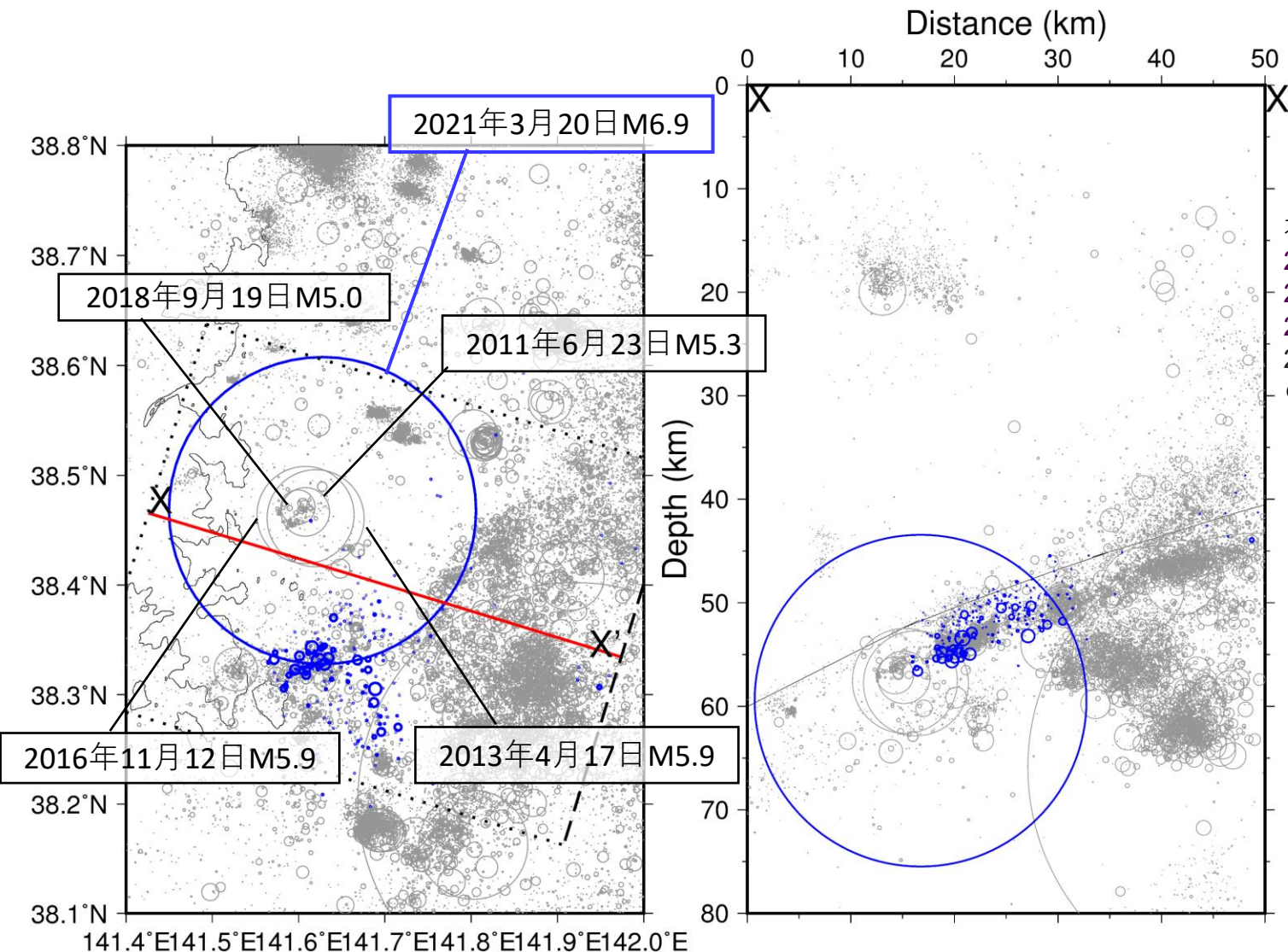
東北大学

(一部は海洋研究開発機構と共同提出)

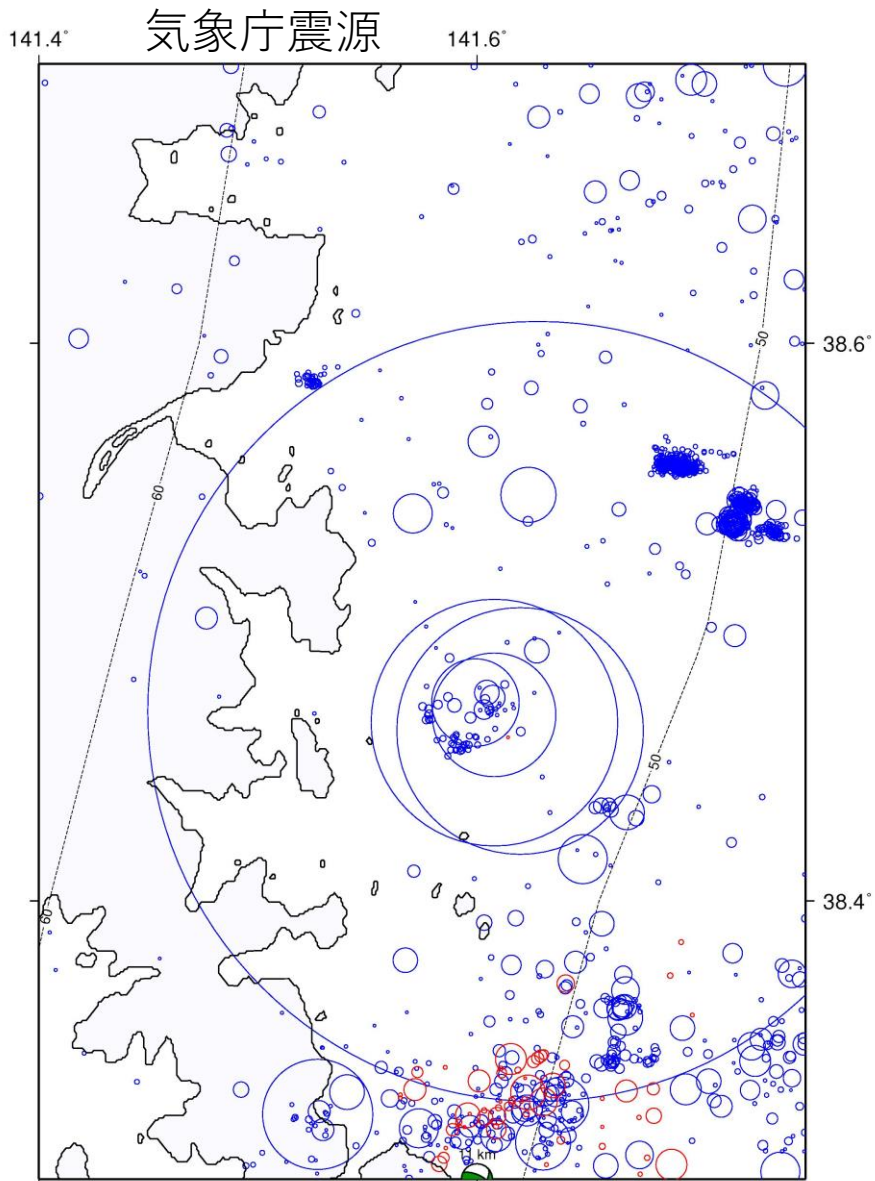
# 気象庁一元化震源 (2003-2020/3/20)

