

## 地震動について

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所  
港湾空港技術研究所 野津厚

謝辞: 防災科学技術研究所、熊本県、気象庁、大阪大学秦吉弥博士による強震記録を利用しています。記して謝意を表します。

1

### 地震動に関する基本情報

4/14 前震(M6.5) 震度7は1箇所(益城町宮園)  
4/16 本震(M7.3) 震度7は2箇所(益城町宮園, 西原村小森)

震度6弱以上の地震は7回発生

余震が多い(震度1以上を観測する地震は4081回発生(10/10 24:00現在))  
(気象庁報道発表資料  
[http://www.jma.go.jp/jma/press/1610/11c/kumamoto\\_seisa.pdf](http://www.jma.go.jp/jma/press/1610/11c/kumamoto_seisa.pdf))

基本的には右横ずれ断層でそれに正断層成分が混じっている  
(地震調査研究推進本部 地震調査委員会  
[http://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2016/2016\\_kumamoto\\_3.pdf](http://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2016/2016_kumamoto_3.pdf))

地表地震断層が表れた

前震(M6.5)は益城町付近の断層が局所的に壊れた  
本震(M7.3)は北東方向に大きく破壊が進展した

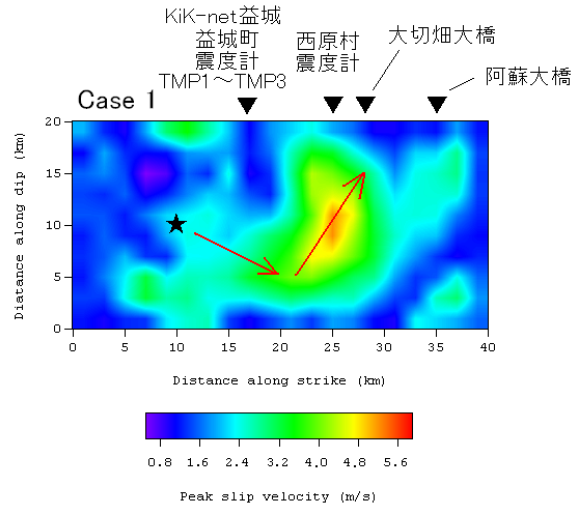
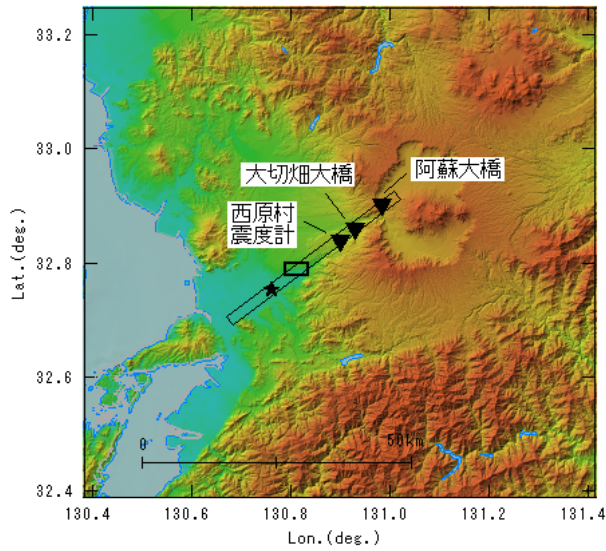
2

## 目次

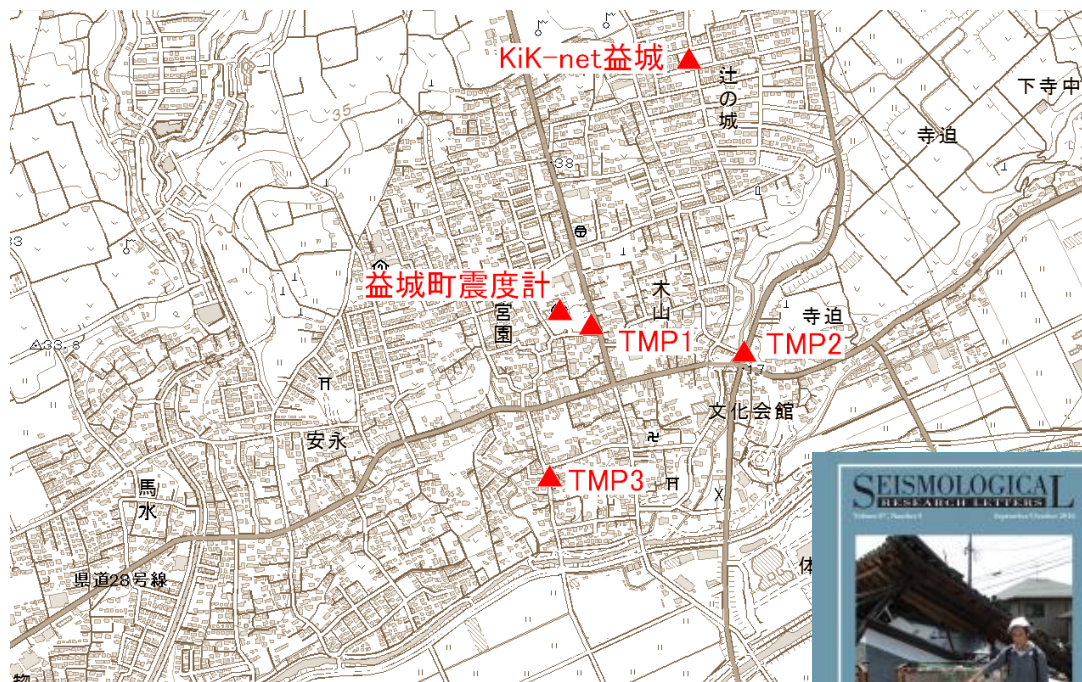
1. 益城町で観測された地震動について
2. サイト特性と観測地震動の関係(やや広域の話)
3. 震源断層の破壊過程とその影響
4. 今後について

## 目次

1. 益城町で観測された地震動について
2. サイト特性と観測地震動の関係(やや広域の話)
3. 震源断層の破壊過程とその影響
4. 今後について



5



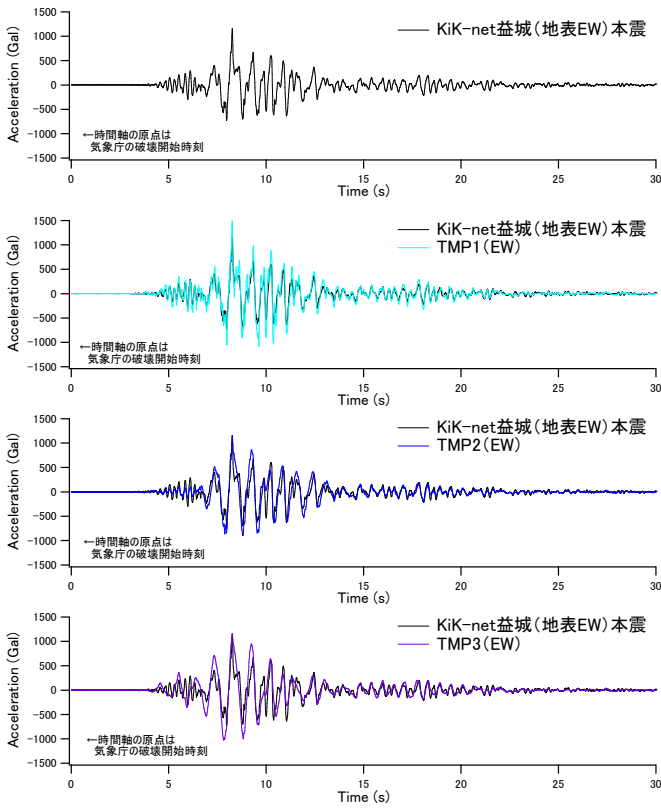
益城町宮園: 益城町役場の観測点 (自治体震度計)  
 TMP1, TMP2, TMP3: 大阪大学秦吉弥博士の観測点  
 (Hata et al, 2016, Seismological Research Letters)

