

2023年2月に発生したトルコ南部の地震 地震動

後藤 浩之
京都大学

Acknowledgement

本報告では、USGSおよびトルコ内務省（AFAD）の記録を使用致しました。
また多くの方に情報を共有していただきました。記して感謝致します。

This report uses records from the USGS and the Ministry of Interior, Turkey (AFAD).

I appreciate my colleagues for sharing information.



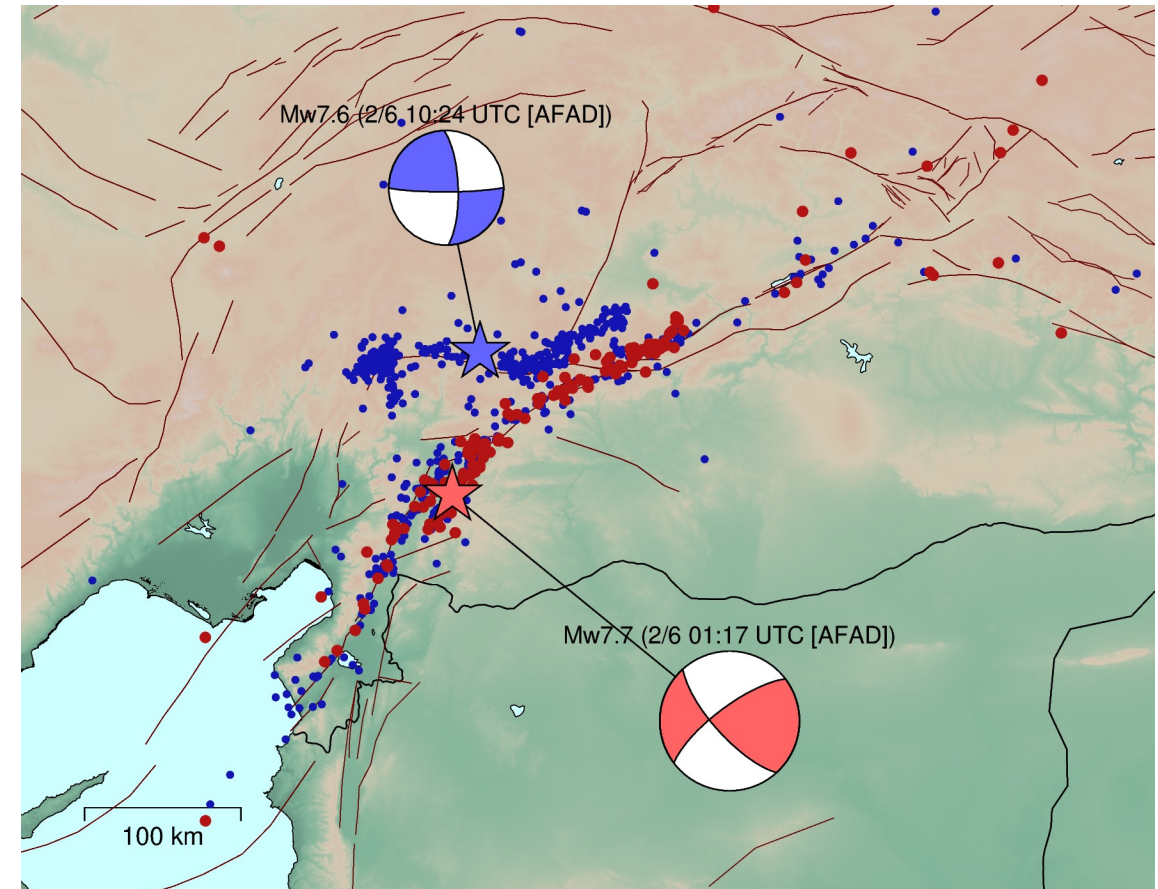
地震の概要

Summary of Events

- 2023年2月6日 01時17分頃 (協定世界時)
M_w7.7, depth 8.6km (AFAD)