本震後に発生した地震は青色。

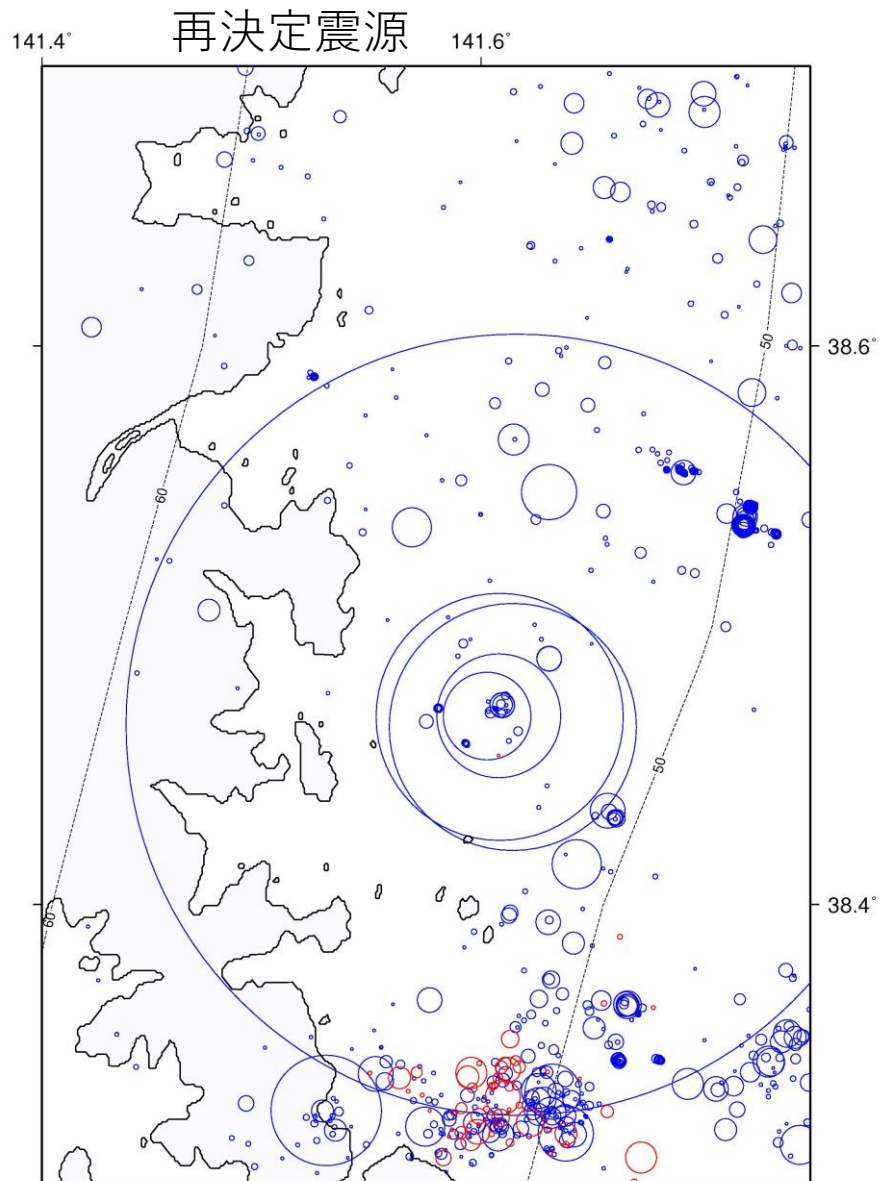
丸のサイズは応力降下量 3MPaの円形断層に相当



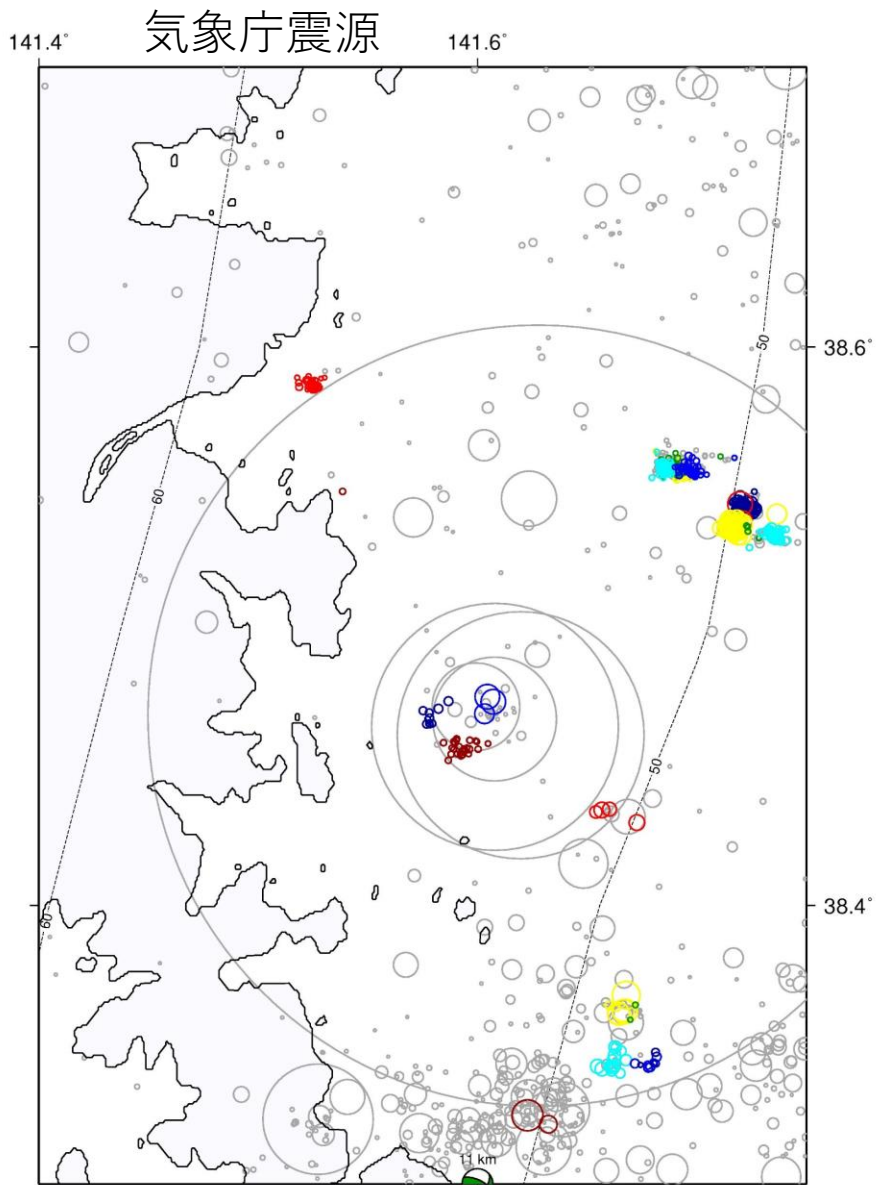
本震破壊は  
2011年 6月23日 M5.3  
2013年 4月17日 M5.9  
2016年 11月12日 M5.9  
2018年 9月19日 M5.0  
の繰り返し地震と関係？