→被害集中域での本震観測記録であり極めて重要性が高い



6

## 加速度波形



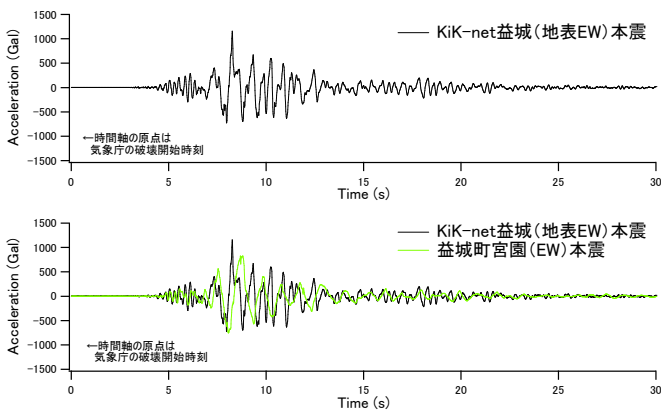
※きれいに位相の揃った良好な記録が得られている。

※TMP1地点の記録はKiK-netに比べ短周期成分が載っている

※TMP2地点, TMP3地点の記録はKiK-netに比べ周期1sの成分が強調されている。

7

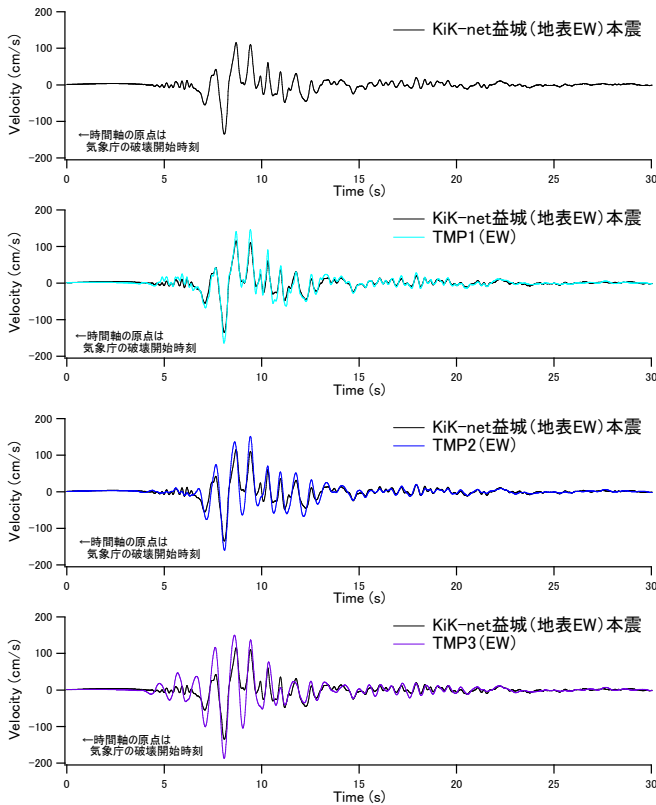
## 加速度波形



※益城町宮園 (益城町役場) の記録は少し位相が遅れて長周期化している。

8

## 速度波形



※きれいに位相の揃った良好な記録が得られている。

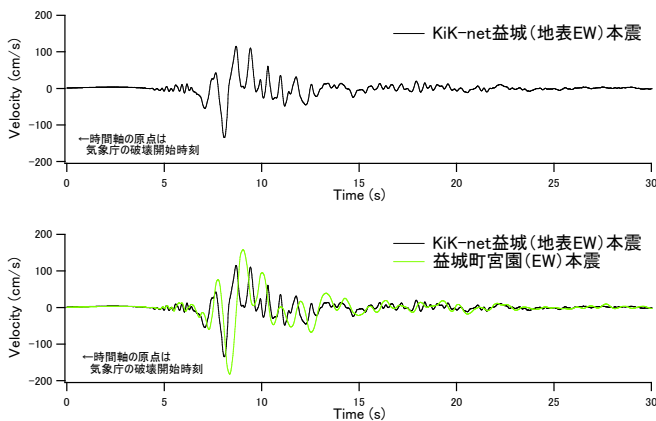
※TMP1地点の記録はKiK-netに比べ短周期成分が載っている

※TMP2地点, TMP3地点の記録はKiK-netに比べ周期1sの成分が強調されている。

※この速度波形は0.1Hz以下をカットして周波数領域で積分したもの。

9

## 速度波形

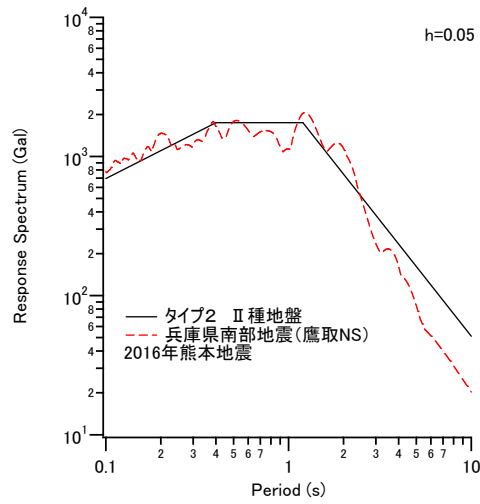


※益城町宮園(益城町役場)の記録は少し位相が遅れて長周期化している。

※この速度波形は0.1Hz以下をカットして周波数領域で積分したもの。

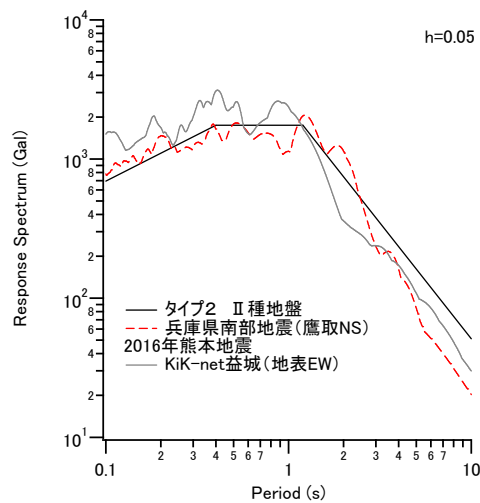
10

## 加速度応答スペクトル



11

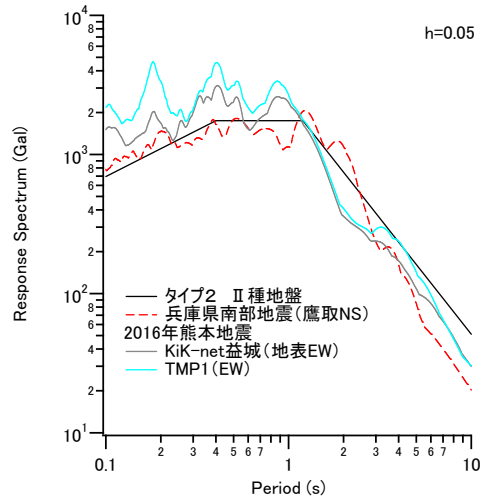
## 加速度応答スペクトル



KiK-net益城の地震動は周期1s付近で鷹取の記録を上回る

12

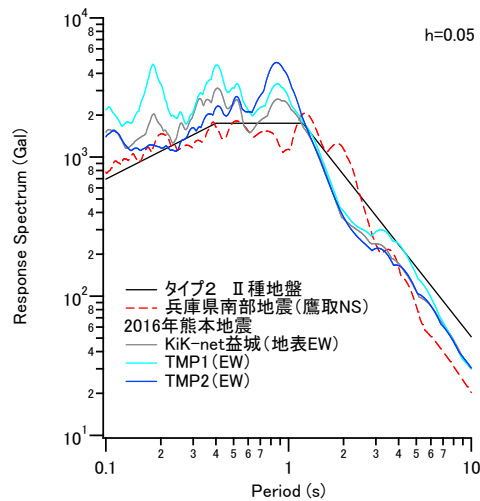
## 加速度応答スペクトル



TMP1地点の地震動はKiK-net益城と周期特性が似ており全体に大きくなっている

13

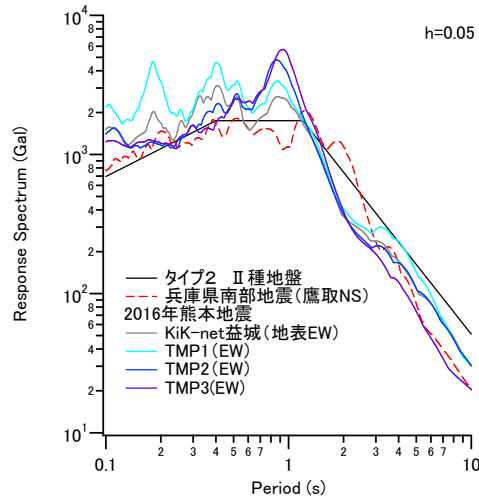
## 加速度応答スペクトル



TMP2地点の地震動は周期1sでさらに大きくなっている

14

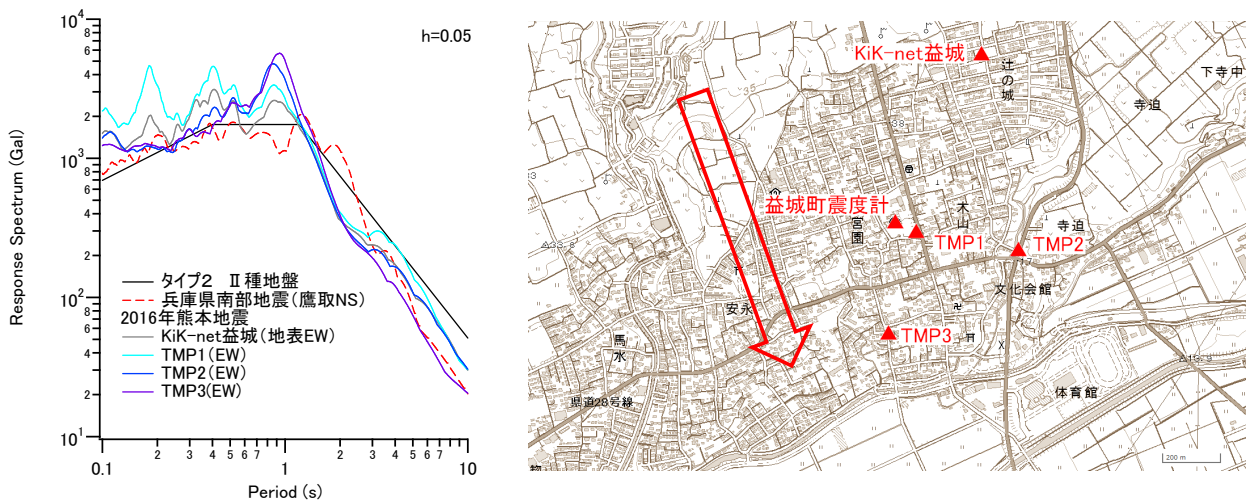
## 加速度応答スペクトル



TMP3地点の地震動は周期1sでさらに大きくなっている。

15

## 加速度応答スペクトル



KiK-net益城→TMP3と南下するほど周期1sの成分が大きくなっている。

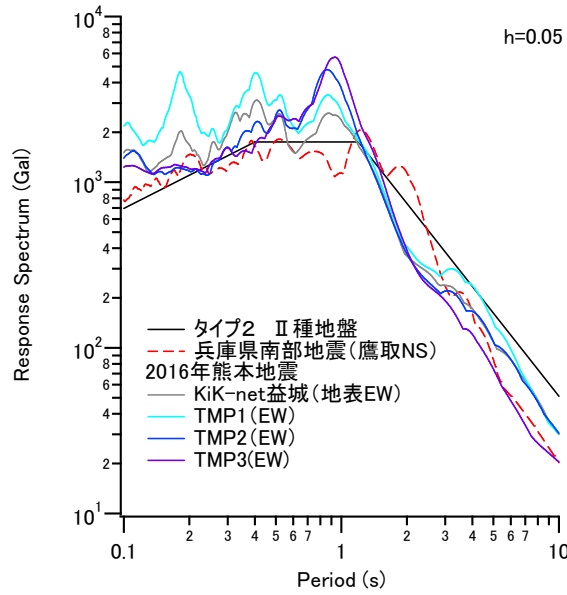
TMP3地点で地震動が大きいのは建築学会による悉皆調査の結果(日本建築学会災害委員会, 2016, 建築学会大会)と整合する。

悉皆調査の結果で最も全壊率が高かったのは県道28号線の南側  
TMP3地点はまさにそこに当たっている。

16



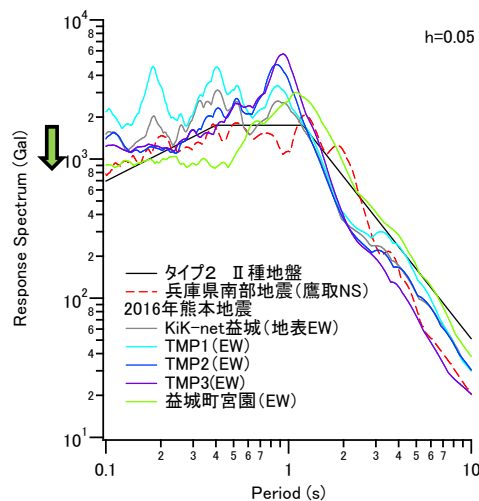
## 加速度応答スペクトル



地点により振幅は異なるものの、1s付近で兵庫県南部地震の地震動や道示スペクトルを大幅に超える地震動が観測された点が耐震設計上重要  
 →ただし、このような大振幅地震動がどこにでも生じ得るわけではない。大振幅地震動が生じる危険性のある地点を抽出し重点的に対策を行うことが重要と考えている。  
 →この点は後に議論。

17

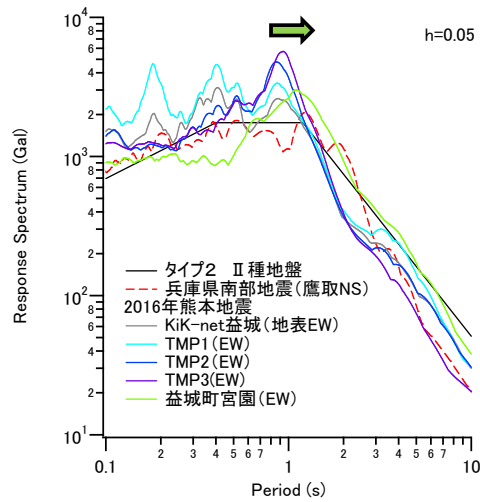
## 加速度応答スペクトル



益城町宮園(益城町役場)の記録は短周期成分が少ない  
 →入力損失によると考えられる

18

## 加速度応答スペクトル



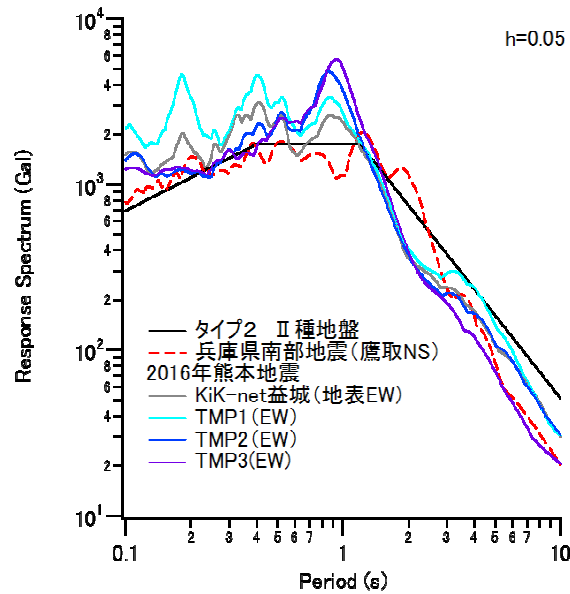
益城町宮園(益城町役場)の記録だけ他の記録より長周期化している  
→基礎の損傷または局所的な地盤の非線形挙動の影響？

19

## 益城町での周期1秒の成因

20

### 益城町での周期1秒の成因



	震源特性	サイト特性
KiK-net益城	○	×
TMP3地点	○	○

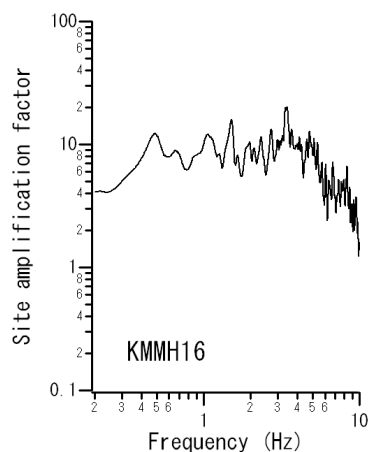
※他の成分に対して特に周期1秒の成分が卓越した原因

### 益城町での周期1秒の成因

	震源特性	サイト特性
KiK-net益城	○	×
S3地点	○	○

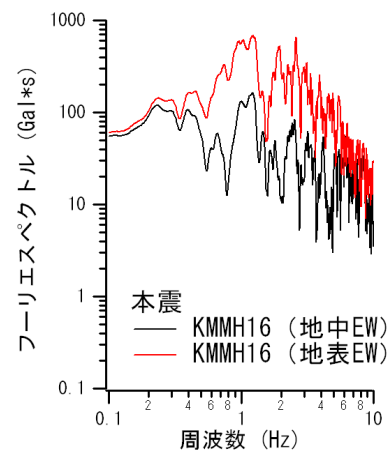
KiK-net益城で特に周期1秒が卓越した原因がサイト特性でない理由

(理由1)



KiK-net益城での経験的サイト増幅特性には周期1sにピークはない

(理由2)

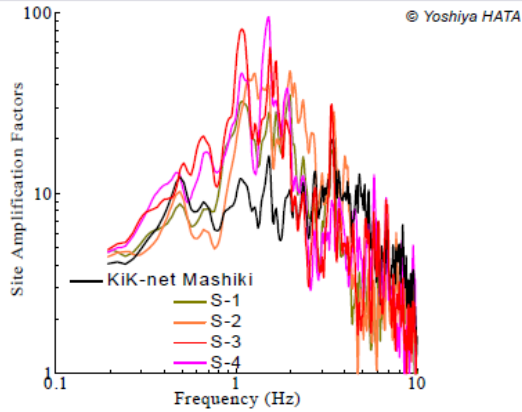


本震時に周期1sの成分は地中でも観測されている

## 益城町での周期1秒の成因

	震源特性	サイト特性
KiK-net益城	○	×
TMP3地点	○	○

サイト増幅特性の比較【南側4地点】



一方, TMP3地点では周期1s付近にサイト増幅特性のピークがあったことが明らかにされている.