↓
9時間後

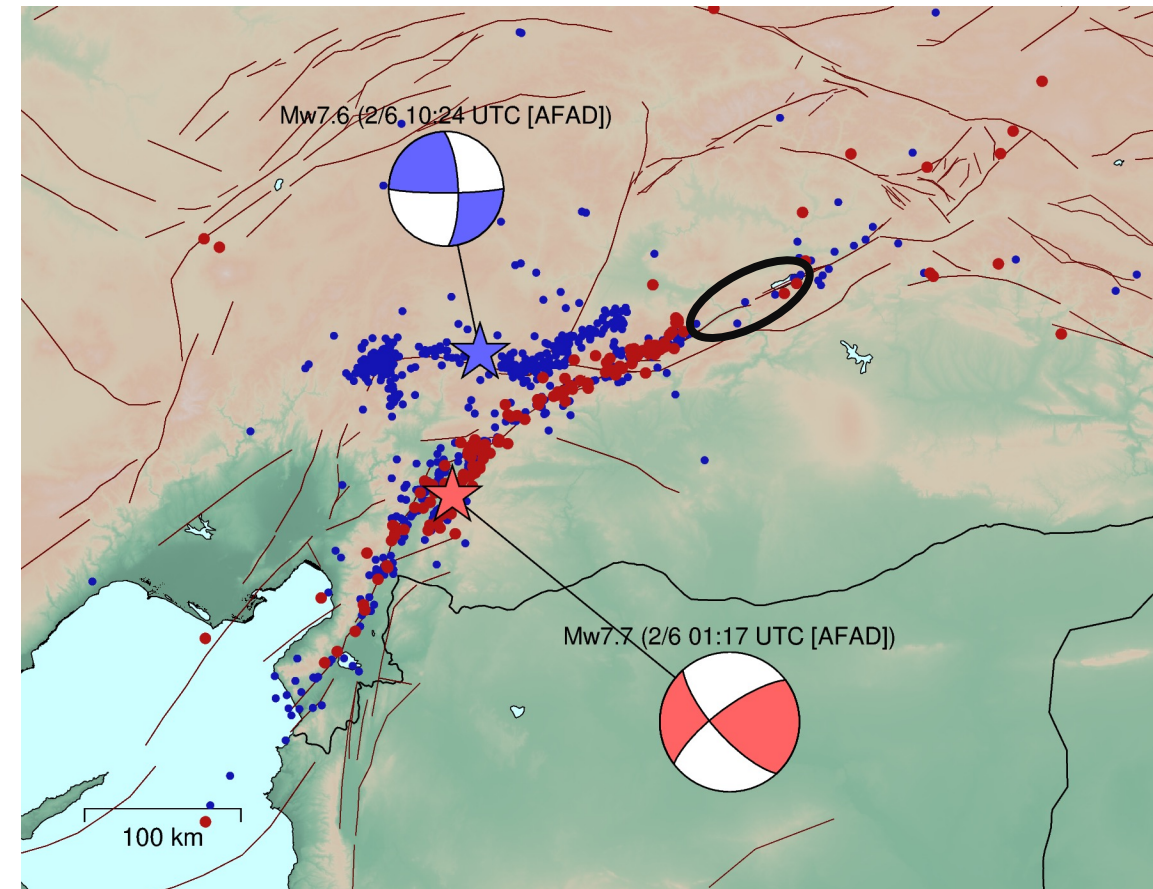
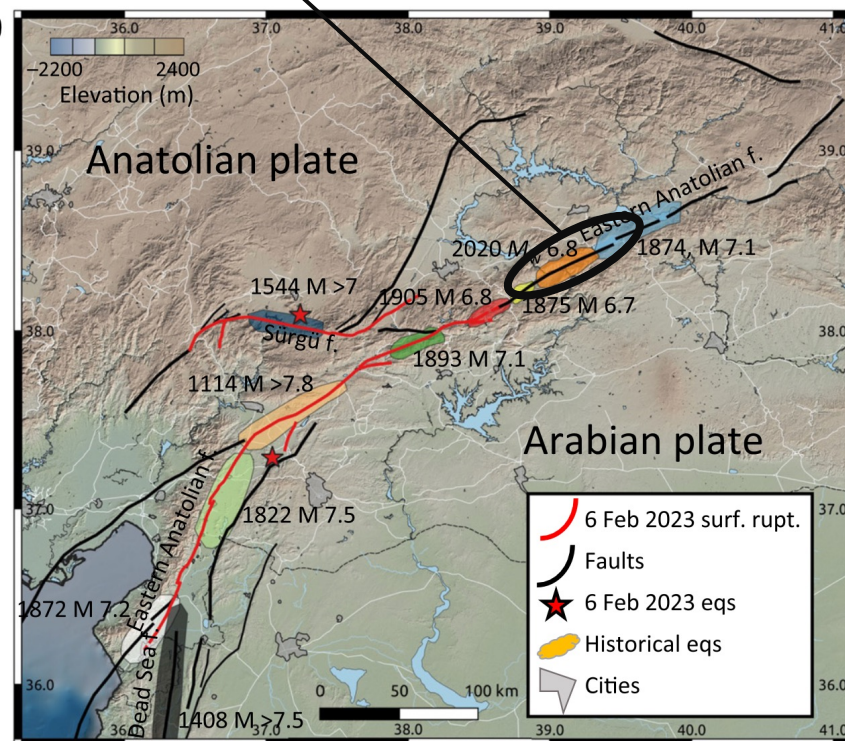
- 2023年2月6日 10時24分頃 (協定世界時)
M_w7.6, depth 7km (AFAD)