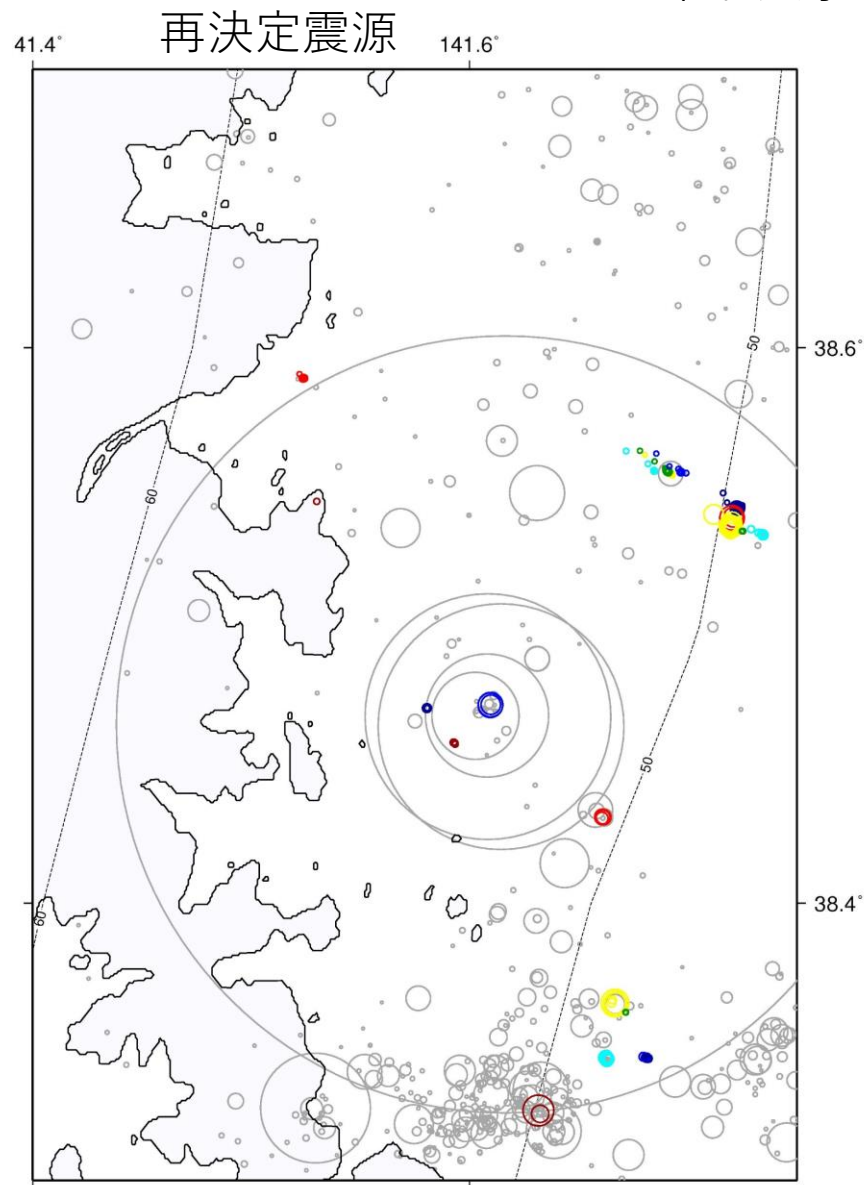
青：本震前  
赤：本震後



M $\geq$ 2の地震を対象に波形相関を用いた震源再決定。  
繰り返し地震の震央がまとまる傾向がみられる。 3

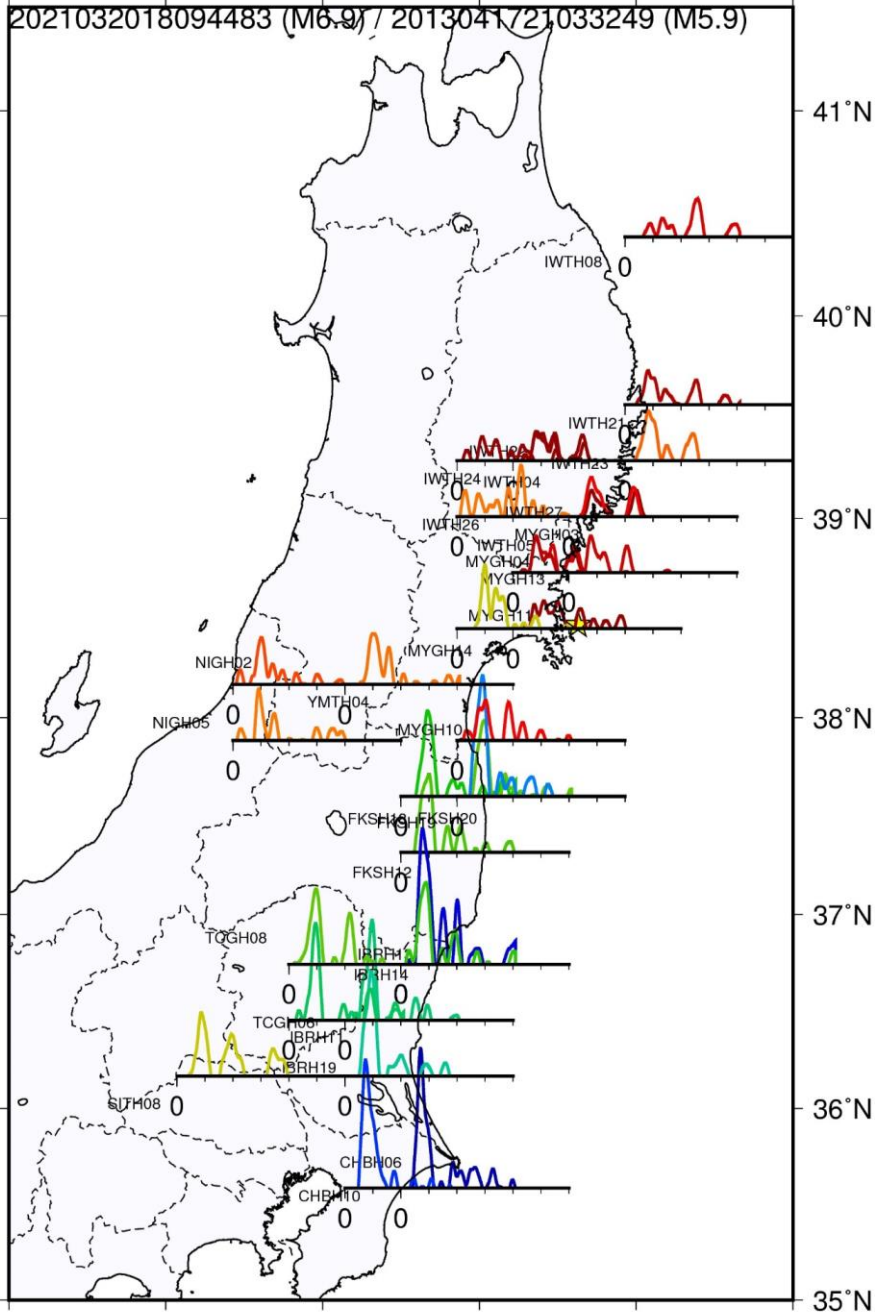


青：本震前  
赤：本震後



同じ繰り返し地震グループを同じ色で示す。

138°E 139°E 140°E 141°E 142°E 143°E

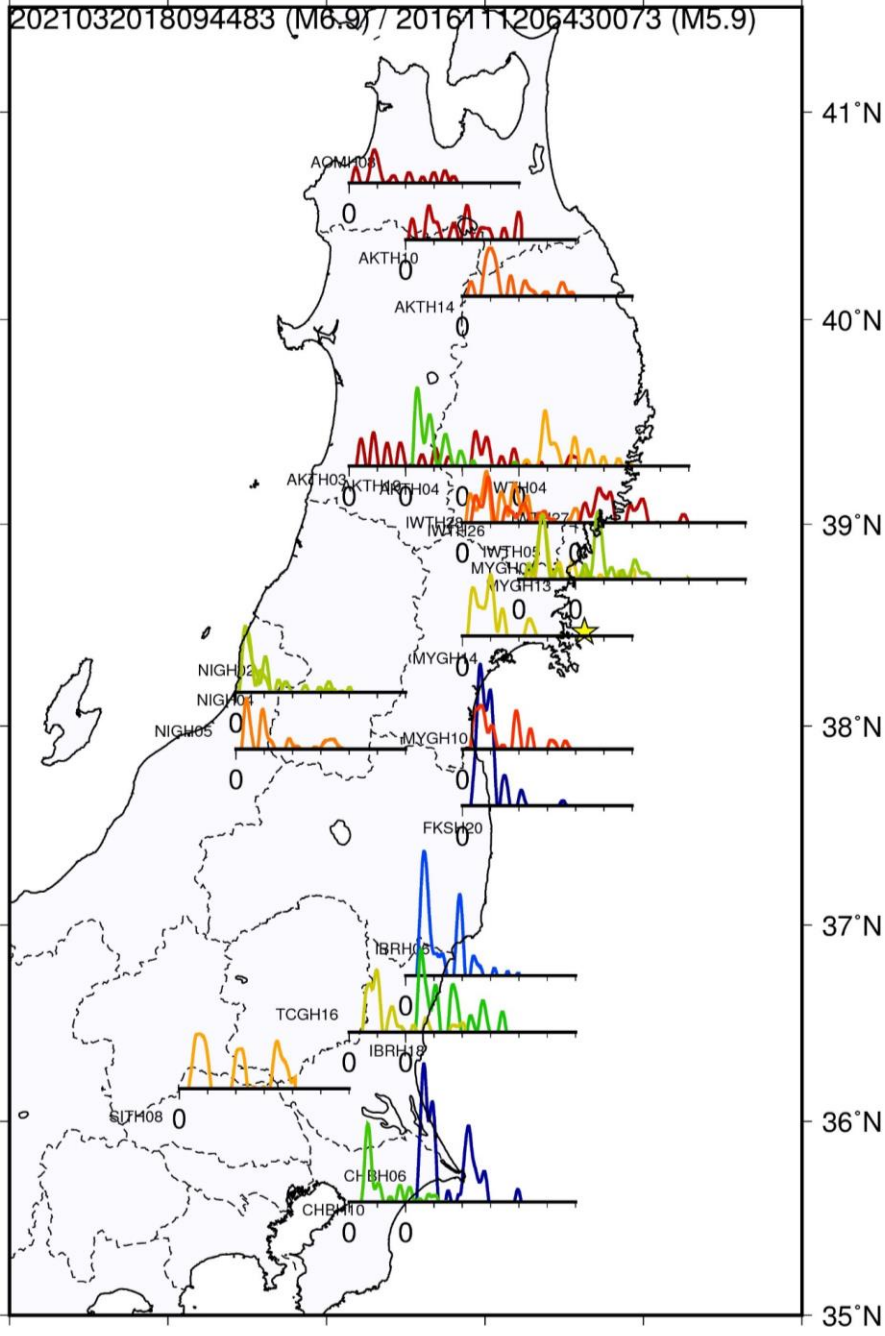


本震のみかけのモーメントレート関数の分布 (S波)。2013年4月13日 M5.9の繰り返し地震の波形を用いた deconvolution (< 0.4 Hz)。KiK-netデータ使用。

M5.9地震の波形の重ね合わせにより多くの観測点での本震観測波形を再現できた。

震源域南部に向かい破壊が進展したことを示唆。

138°E 139°E 140°E 141°E 142°E 143°E



本震のみかけのモーメントレート関数の分布 (S波)。2016年11月12日 M5.9の繰り返し地震の波形を用いた deconvolution (< 0.4 Hz)。KiK-netデータ使用。