TMP3地点(=左の図ではS3地点)では震源特性とサイト特性の双方に周期1sを大きくする要因があり, それにより周期1sの大振幅地震動が生じたと考えられる.

(秦, 2016, 土木学会速報会)  
<http://committees.jsce.or.jp/eec2/node/76>

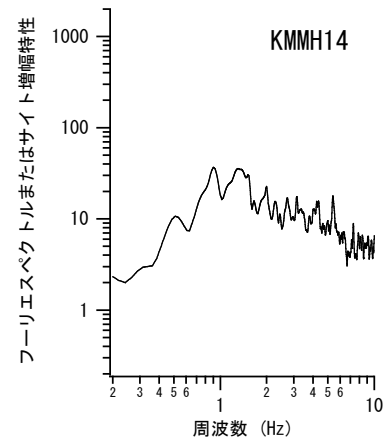
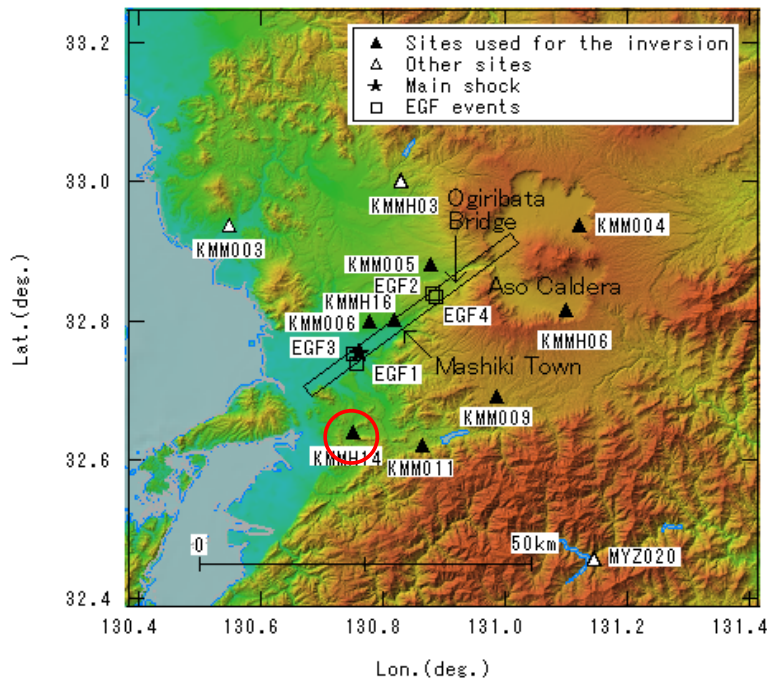
23

## 目次

1. 益城町で観測された地震動について
2. サイト特性と観測地震動の関係(やや広域の話)
3. 震源断層の破壊過程とその影響
4. 今後について

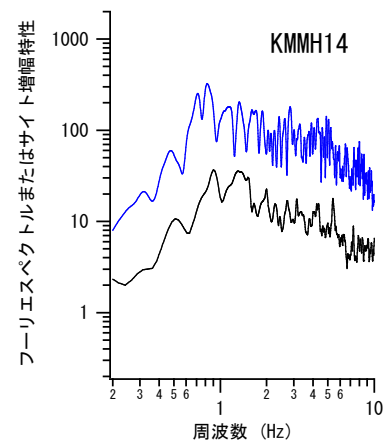
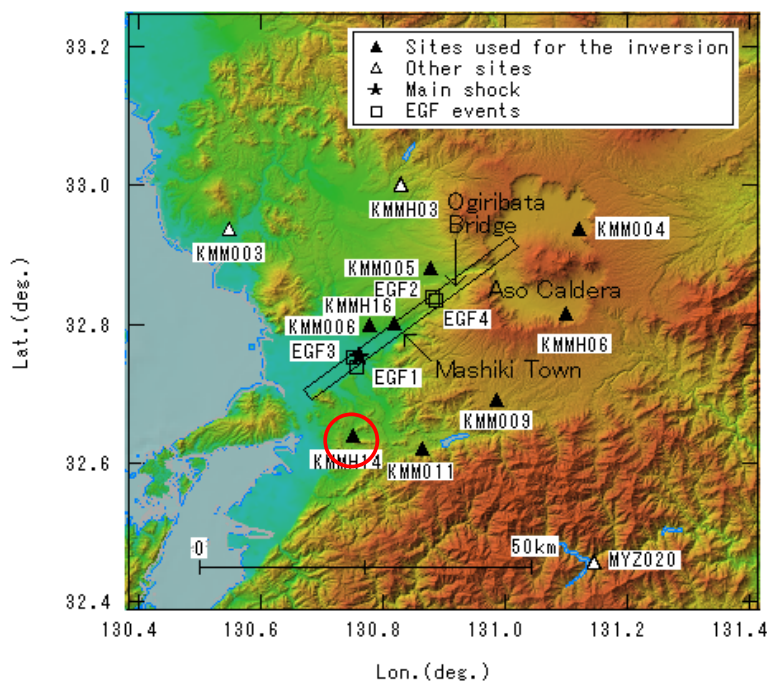
24

## データ:震源近傍の強震記録



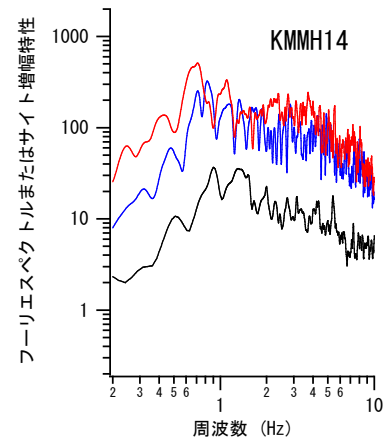
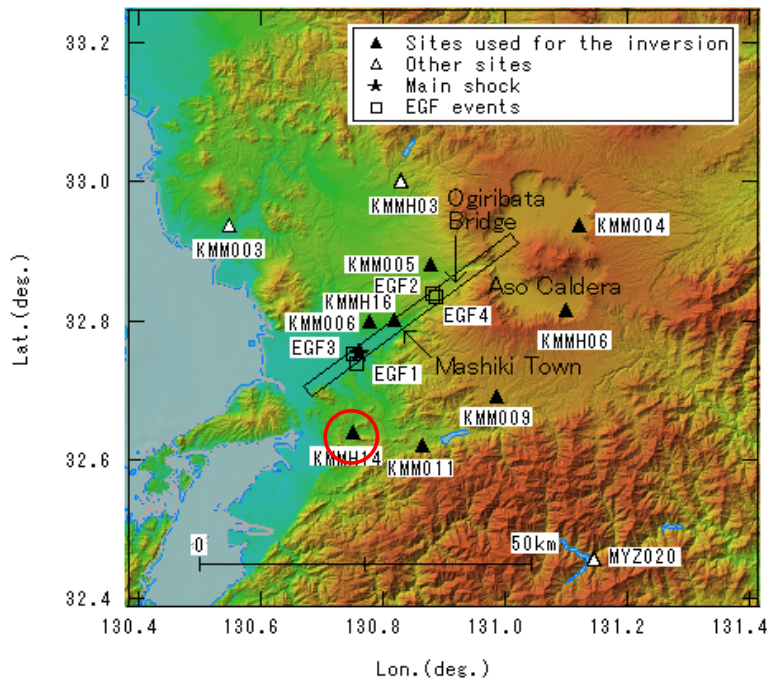
黒: サイト増幅特性  
 青: 前震フーリエ  
 赤: 本震フーリエ

## データ:震源近傍の強震記録



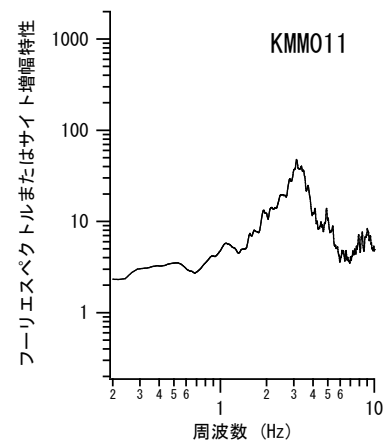
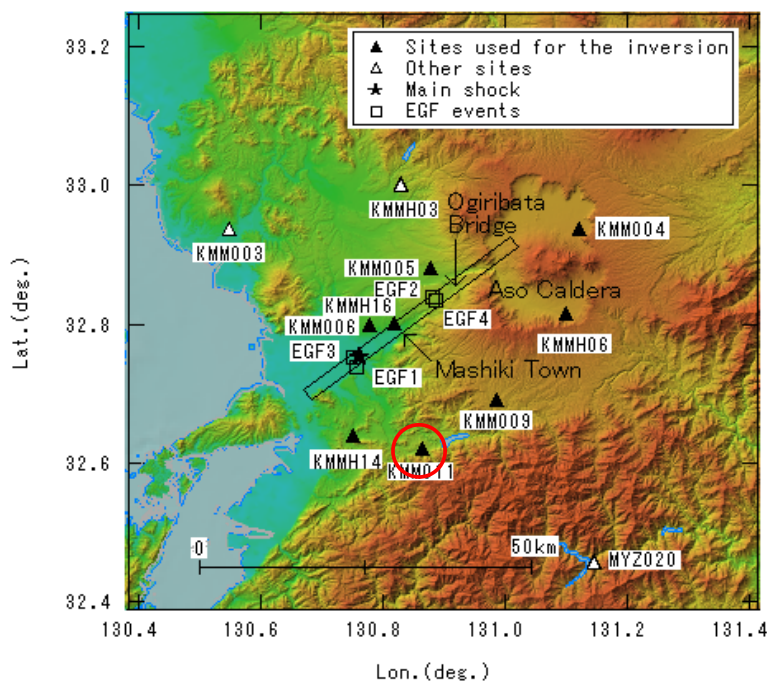
黒: サイト増幅特性  
 青: 前震フーリエ  
 赤: 本震フーリエ

## データ:震源近傍の強震記録



黒: サイト増幅特性  
 青: 前震フーリエ  
 赤: 本震フーリエ

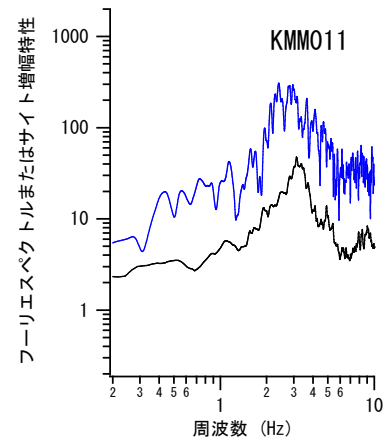
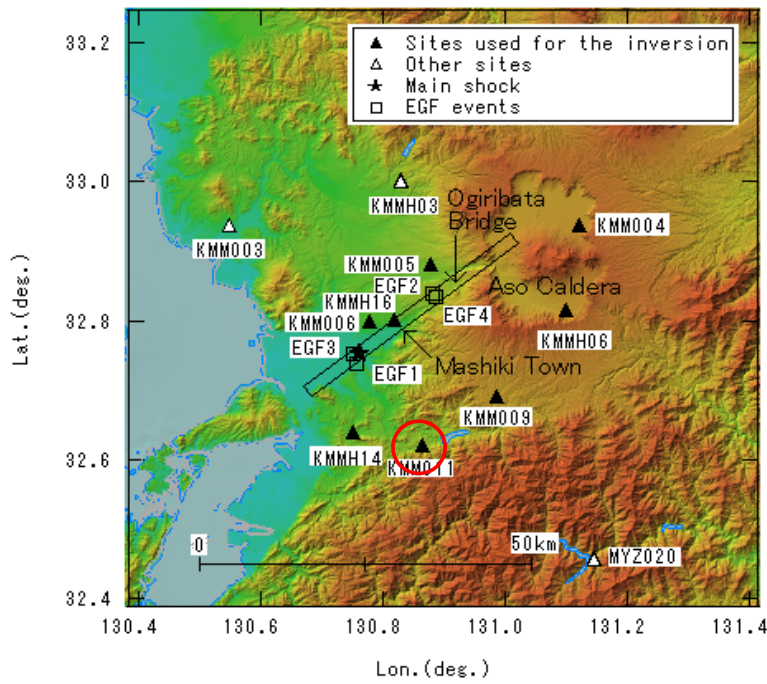
## データ:震源近傍の強震記録