地震の概要 Summary of Events

- 2023年2月6日 01時17分頃 (協定世界時)
M_w7.7, depth 8.6km (AFAD)
- ✓ 東アナトリア断層帯 (EAF) で発生した
左横ずれ断層と考えられる
- ✓ 2020年Sivrice地震 (M_w6.8) の西端まで破壊か

赤点はM_w7.6の地震発生までの余震
Red dots are aftershocks till the Mw7.6 event

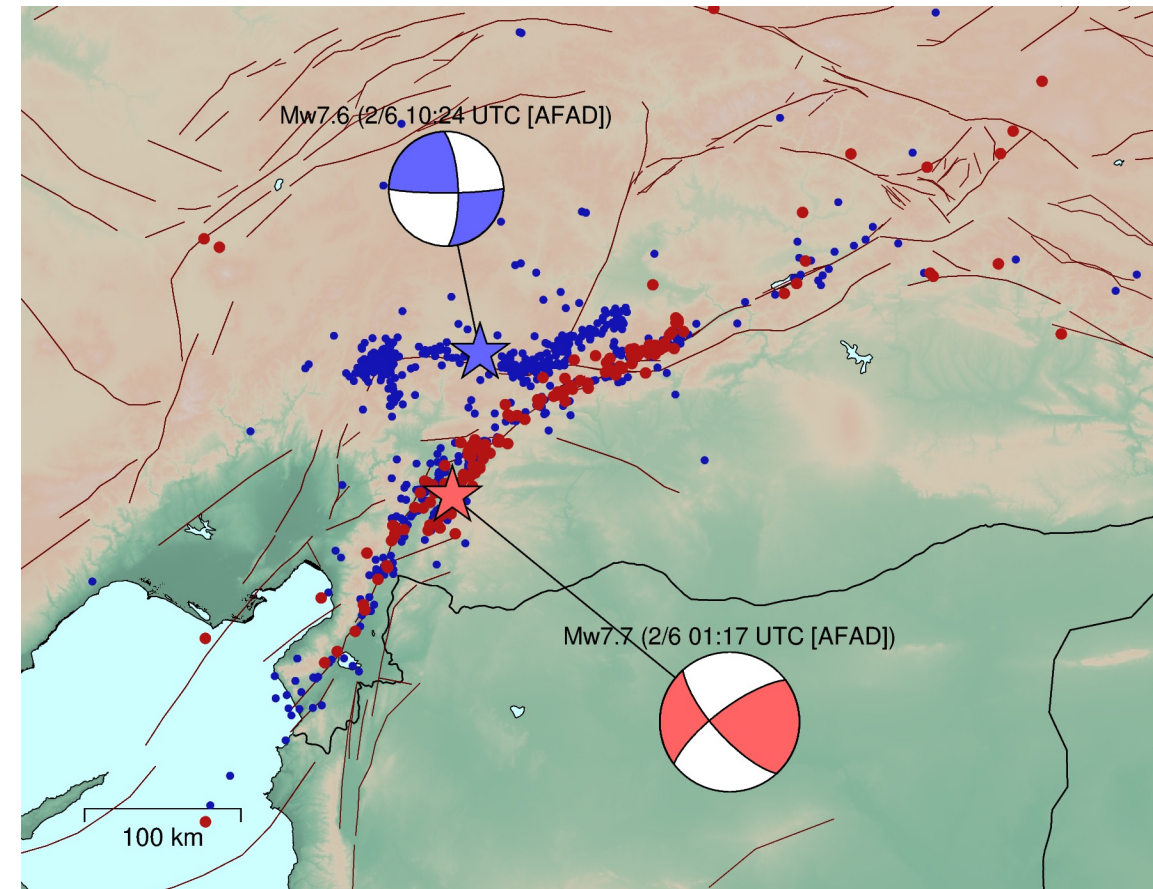


地震の概要

Summary of Events

- 2023年2月6日 10時24分頃 (協定世界時)
M_w7.6, depth 7km (AFAD)
- ✓ 東アナトリア断層帯 (EAF) とは異なる断層上に余震が分布している
- ✓ 左横ずれ断層