ただし、このグリーン関数に用いた地震波形はマルチプルの可能性があるので、2013年の地震のほうがベター。

それでも同様に震源域南部に向かい破壊が進展したことを示唆。

## 3成分ひずみ計により観測された潮位変化

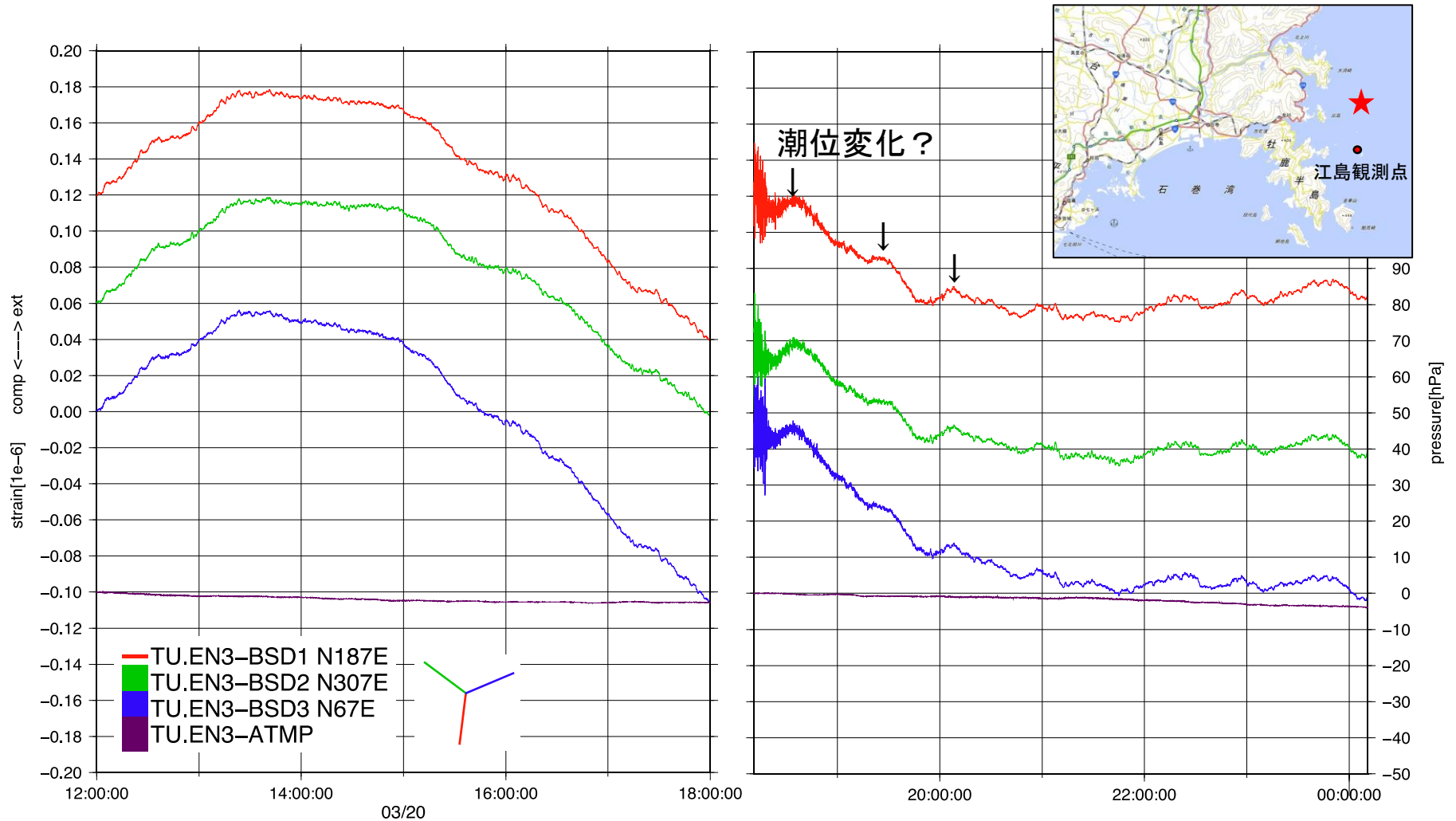


図1. 東北大学江島観測点の3成分ひずみ計により観測されたひずみ変化。(左)2021年3月20日の宮城県沖の地震直前6時間(同日12:00～18:00)及び(右)直後6時間(同日18:11～翌21日00:11)の原記録。潮位変化によると考えられる周期1時間程度、振幅数ナノストレイン程度のひずみ変化が観測されている。挿図の星印は東北大の自動処理震源の震央を、赤丸印は江島観測点の位置を示す。

# 3成分ひずみ計により観測された 2021年2月13日福島県沖の地震(M7.3)後の潮位変化

## 津波波形

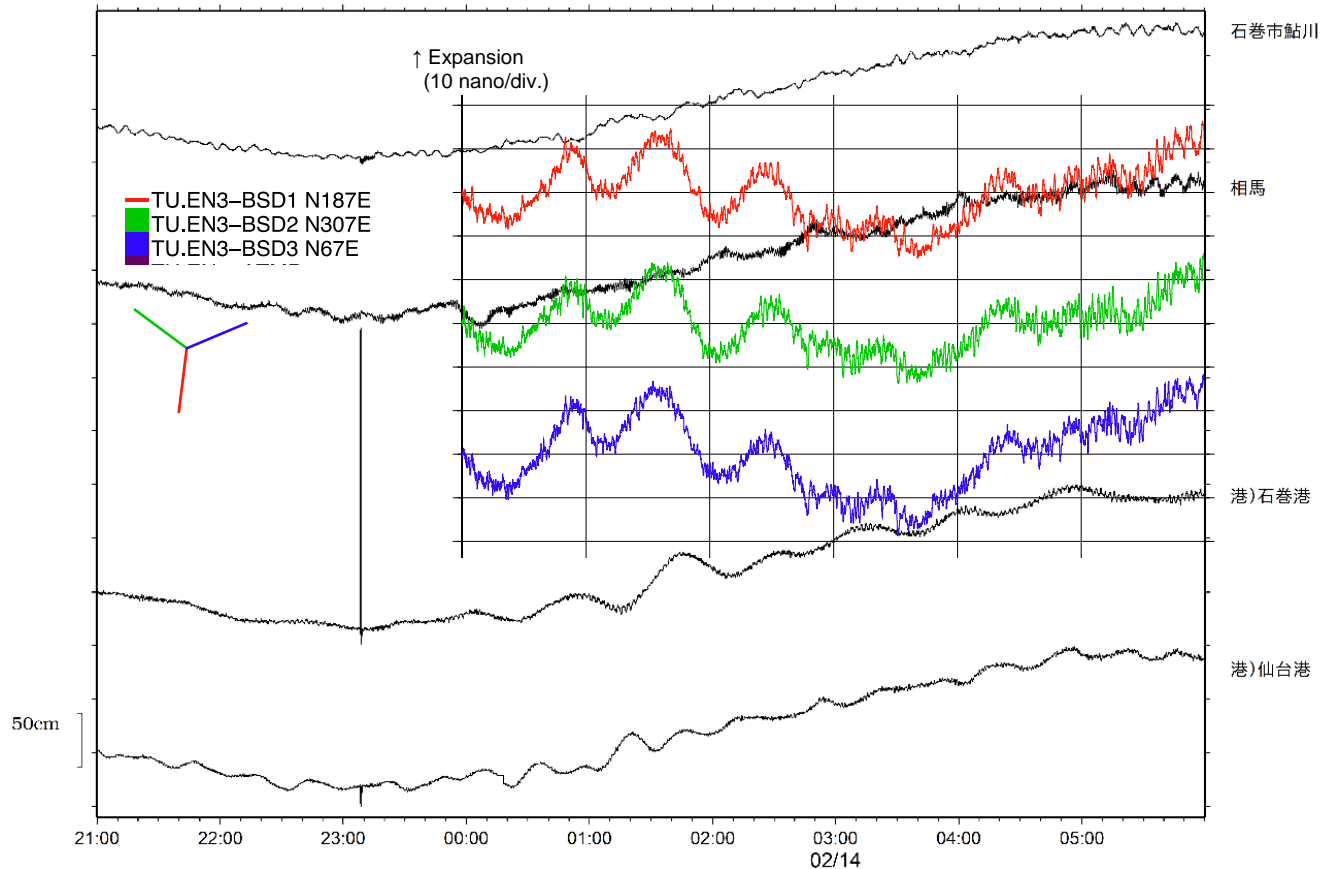


図2. 2021年2月13日福島県沖の地震(M7.3)に伴って観測された津波波形(地震調査委員会, 2021)と, 東北大学江島観測点の3成分ひずみ計により観測されたひずみ変化(赤, 緑, 青). ひずみ計の記録は, 2月14日00:00から06:00までの原記録に遮断周期10時間の低域遮断フィルタをかけてある. 石巻港の潮位変化と対応した周期40~50分程度, 振幅10ナノストレイン程度のひずみ変化が観測されている.