黒: サイト増幅特性  
 青: 前震フーリエ  
 赤: 本震フーリエ

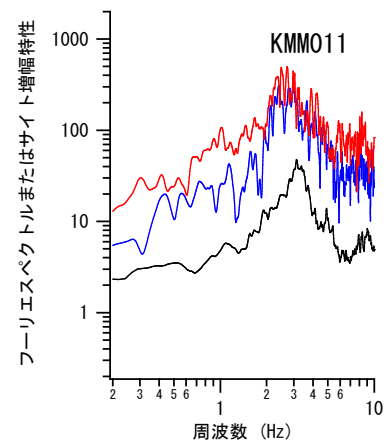
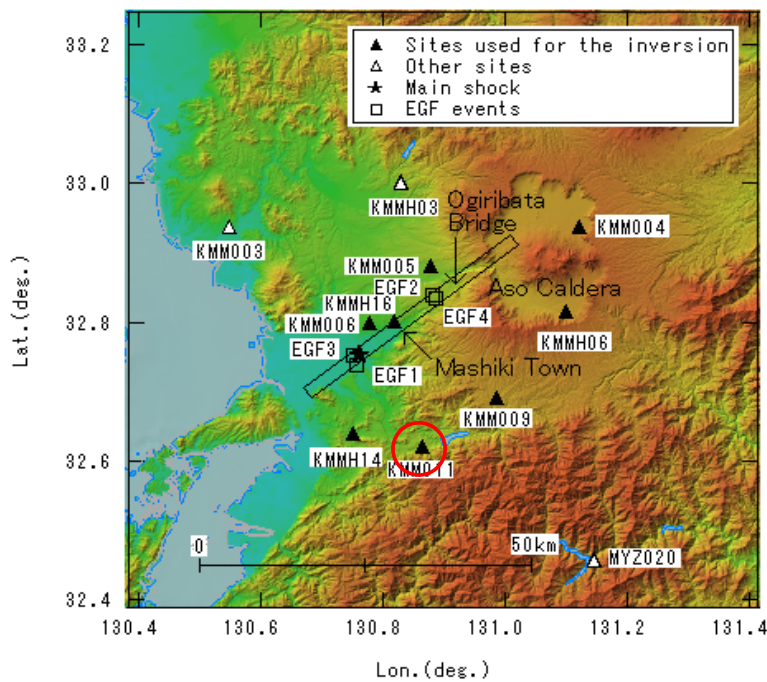


データ:震源近傍の強震記録



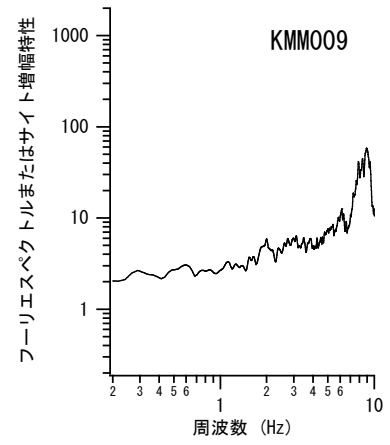
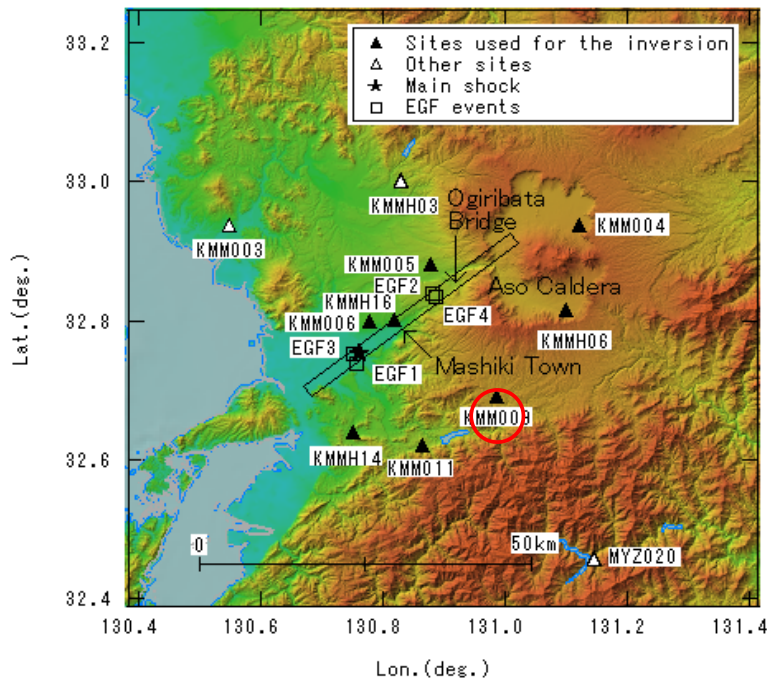
黒: サイト増幅特性  
 青: 前震フーリエ  
 赤: 本震フーリエ

データ:震源近傍の強震記録



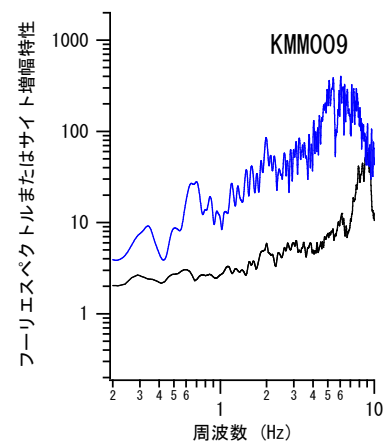
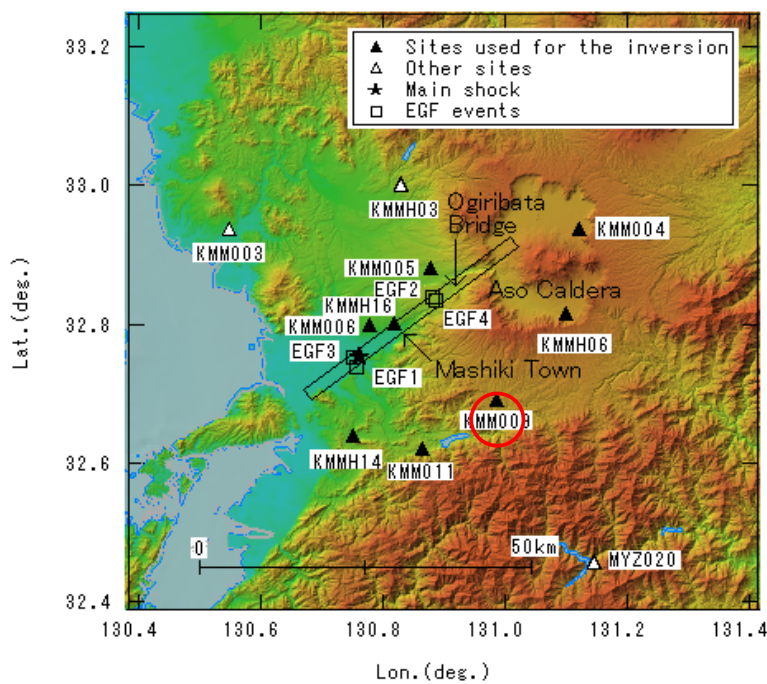
黒: サイト増幅特性  
 青: 前震フーリエ  
 赤: 本震フーリエ

## データ:震源近傍の強震記録



黒: サイト増幅特性  
 青: 前震フーリエ  
 赤: 本震フーリエ

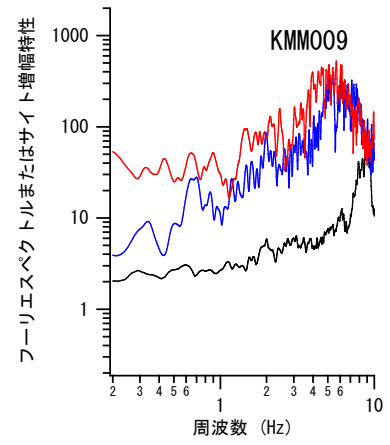
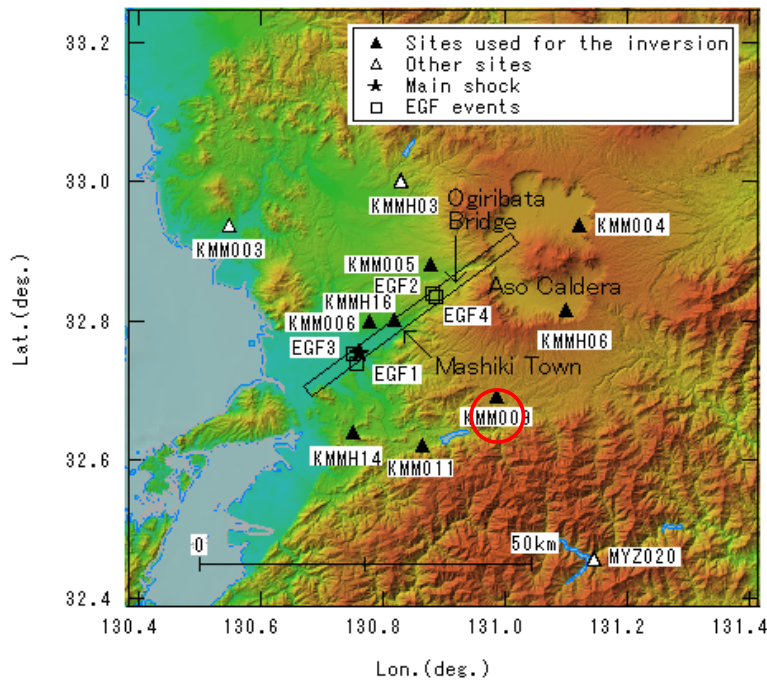
## データ:震源近傍の強震記録



黒: サイト増幅特性  
 青: 前震フーリエ  
 赤: 本震フーリエ

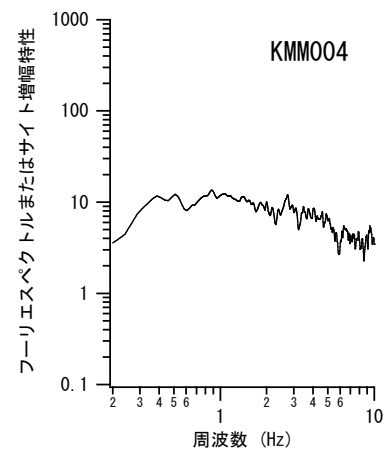
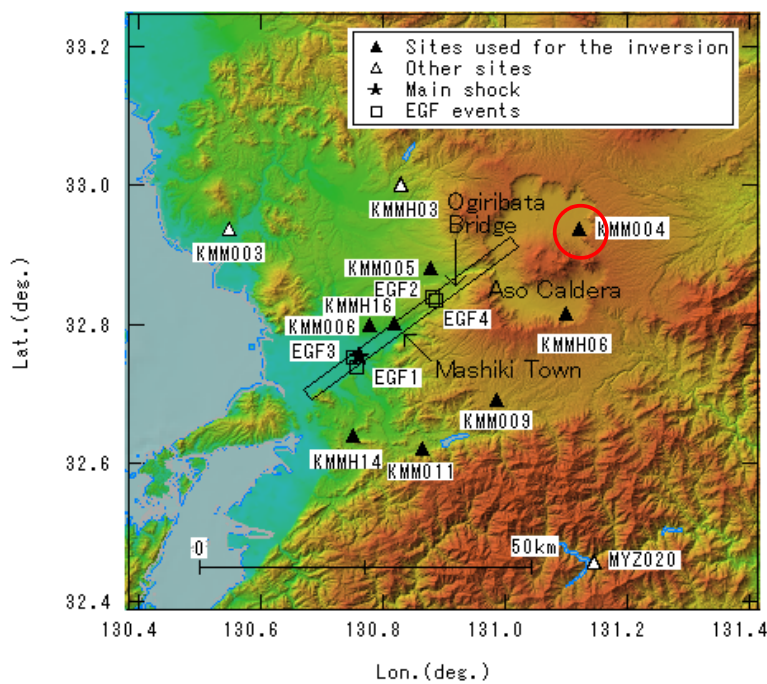