青点はM_w7.6の地震以降の余震 (3日間)
Blue dots are aftershocks since the Mw7.6 event (3 days)

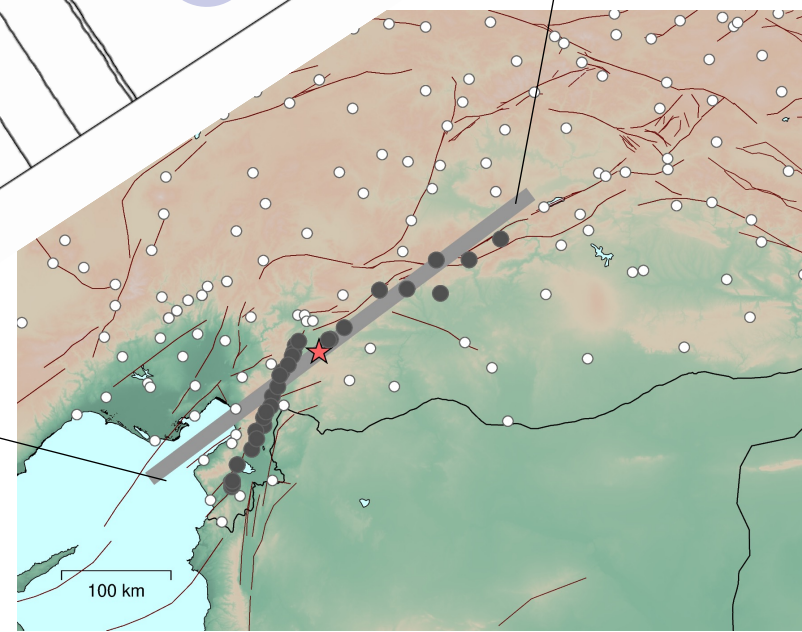
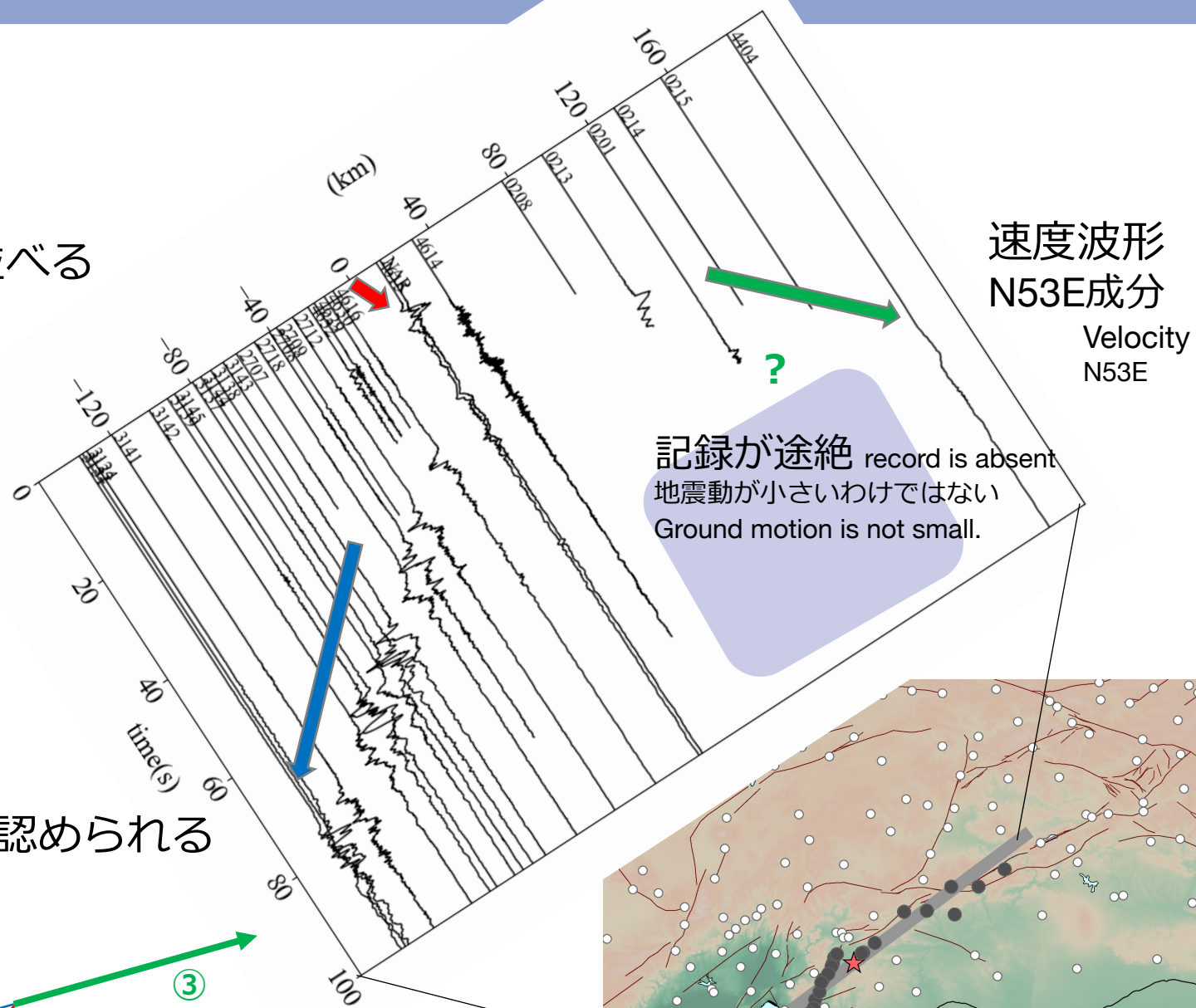
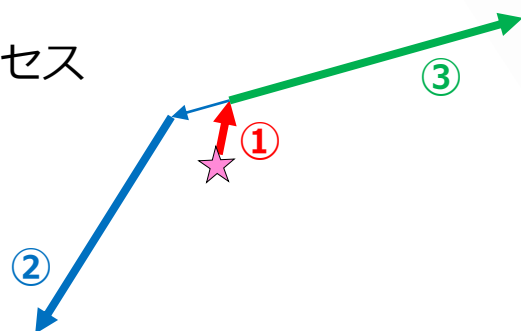