### 参考文献:

防災科学技術研究所, 2010, 「2010年チリ中部の地震に伴う津波による地盤の傾斜変化を観測」,  
[https://www.bosai.go.jp/info/press/2009/pdf/20100318\\_01.pdf](https://www.bosai.go.jp/info/press/2009/pdf/20100318_01.pdf)

地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2021, 「2021年2月13日福島県沖の地震の評価」,  
[https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2021/20210213\\_fukushima\\_2.pdf](https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2021/20210213_fukushima_2.pdf)



# 3成分ひずみ計により観測された 2008年6月14日岩手宮城内陸地震(M7.2)後のひずみ変化

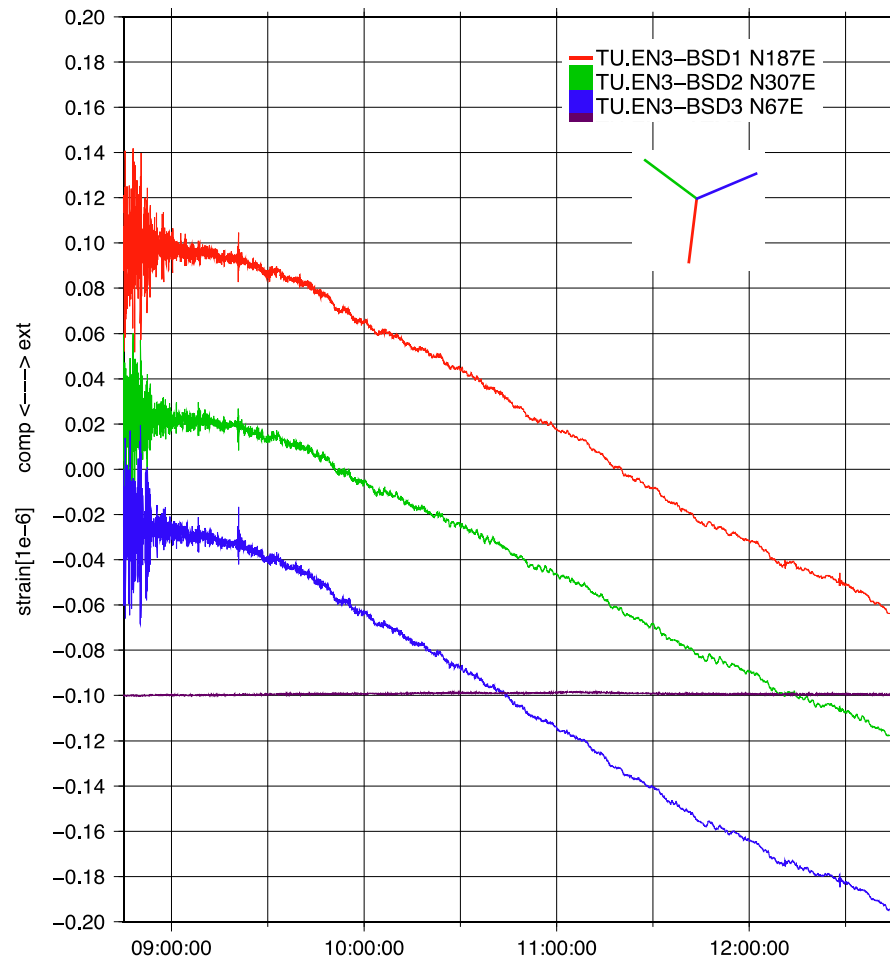


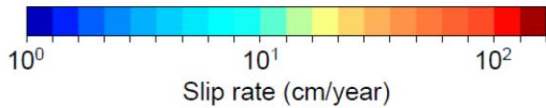
図3. 2008年6月14日08:43岩手宮城内陸地震(M7.2)直後に江島観測点の3成分ひずみ計により観測されたひずみ変化(赤, 緑, 青). 同日08:45から12:45までの原記録を示す. 図1, 2で示したような周期40~50分程度のひずみ変化は観測されていない.