## データ:震源近傍の強震記録



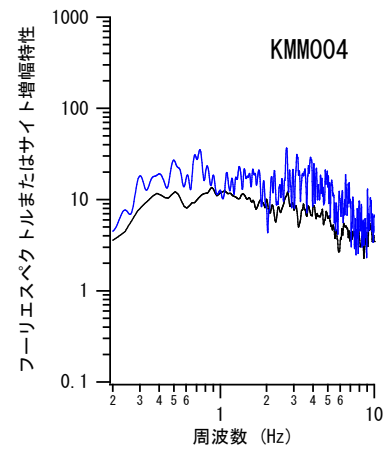
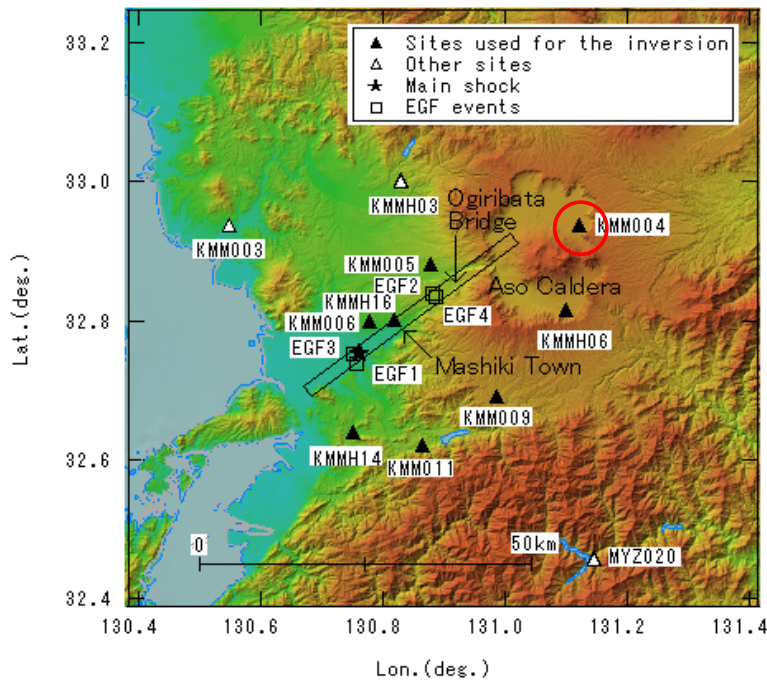
黒: サイト増幅特性  
 青: 前震フーリエ  
 赤: 本震フーリエ

## データ:震源近傍の強震記録



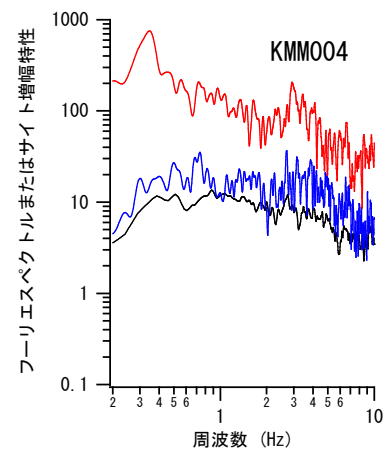
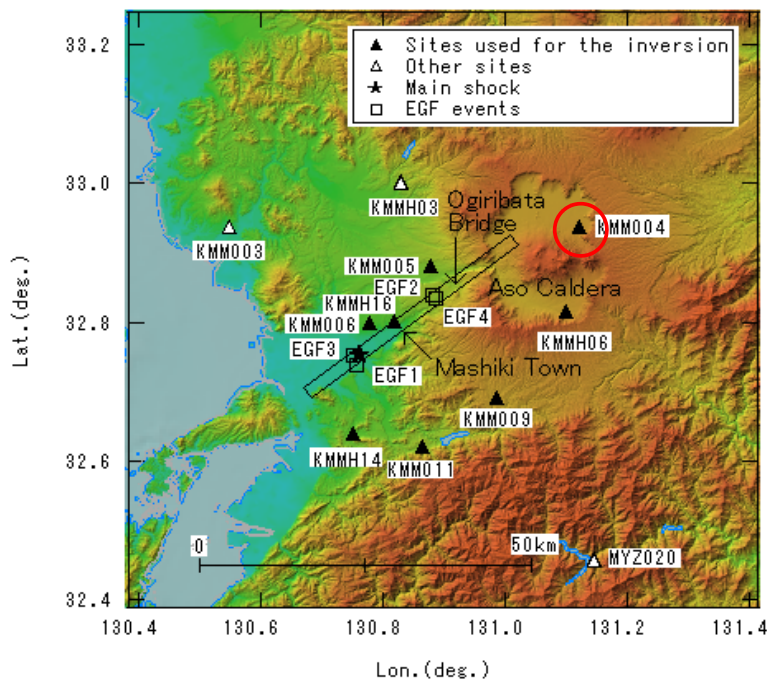
黒: サイト増幅特性  
 青: 前震フーリエ  
 赤: 本震フーリエ

## データ:震源近傍の強震記録



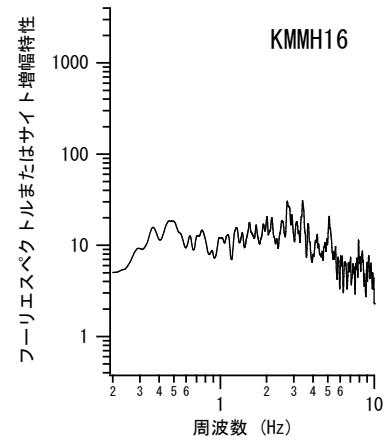
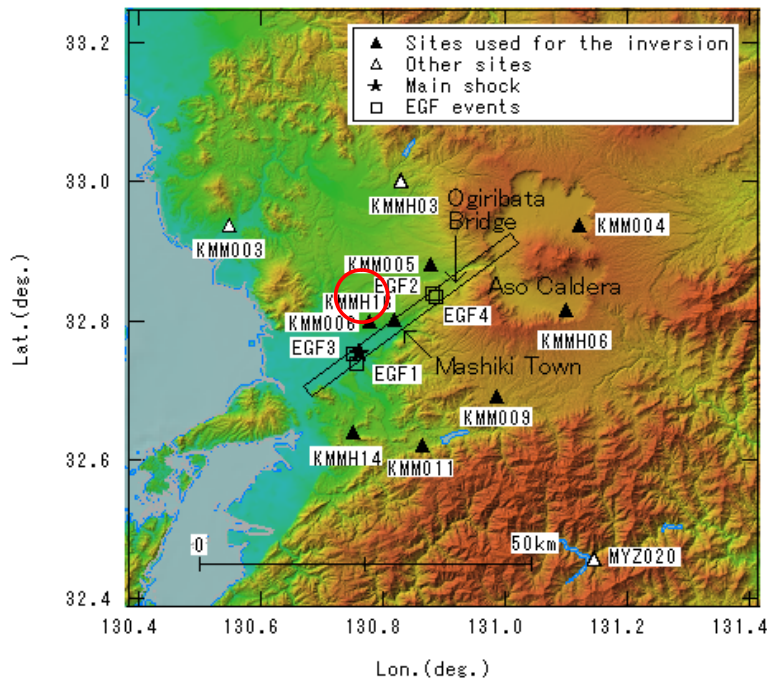
黒: サイト増幅特性  
 青: 前震フーリエ  
 赤: 本震フーリエ

## データ:震源近傍の強震記録



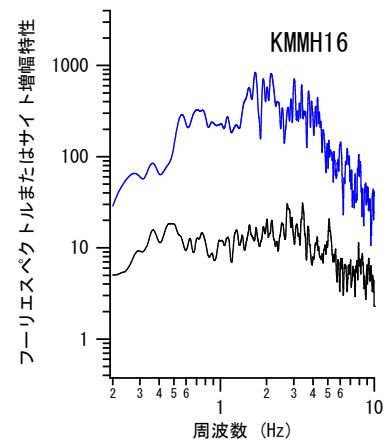
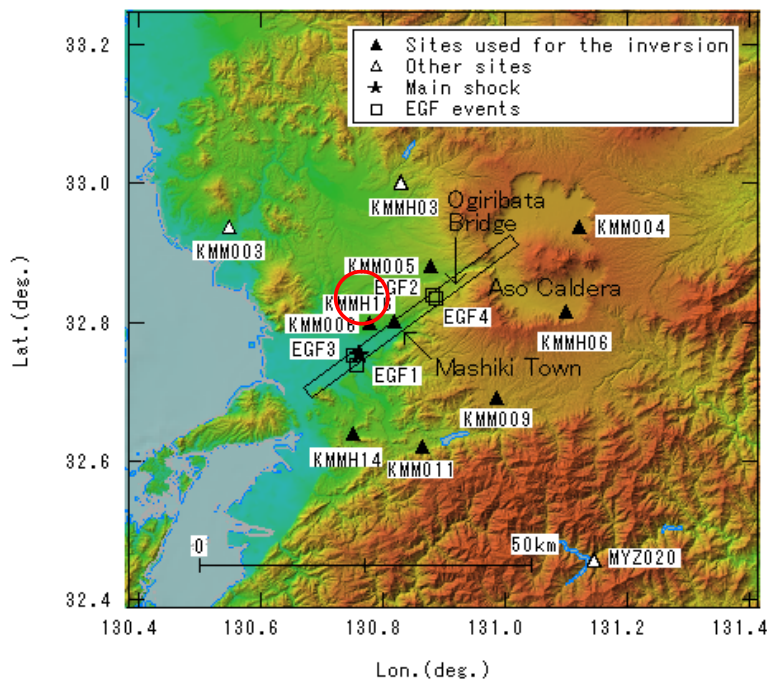
黒: サイト増幅特性  
 青: 前震フーリエ  
 赤: 本震フーリエ

データ:震源近傍の強震記録



黒: サイト増幅特性  
 青: 前震フーリエ  
 赤: 本震フーリエ

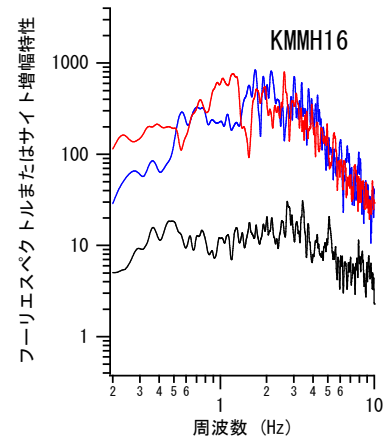
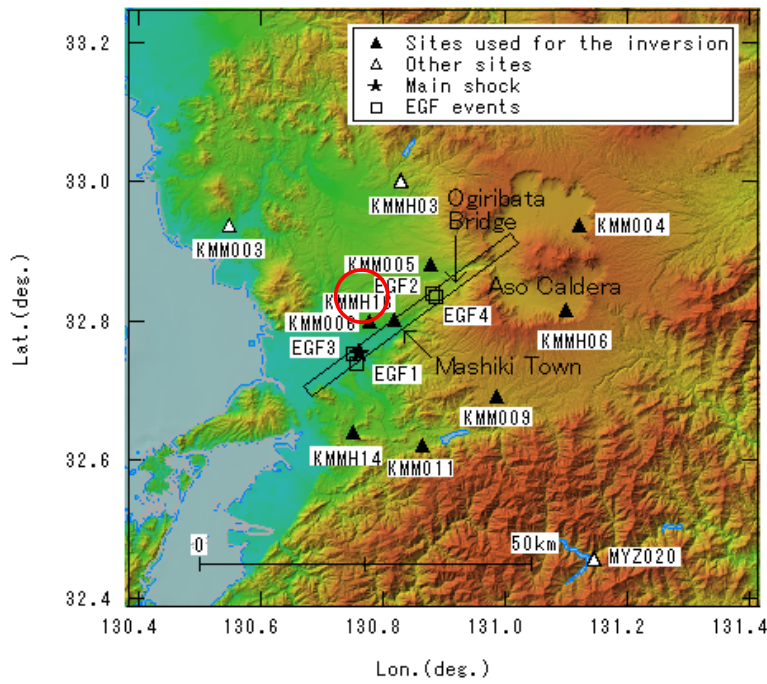
データ:震源近傍の強震記録