地震動の経時特性

本震の波形を断層（N53E）に沿って並べる

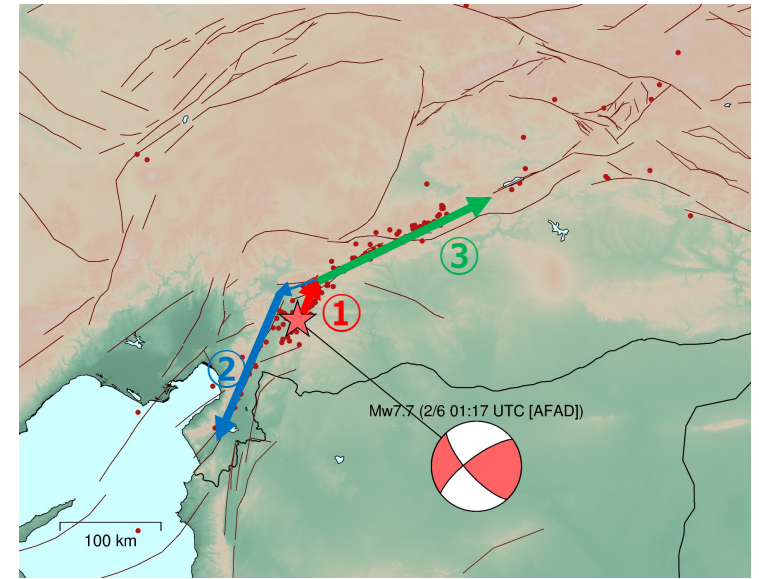
- ✓ **震源近傍の破壊①** と **南西部の破壊②** に対応する2つの明瞭な波群が認められる
- ✓ 両者は震源付近で20秒程度の時間遅れがある
- ✓ 北東部は断層近傍の記録が途絶しているため明瞭でないが、**破壊③** に対応すると思われる波群が認められる