# 繰り返し地震から得られた 東北沖地震余効すべり分布 との比較

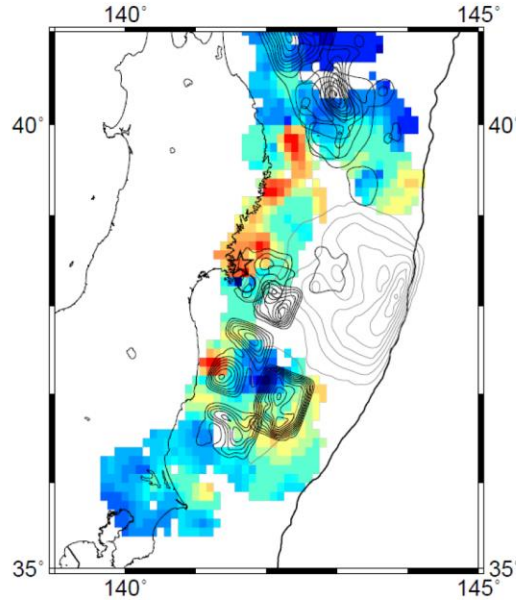
☆：震央、○：セントロイド

震央 -> 余効すべりが大きい  
セントロイド -> 比較的小さい  
北から南への破壊伝播を支持？

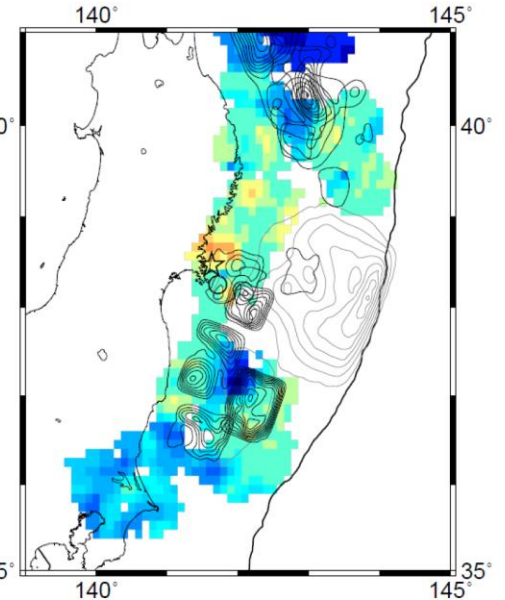
立岩・他 (2020、地震学会) より改訂



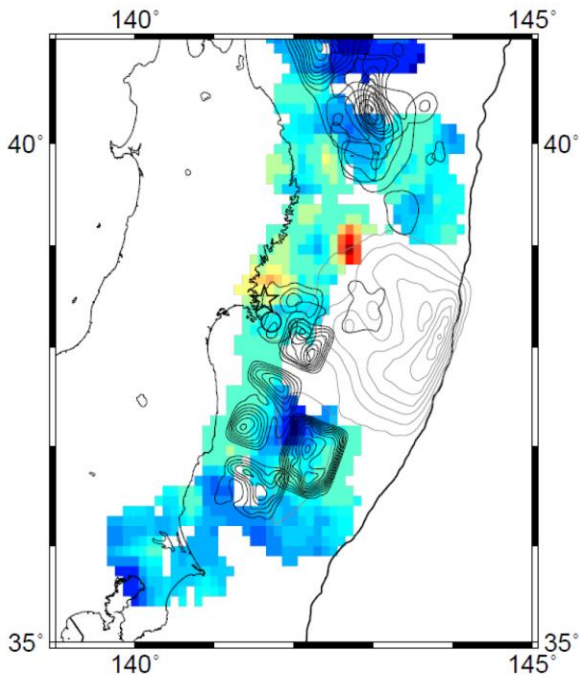
20110311-20120311



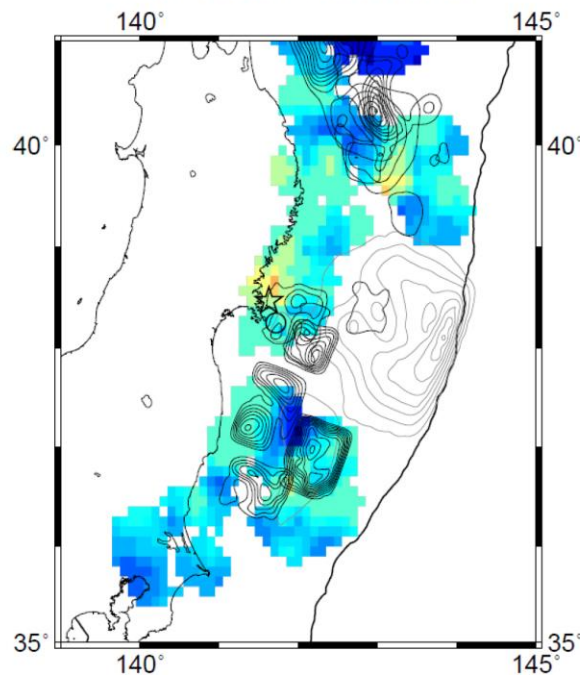
20120311-20130311



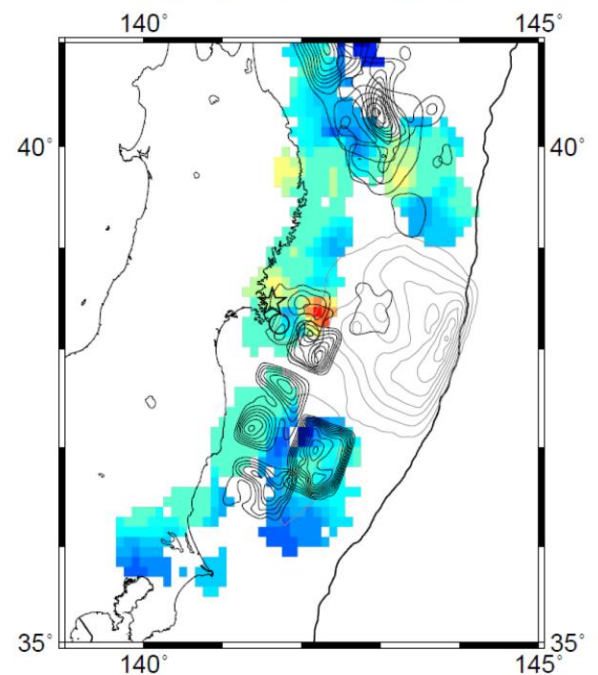
20130311-20140311



20140311-20150311



20150311-20160831



# 震源域周辺の繰り返し地震活動

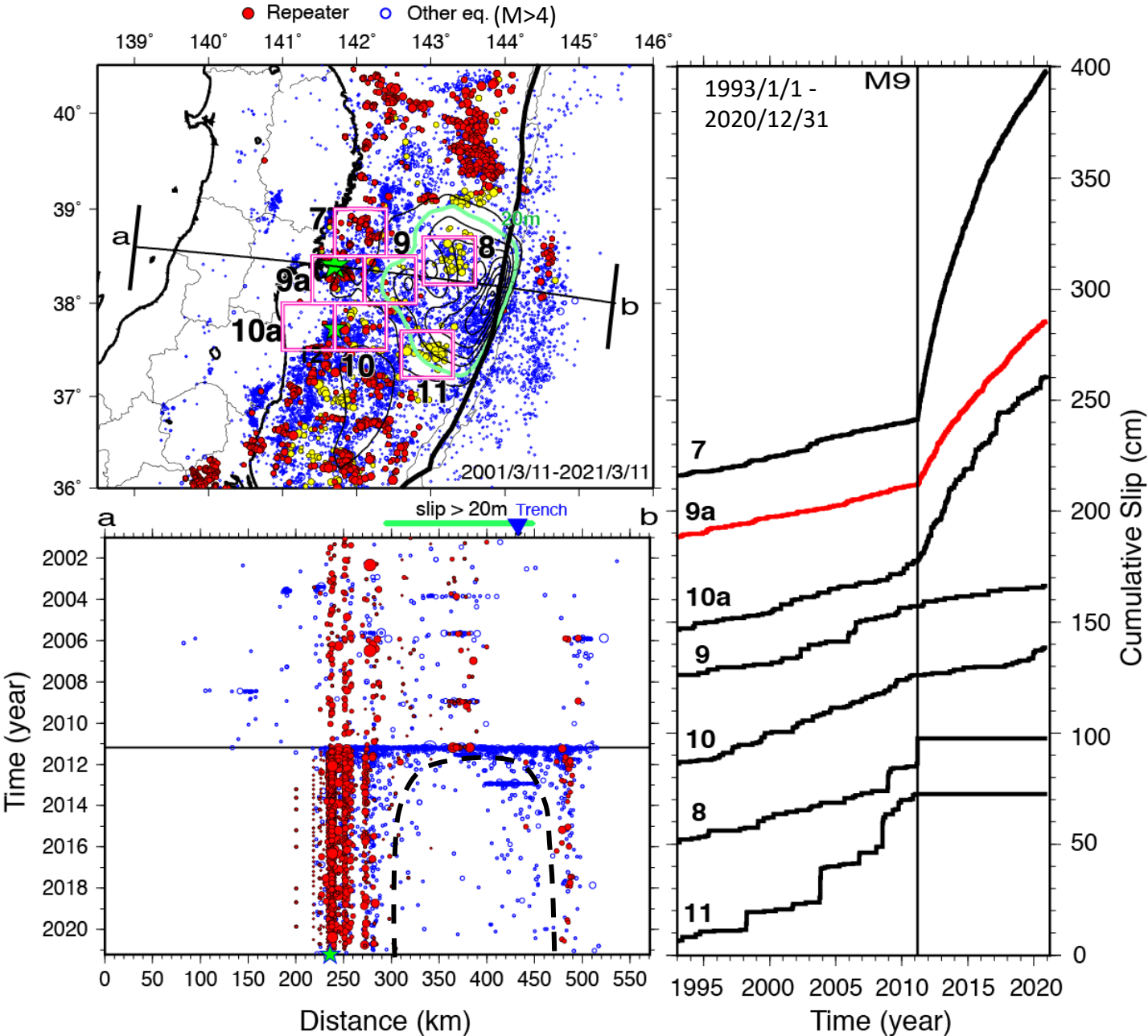


図. (左上) 繰り返し地震 (赤丸・黄色丸) およびその他の地震 (青丸) の分布。繰り返し地震は3年以上の活動期間を持つもの。黄色丸は東北沖地震後活動していないグループ。黒線は、Iinuma et al. 2012による東北沖地震の地震時すべり分布。緑星は2021/3/20M6.9の地震の震央。(左下) 左上図a-bに投影した活動。(右) 左上図の7つの領域の繰り返し地震系列の平均の積算すべり。領域はUchida and Matsuzawa, JGR, 2013と同じ(aがつくものを除く)

- \* 今回の地震を含む深部 (7, 9a, 10a) で速い余効すべり
- \* 東北沖地震大すべり域(8, 11)は活動停止したまま
- \* 中間域(9, 10)は東北沖地震前に比べすべり速度が遅く固着が強い。