黒: サイト増幅特性  
 青: 前震フーリエ  
 赤: 本震フーリエ



## データ:震源近傍の強震記録



黒: サイト増幅特性  
青: 前震フーリエ  
赤: 本震フーリエ

## 目次

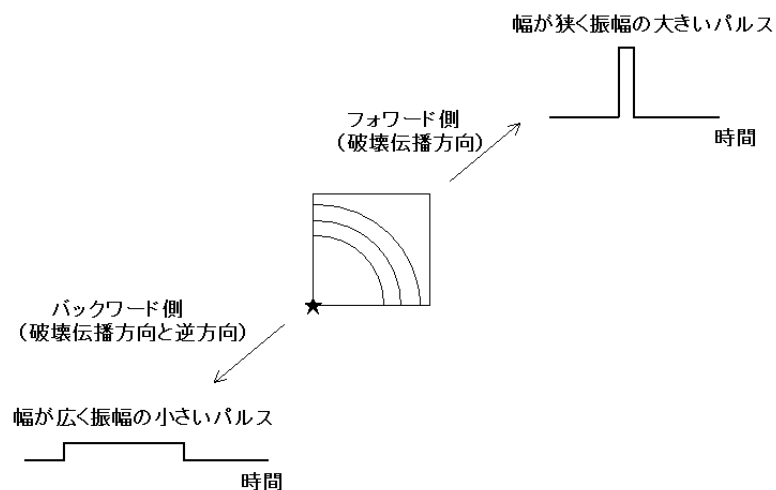
1. 益城町で観測された地震動について
2. サイト特性と観測地震動の関係(やや広域の話)
3. 震源断層の破壊過程とその影響
4. 今後について

## 知りたいこと

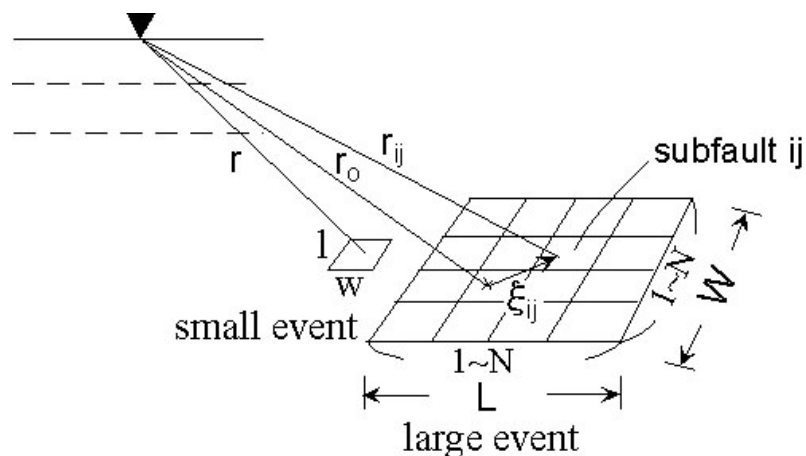
- ① 強い地震動はどのような震源過程により生成されたのか
- ② 神戸と同じようにforward directivityの影響はあったのか

## 破壊伝播方向と地震動の関係

破壊伝播方向では幅が狭く振幅の大きいパルスになる(フォワードディレクティビティ).



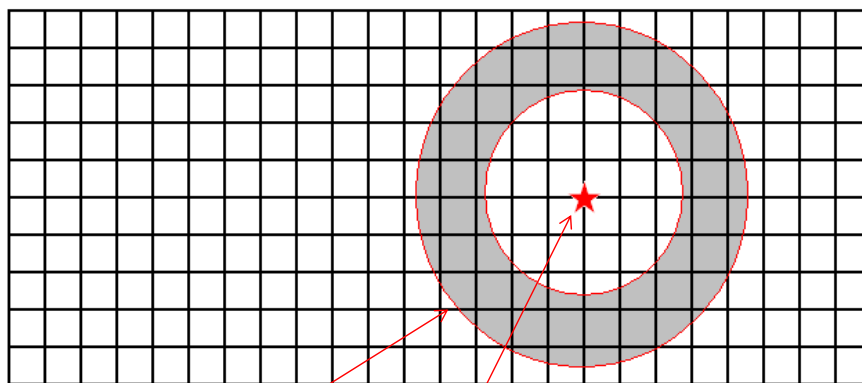
震源過程推定の方法 (Nozu, 2017, Earth Planets Space)



大きな地震による地震波は小さな地震による地震波の重ね合わせで表される >> 経験的グリーン関数法

$$V(t) = \sum_{i=1}^{N_L} \sum_{j=1}^{N_W} \sum_{k=1}^{N_D} W_{ijk} \left( \frac{r_a}{r_{ij}} \right) v(t - t_{ijk})$$

震源過程推定の方法 (Nozu, 2017, Earth Planets Space)

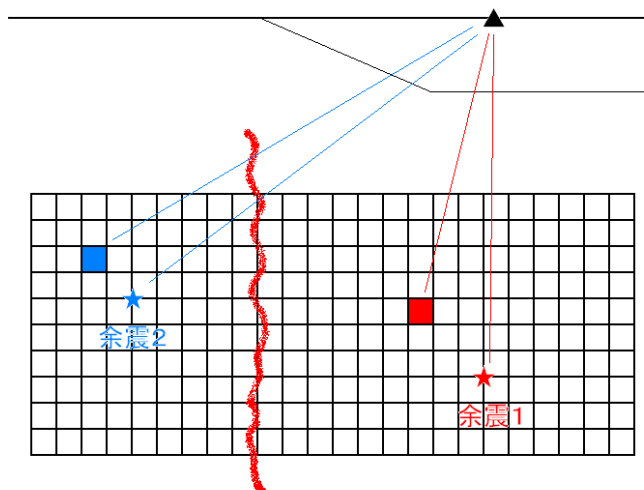


破壊フロント

破壊開始点

ただし、断層面上の任意の部分が任意の時刻にすべるとしているわけではない。各小断層は、破壊フロントが到達してからすべり始め、ある定められた時間  $\tau$  の間だけすべることができる と仮定する >> マルチタイムウインドウ法 (Hartzell and Heaton, 1983)

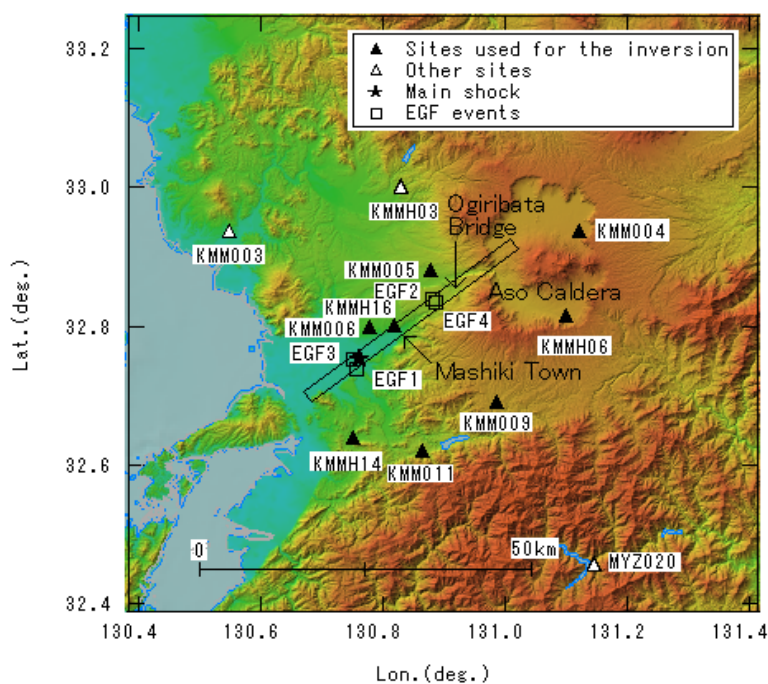
## 震源過程推定の方法 (Nozu, 2017, Earth Planets Space)



大地震と小地震の間で伝播経路特性とサイト特性ができるだけ共通となるように、複数の余震を使い分ける。

45

## データ: 震源近傍の強震記録



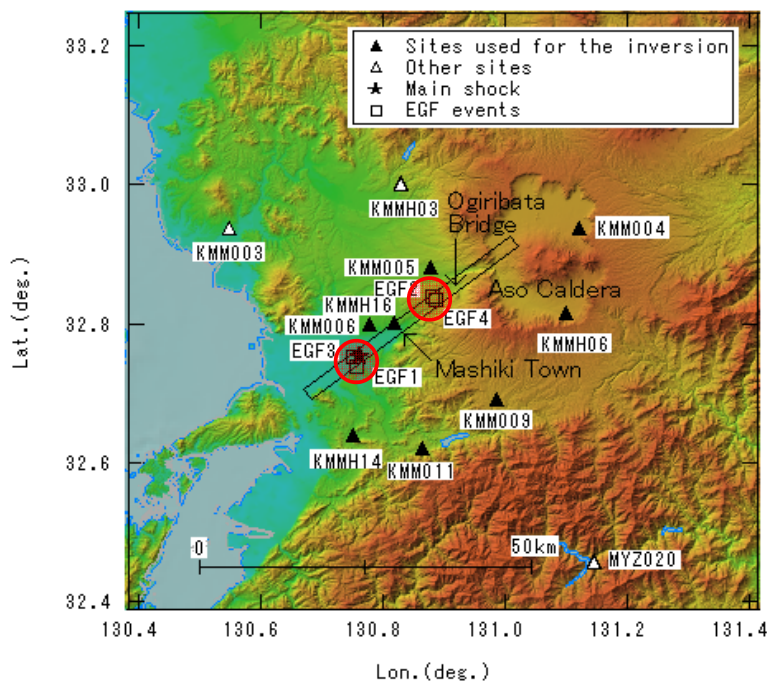
利点:

断層面上のすべりの時空間分布をより精度良く拘束できる

問題点:

地盤の非線形性の影響

## グリーン関数



西側

EGF1

4/15 0:50 M4.2

EGF3

4/16 4:51 M4.3

東側

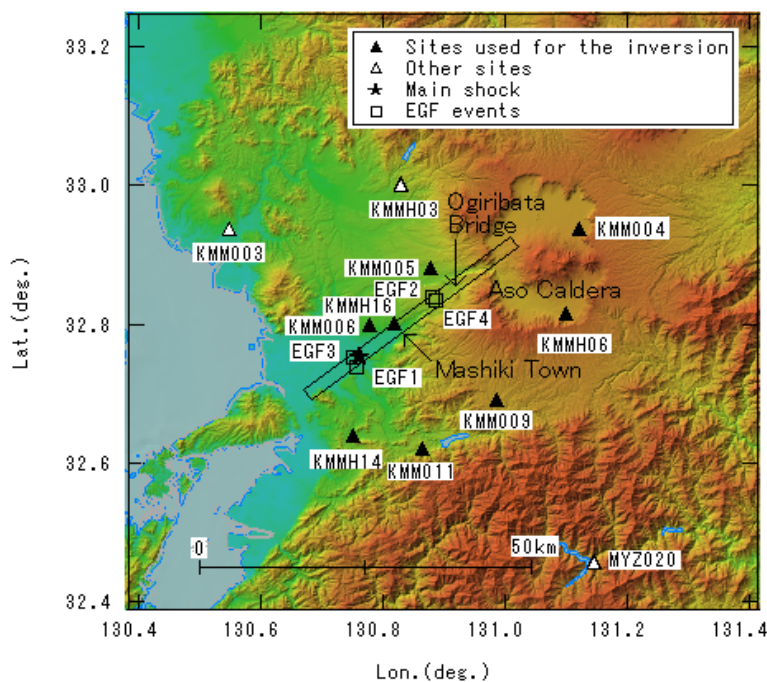
EGF2

4/15 15:27 M4.2

EGF4

4/15 7:29 M4.2

## その他の条件



周波数帯域 (0.2-2Hz)