予想される断層破壊プロセス



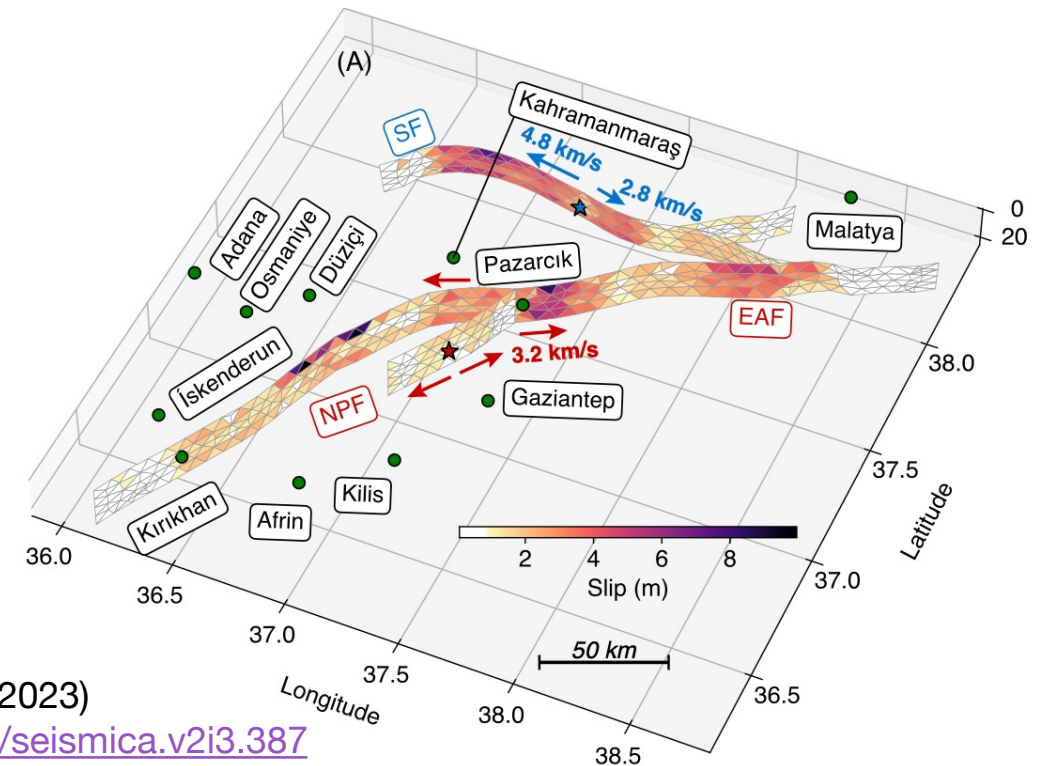
震源過程 Source Process

- ✓ 震源近傍の破壊①が東アナトリア断層系に達したのち南西部の破壊②と北東部の破壊③が生じた



震源過程の特徴

- 断層浅部（地表近く）に大きなすべり（~9m）
⇒ 地表断層 および **Flingパルス** に関係 ... 後述
- 破壊速度は（平均）およそ3.2km/s
⇒ **Super shear rupture** の可能性
（S波速度 < 断層の破壊速度）



Melgar et al.(2023)

[doi:10.26443/seismica.v2i3.387](https://doi.org/10.26443/seismica.v2i3.387)