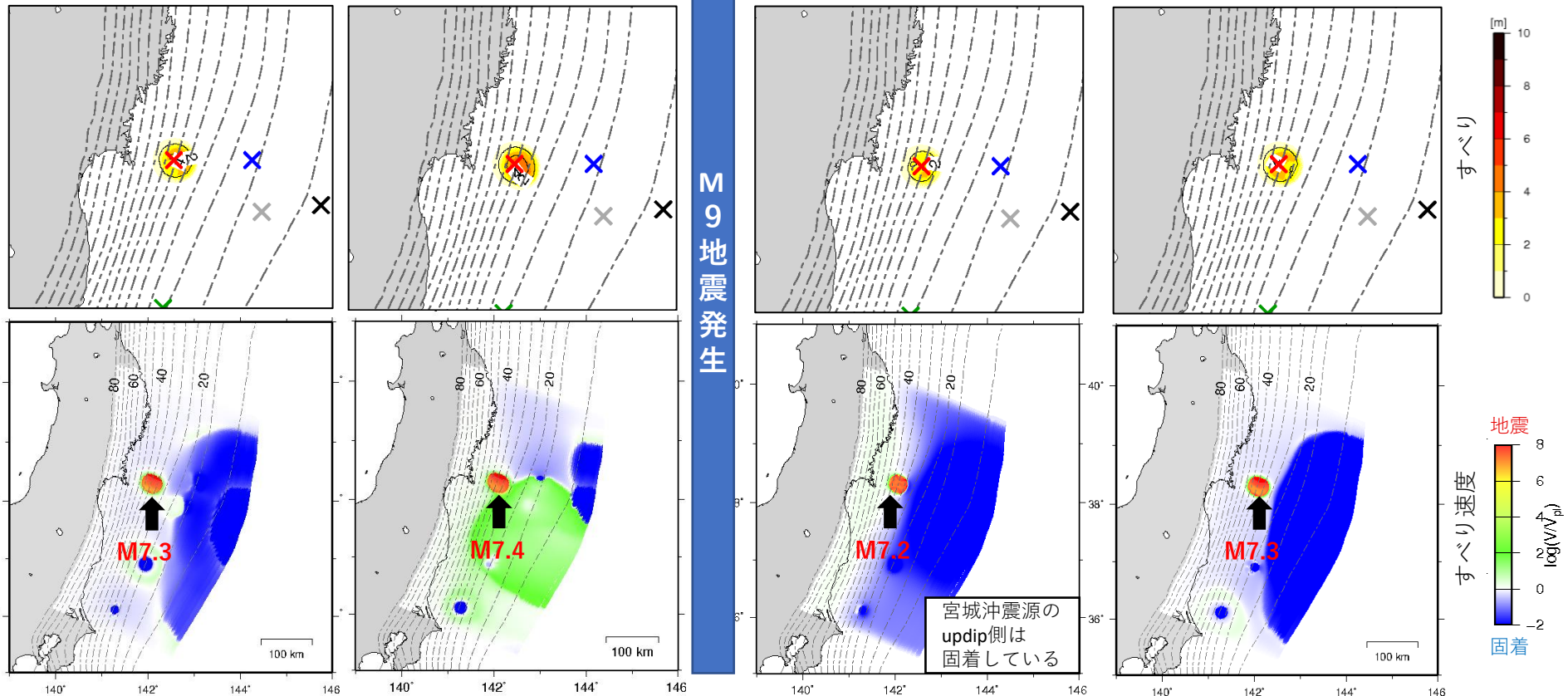
## 宮城県沖M&gt;7地震時のすべり・すべり速度分布

M9地震の39年前  
宮城県沖M7.28  
max\_slip=4.31 m

M9地震の38日前  
宮城県沖M7.35  
max\_slip=4.56 m

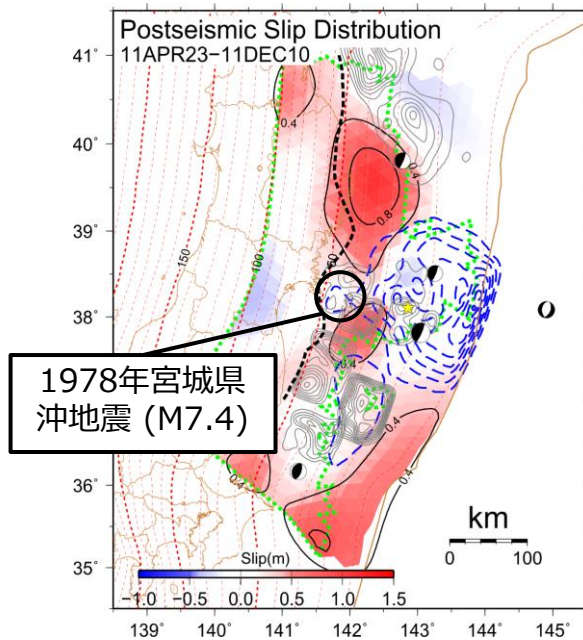
M9地震の18年後  
宮城県沖M7.18  
max\_slip=3.51 m

さらにその後(M9の135年後)  
宮城県沖M7.28  
max\_slip=4.18 m



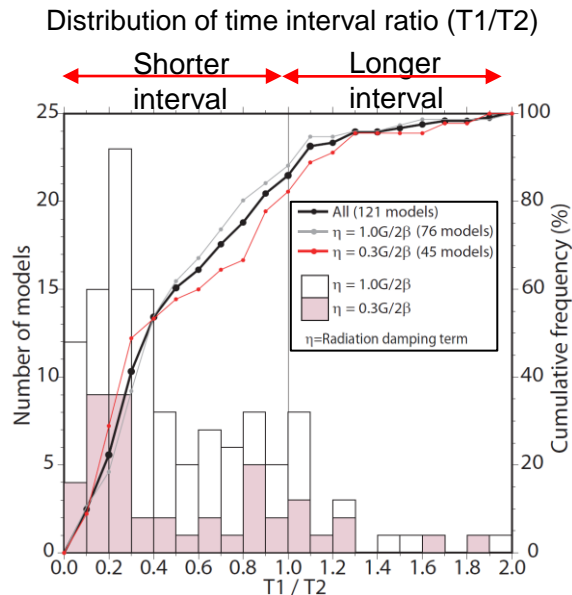
[Simulation results from Nakata et al., 2016]

図1. 地震発生サイクルの数値シミュレーションで得られた宮城県沖M>7地震のすべり分布(上)とすべり速度分布(下)。M9地震のすぐ後の宮城県沖地震のMは小さくなる傾向が見られた。up-dip側の固着が影響している可能性もある。このケースでは、M9地震前200年間の宮城県沖M>7地震の平均繰り返し間隔は54年であった。なお、このシミュレーションでは宮城県沖を1つのパッチでモデル化しているが、実際の宮城県沖地震では複数のM7クラスが発生している(1930年代)。1930年代の最大地震や1978年の地震はM=7.4であり、今回の地震後の現時点でも壊れ残っている部分があると考えられる。



地震時すべりと余効すべりとは空間的にすみ分けている。  
宮城県沖地震の想定震源域を含む、地震時の破壊域では、  
地震後早くから固着が回復している。  
(Iinuma et al., 2016, Nature Comm.)

実データ解析で、宮城県沖の想定震源域での固着の早期回復を示した



86% のシナリオにおいて、東北沖地震タイプの巨大地震発生後における宮城県沖地震の発生間隔が、東北沖地震タイプの巨大地震発生前に比べて短くなることが確認された（余効変動による応力蓄積率の増加のため）。  
(Nakata et al., 2016, Sci. Rep.)

次の宮城県沖地震がこれまでより短い発生間隔で起きる可能性を示唆

宮城県沖の陸寄りで繰り返し発生するひとまわり小さいプレート間地震（宮城県沖地震）

将来発生する地震の評価

評価に使用  
した地震：  
① 1897/2  
② 1933, 1936, (1937<sup>注1</sup>)  
③ 1978 ④ 2005<sup>注2</sup>