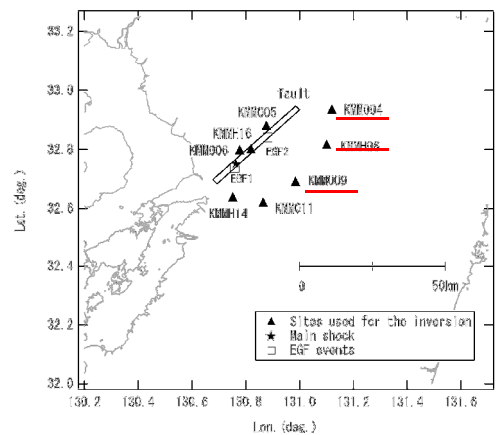
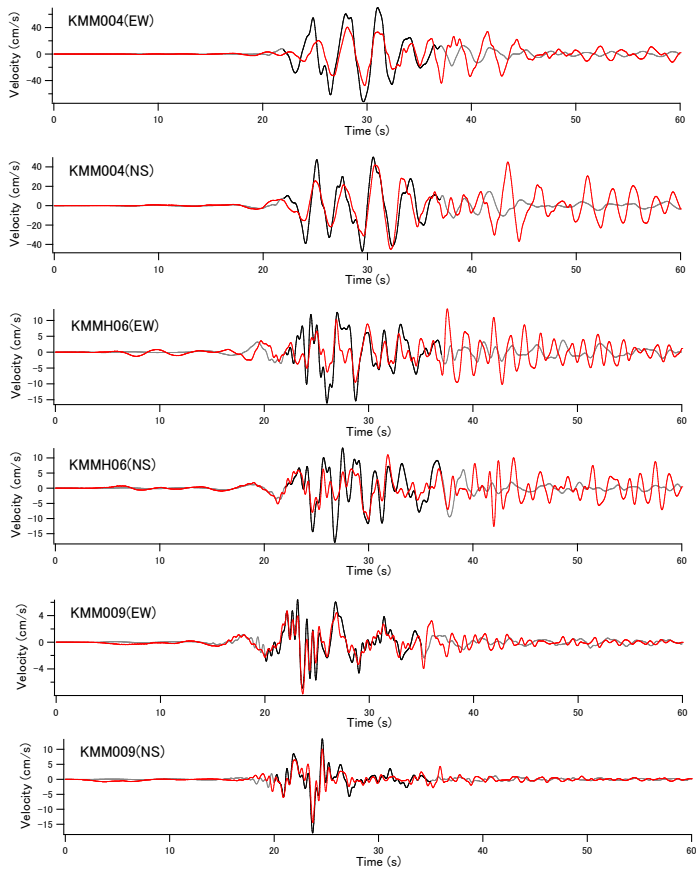
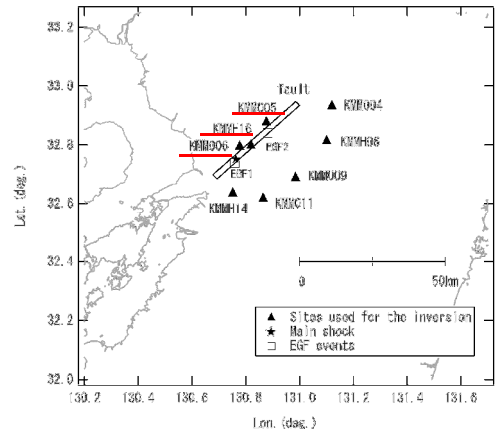
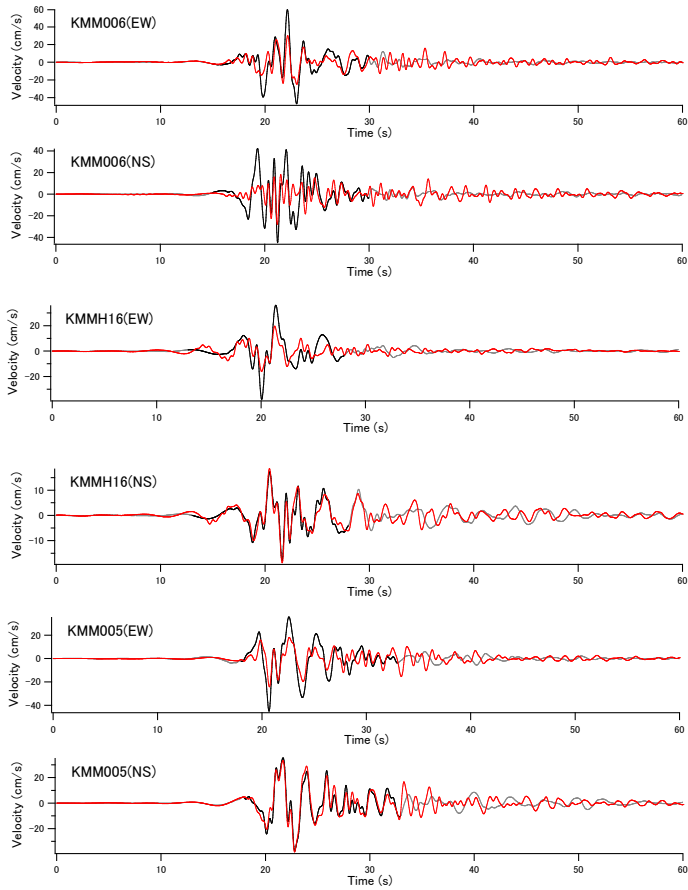
益城町で卓越した1Hzを  
含むように設定

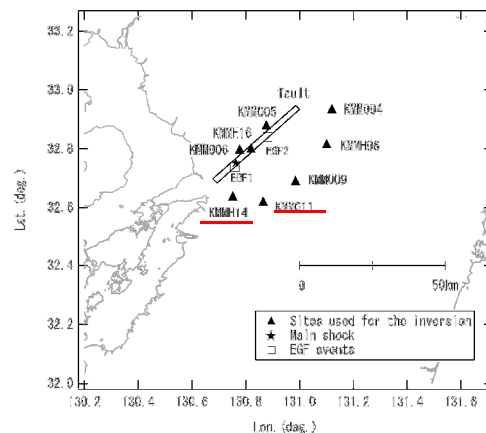
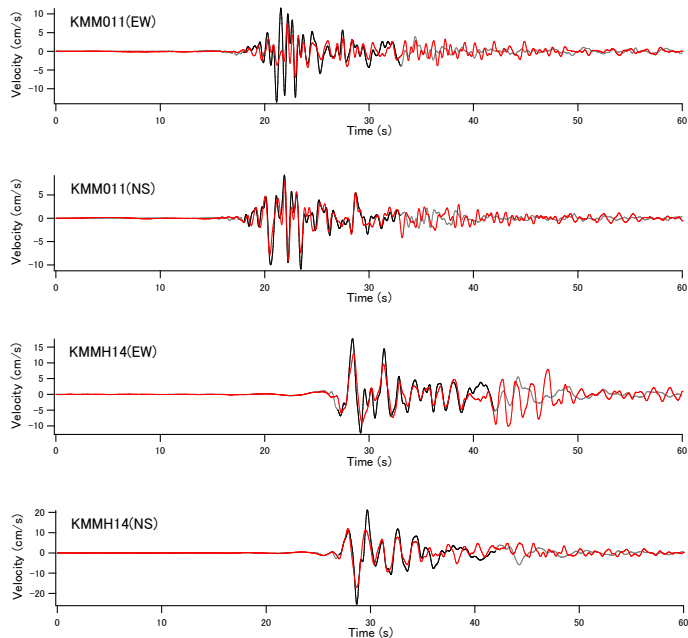
EW成分とNS成分の計16  
成分を使用

S波を含む15秒間

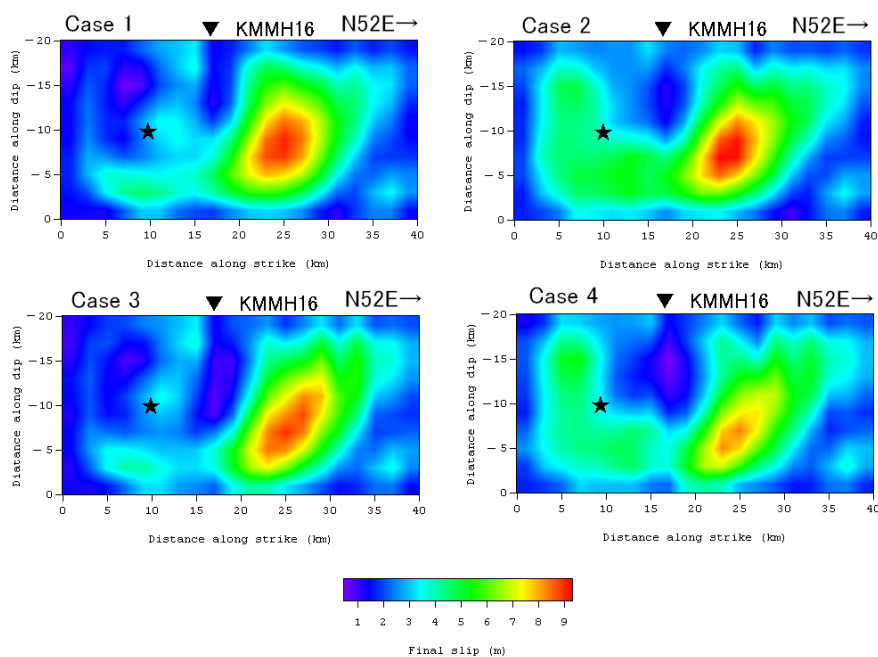
40km × 20kmの断層を  
20 × 10の小断層に分割







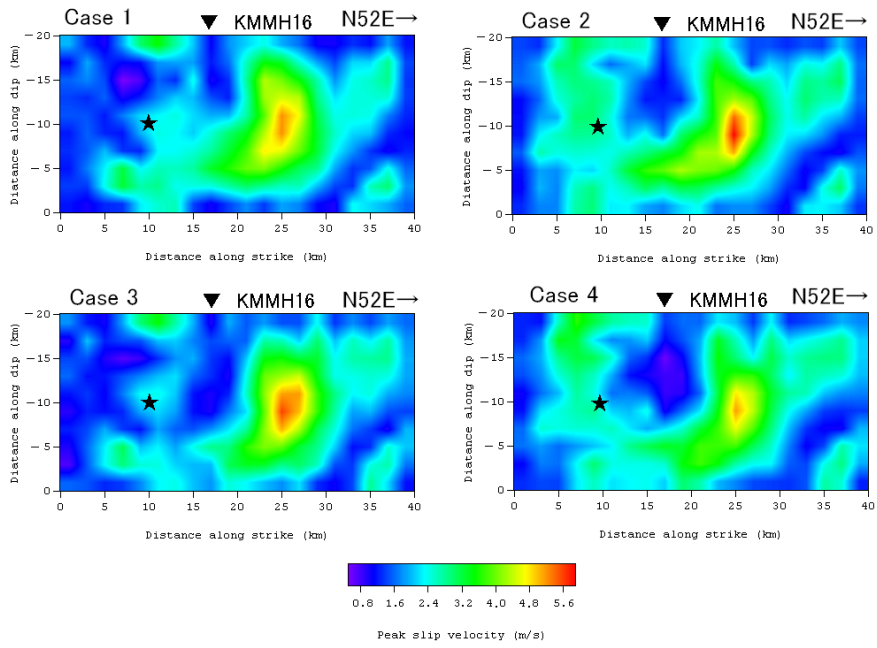
### 最終すべり量分布



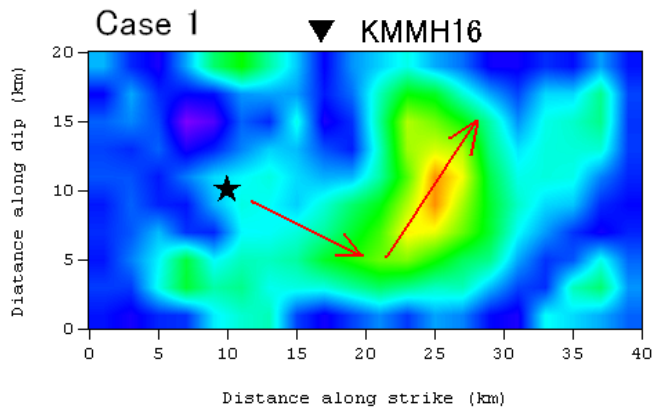
※破壊開始点(図の★)よりも15kmほど北東側(阿蘇側)に最終すべり量の大きい場所が存在