最大加速度・最大速度分布

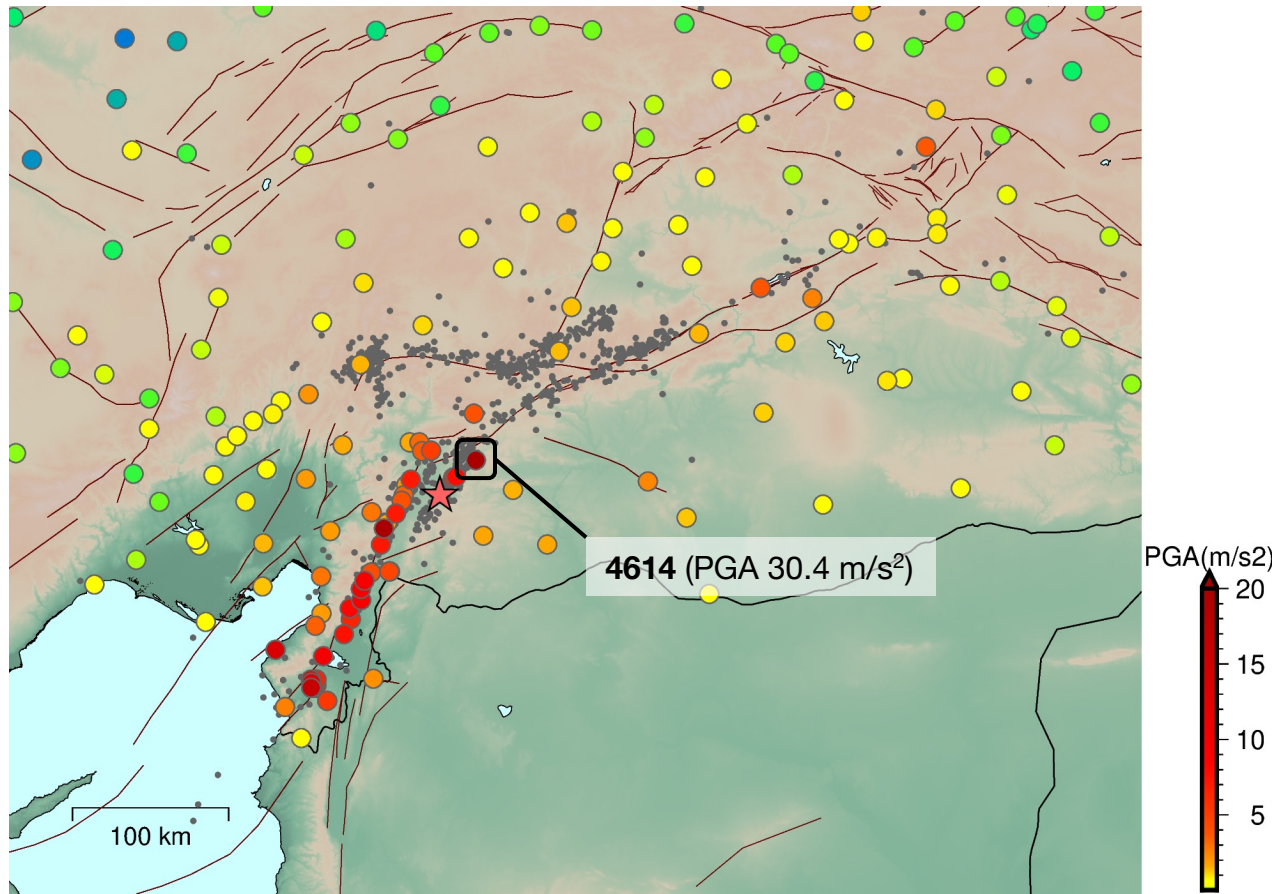
PGA・PGV

● 本震 ($M_W 7.7$)

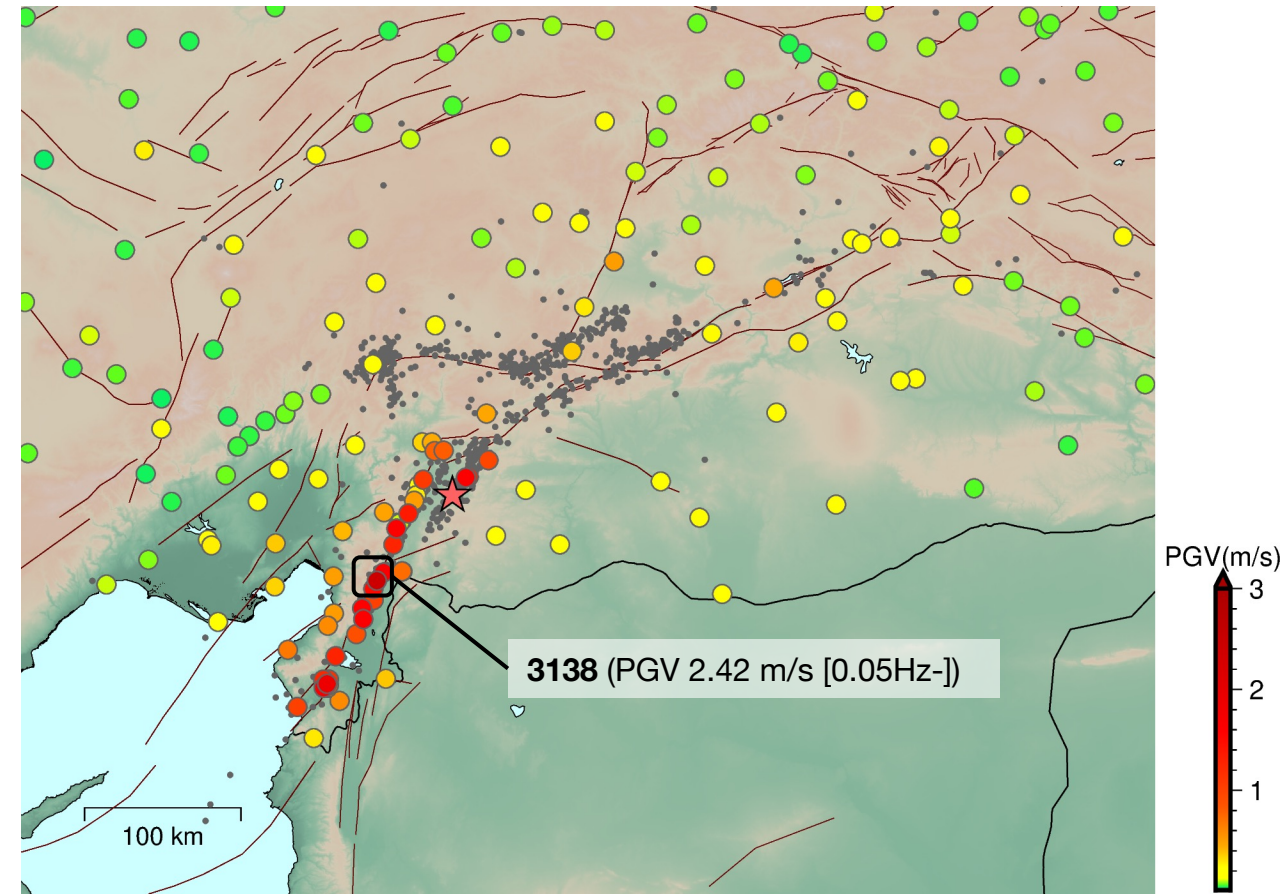
✓ $1g$ (9.8m/s^2) を超える最大加速度や, 1m/s を超える最大速度が観測されている