平均発生間隔： 約38年

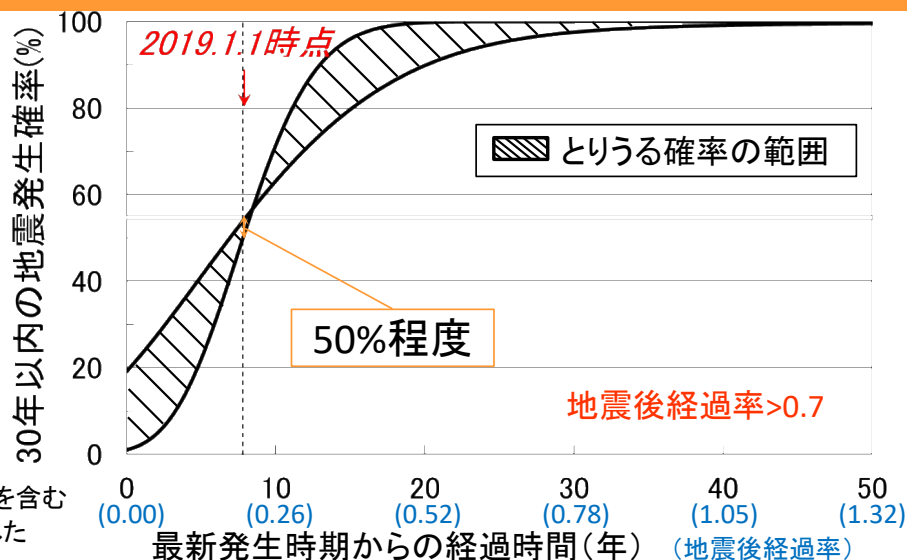
今後30年以内の  
地震発生確率： 50%程度

地震規模： M7.4前後

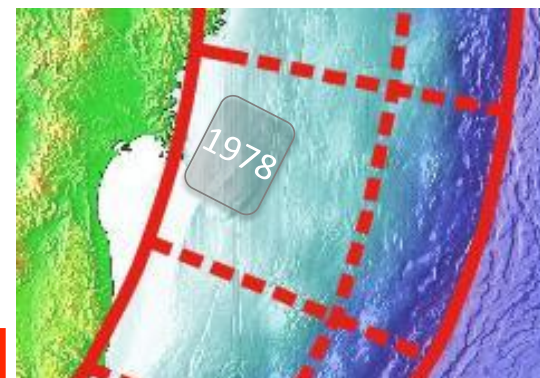
<sup>注1</sup> 沈み込んだプレート内の地震の可能性もある

<sup>注2</sup> 2011年の東北地方太平洋沖地震は当該地震の震源域を含む

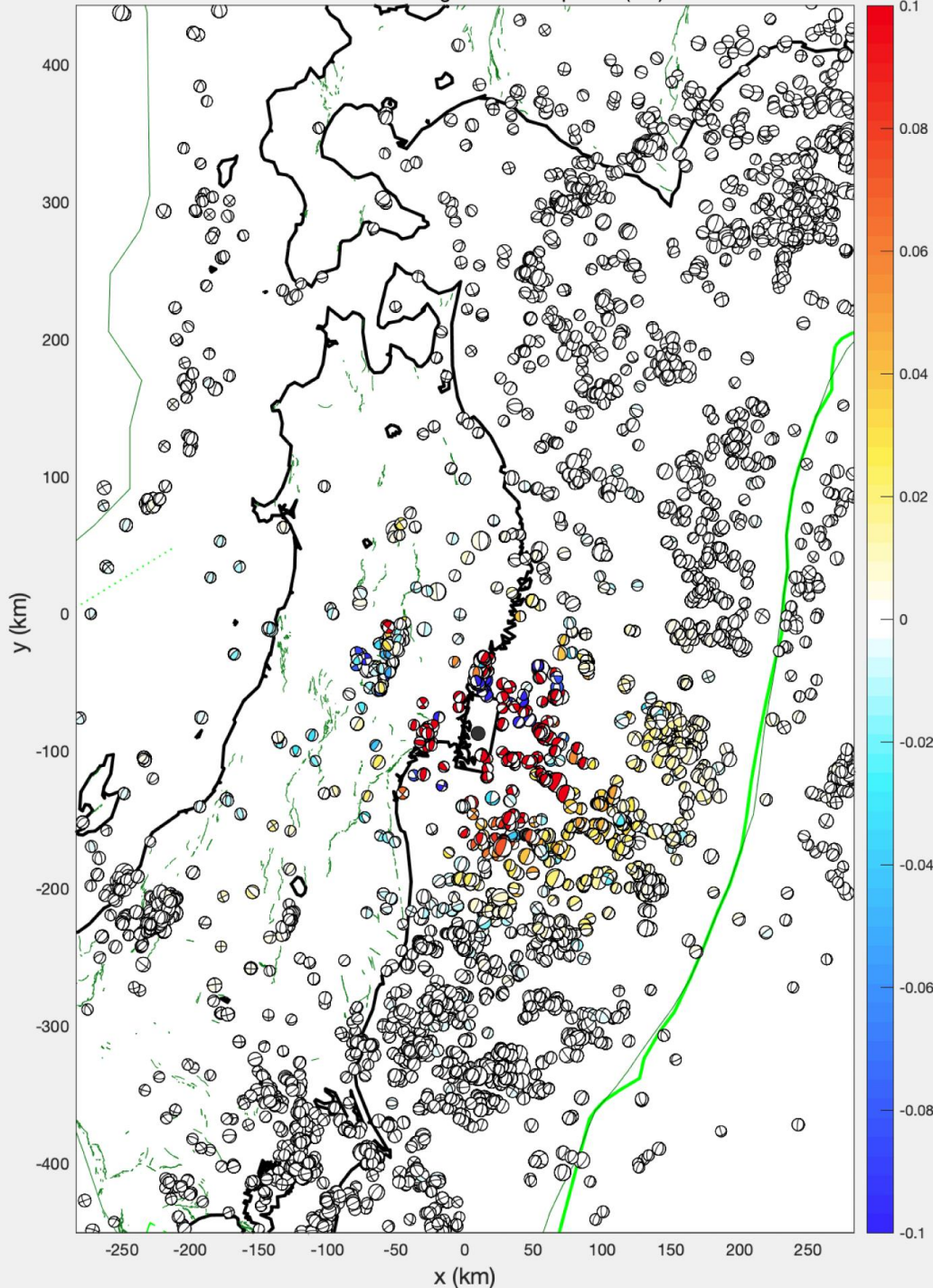
留意点： ため、最新発生時期として地震発生確率の計算に使用した



- ・ 2005年の地震までは似たような領域で繰り返し発生してきた
- ・ 東北地方太平洋沖地震で当該地震の震源域も大きくすべり、その後、余効すべりの分布から同領域で固着が再開していると想定されることから (p19)、次の地震発生サイクルに入っていると判断して、地震発生確率を計算
- ・ 地震が似たような間隔で発生していると考えて地震発生確率を計算するので、時間が経過するほど地震は起こりやすくなる
- ・ 次の理由から、地震発生確率は上記の値より高い可能性がある
  - (1) 東北地方太平洋沖地震の余効すべりによる応力変化の影響 (p19)
  - (2) 地震発生サイクルシミュレーションで次の地震が発生するまでの間隔が短くなる可能性が指摘されているため (p20)
  - (3) 低角逆断層型地震の活動が東北地方太平洋沖地震以前と比べて活発な状況が続いているため (p21)



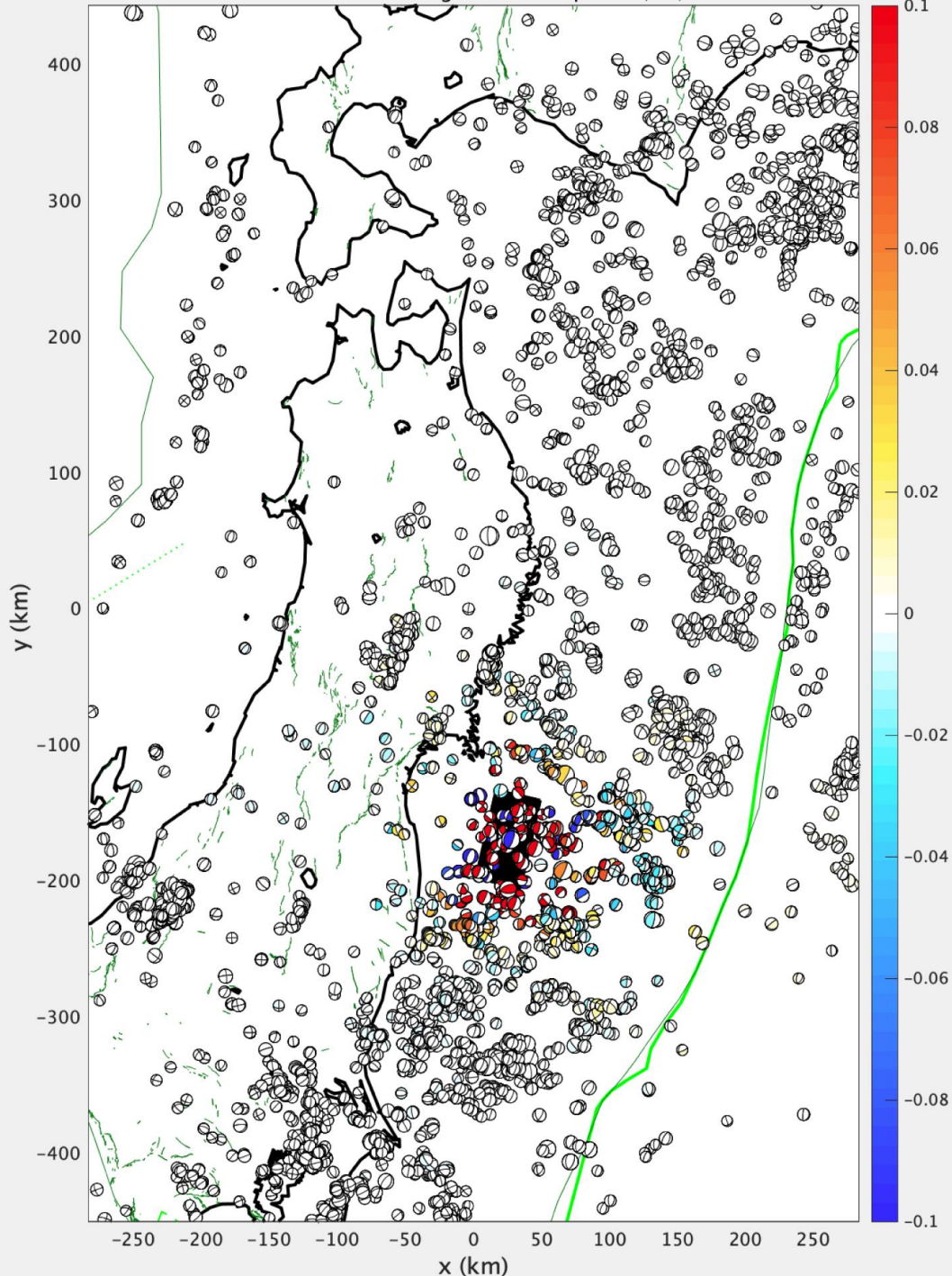
当該地震の震源域の例  
(Wu et al., 2008による1978年宮城県沖地震の震源域の概略位置)



## 2021年3月20日Mj6.9 (Mw7.1, USGS) 宮城県沖の地震による周辺域へのクーロン応力変化 ( $\Delta CFF$ )

過去のメカニズム解 (防災科研 F-net,  $M \geq 4$ , 1997-20210319,  $d < 100\text{km}$ ) をそれぞれの地域の潜在断層と仮定し, 節面2つのうち最大の $\Delta CFF$ をメカニズム解押領域に示した ( $\mu' = 0.4$ ). 震源断層は Wells & Coppersmith 経験則と USGS MT から作成. 宮城県沖・福島県沖のプレート境界沿い, 浅部地殻内の宮城県北部で正の $\Delta CFF$ となる.

2021/3/20 Mw = 7.1 D = 54.0 km  
Max. dCFF on background nodal planes (bar)



## 2021年2月13日Mj7.2 (Mw7.1, USGS) 福島県沖の地震による周辺域へのクーロン応力変化 ( $\Delta CFF$ )

過去のメカニズム解 (防災科研 F-net,  $M \geq 4$ , 1997-20210213,  $d < 100\text{km}$ ) をそれぞれの地域の潜在断層と仮定し, 節面2つのうち最大の $\Delta CFF$ をメカニズム解押領域に示した ( $\mu' = 0.4$ ). 震源断層は USGS Hayes (2021) モデル (北西傾斜であることに注意). スラブ内の本震直上の福島県沖のプレート境界沿いで正の $\Delta CFF$ となる. 3月20日の地震の震源付近でも0.1bar程度の応力増が見られた.

2021/2/13 Mw = 7.1 D = 54.0 km  
Max. dCFF on background nodal planes (bar)