※破壊開始点と益城町を結ぶ範囲では最終すべり量の大きい場所は深部に限られていた

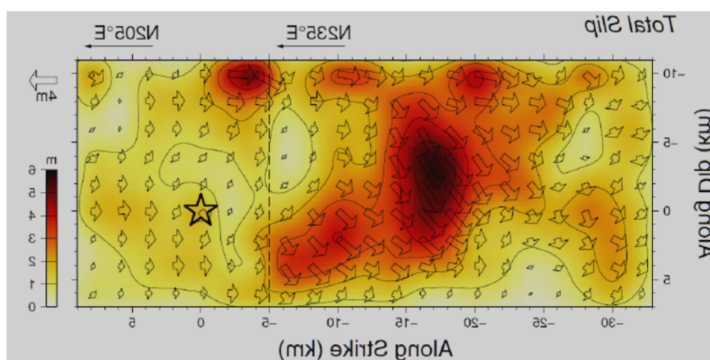
## 最大すべり速度分布



最大すべり速度の大きい場所は最終すべり量の大きい場所とほぼ同様であった。

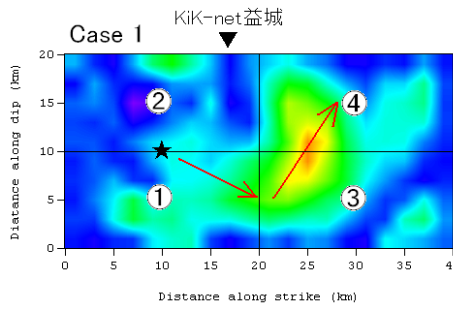


本研究

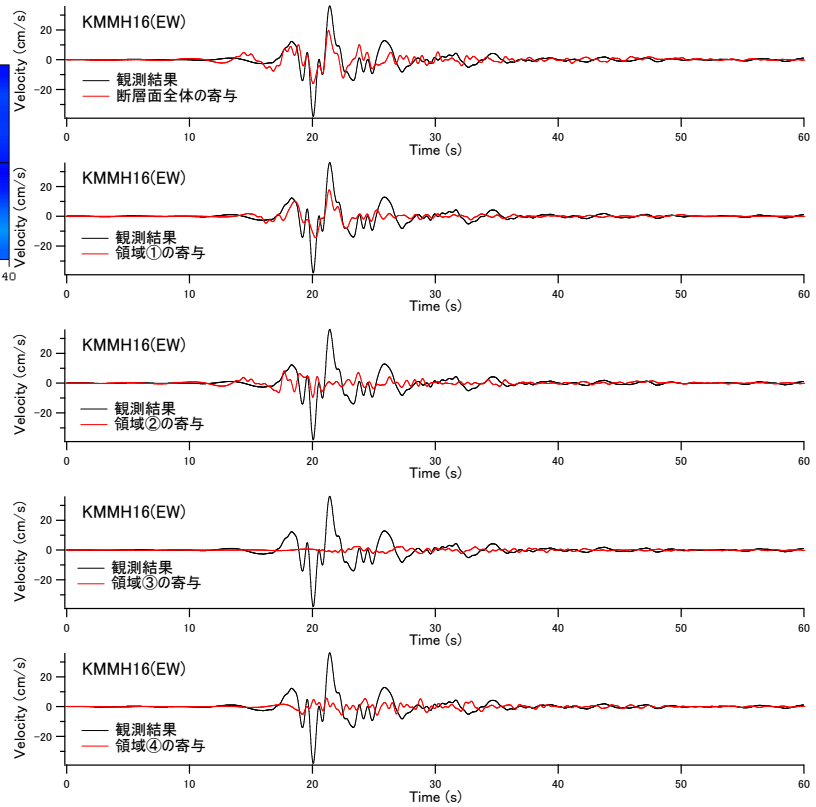


Asano and  
Iwata (2016)

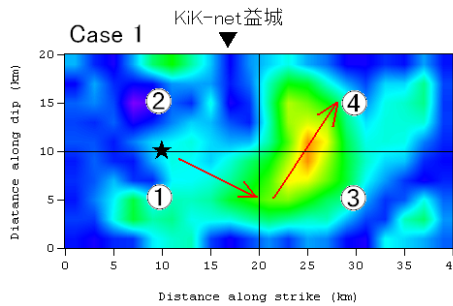
## 益城町での大振幅地震動は断層面のどこから来たか(1)



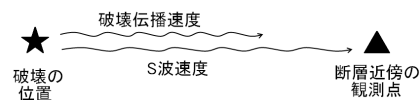
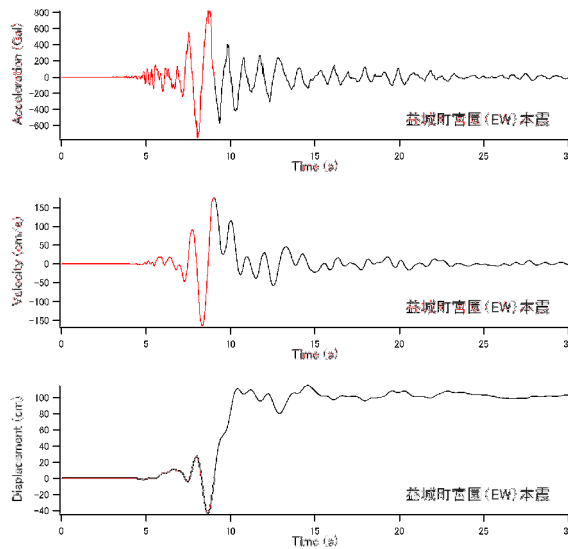
波形インバージョン  
結果によると益城に  
対しては①の部分  
の寄与が大きい



## 益城町での大振幅地震動は断層面のどこから来たか(2)



残留変位に向かって変位が増加しはじめる時刻(=益城付近で断層がすべった時刻)には、加速度波形における周期1sの主要動はすでに到来し終えている。



## 本震の破壊過程のまとめ

- ① 強い地震動はどのような震源過程により生成されたのか

## 本震の破壊過程のまとめ

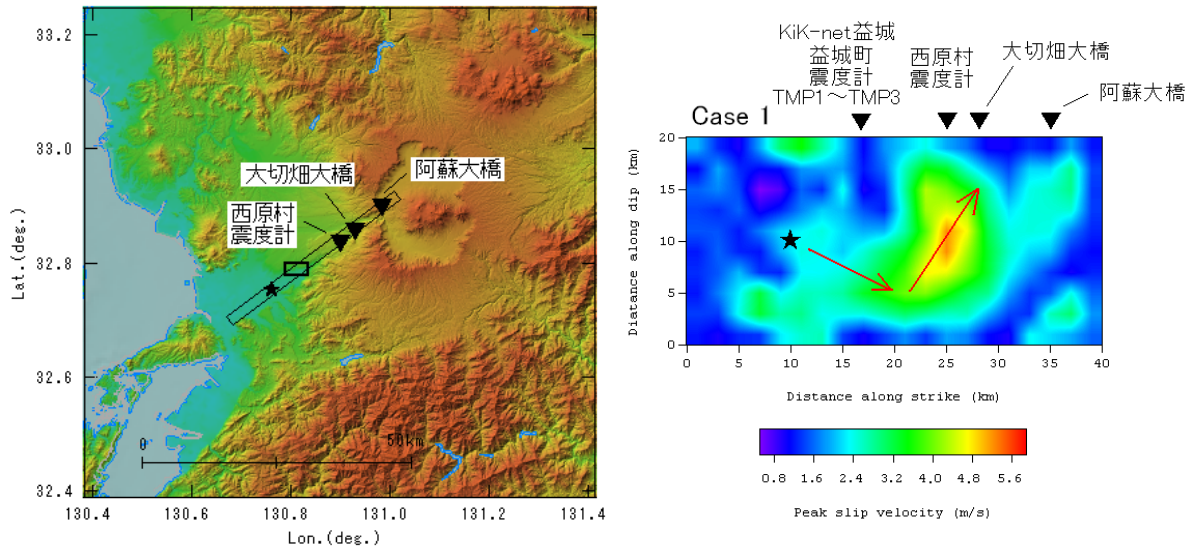
- ① 強い地震動はどのような震源過程により生成されたのか  
→益城町の強い地震動は深部のすべりによってもたらされたと考えられる.

## 本震の破壊過程のまとめ

- ① 強い地震動はどのような震源過程により生成されたのか  
→ 益城町の強い地震動は深部のすべりによってもたらされたと考えられる.
- ② 神戸と同じようにforward directivityの影響はあったのか

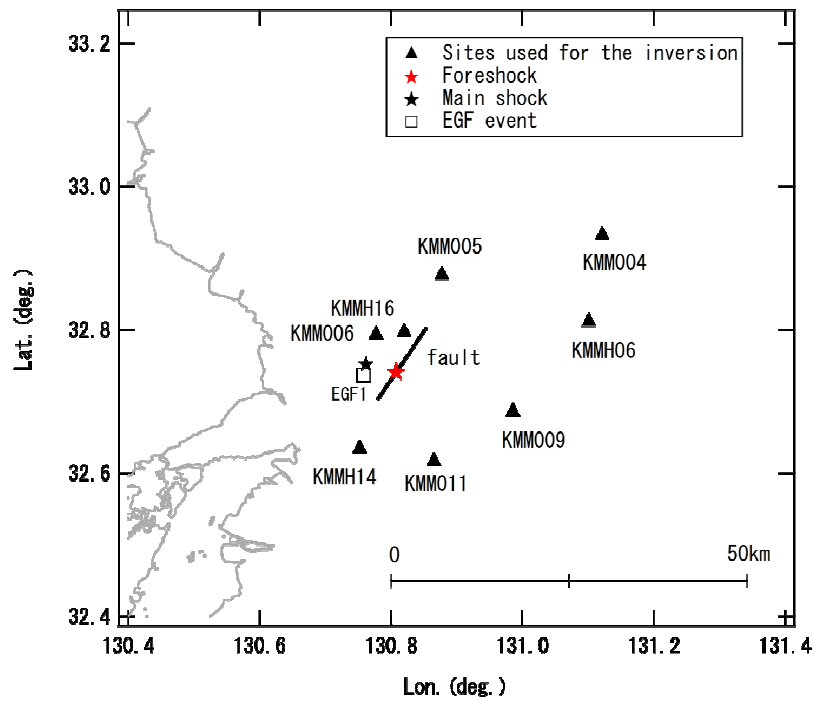
## 本震の破壊過程のまとめ

- ① 強い地震動はどのような震源過程により生成されたのか  
→ 益城町の強い地震動は深部のすべりによってもたらされたと考えられる.
- ② 神戸と同じようにforward directivityの影響はあったのか  
→ forward directivityの影響は益城町に対しては小さかった.



◎大切畑大橋や阿蘇大橋はアスペリティのフォワード側に位置しており、その影響で大振幅地震動を受けた可能性がある。

— 前震の震源過程 —



本震と同じ手法

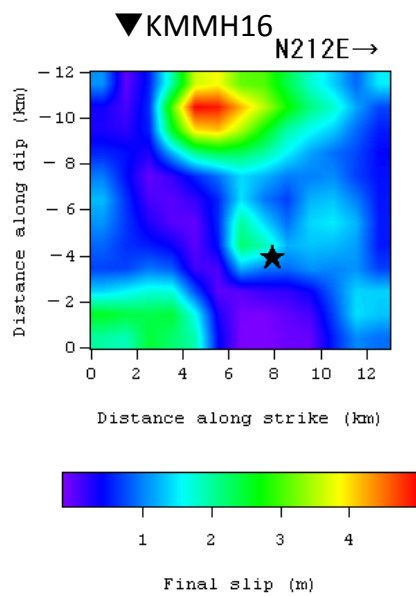
同じ周波数帯域 (0.2-2Hz)

同じ観測点

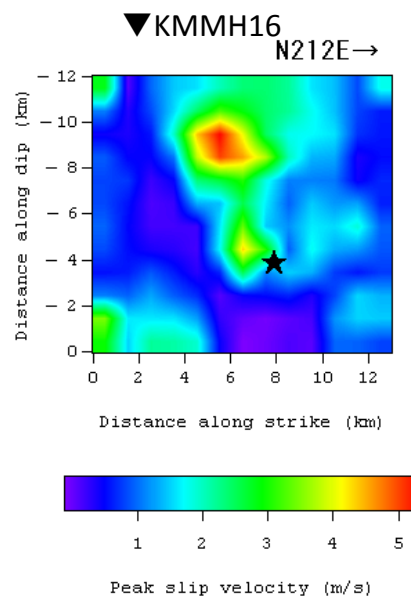
S波を含む10秒間

13km × 12kmの断層を  
13 × 12の小断層に分割

63



最終すべり量分布



最大すべり速度分布

64



## 目次

1. 益城町で観測された地震動について
2. サイト特性と観測地震動の関係(やや広域の話)
3. 震源断層の破壊過程とその影響
4. 今後について

65

## 議論

今回益城町のTMP3地点などで観測された地震動は既往の設計地震動を大きく上回るものである。しかし全国どこでもTMP3地点のような大きな地震動が生じるわけではない。全国どこでもTMP3地点のような大きな地震動で設計することは不合理である。

TMP3地点では震源特性とサイト特性の双方に周期1sを大きくする要因があり、それにより周期1sの大振幅地震動が生じたと考えられる。

このうち震源特性は不明確であり予測が難しい。しかし、サイト特性は基本的にはきちんとした調査をすればわかるものである。

サイト特性の大きい危険個所を抽出し重点的に対策を行うことが最も効果的な地震対策である。

	現状認識	ではどうすれば...	筆者の見解	理由
JpGU熊本地震セッションで出た意見	全国どこでも同じような対策をすることは不合理である。だから...	活断層の近くで重点的に対策をすべき	×	活断層の無いところでもこれまで大地震は起こってきている 今回の前震のようにM6.5でも震度7になりうる
野津	同上	サイト特性の大きいところで重点的に対策をすべき	○	

66

## まとめ

◎益城町の周期1秒の成分は断層面の深部から来たと考えられる.

◎益城町では1s付近で兵庫県南部地震の地震動や道示スペクトルを大幅に超える地震動が観測された. ただし, このような大振幅地震動がどこにでも生じ得るわけではない. 大振幅地震動が生じる危険性のある地点を抽出し重点的に対策を行うことが重要と考えます.

◎大切畑大橋や阿蘇大橋はアスペリティのフォワード側に位置しており, その影響で大振幅地震動を受けた可能性がある.

★秦吉弥博士の記録は以下のサイトで公開されている  
<http://www.catfish.dpri.kyoto-u.ac.jp/~kumaq/>