<注> 最大振幅が記録されていないデータ等は示していない
(Caution) Data that does not record the maximum amplitude are not shown

最大加速度 (水平2成分合成値)



最大水平速度 (水平2成分合成値)



最大加速度・最大速度分布

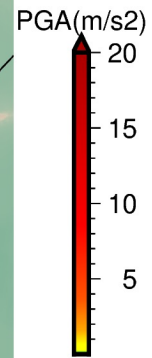
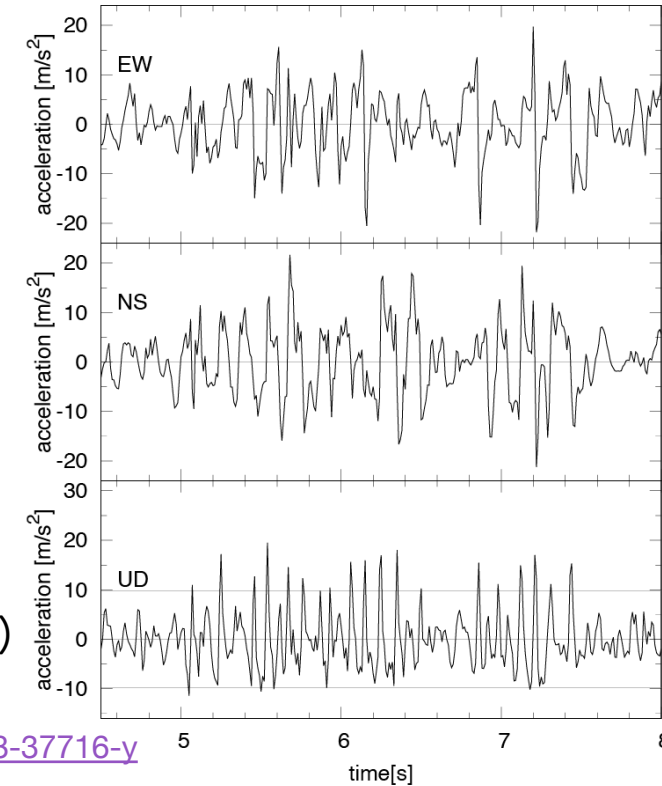
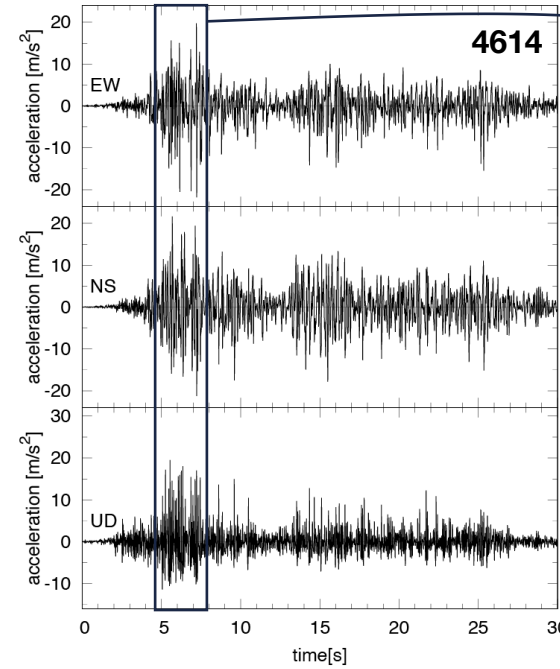
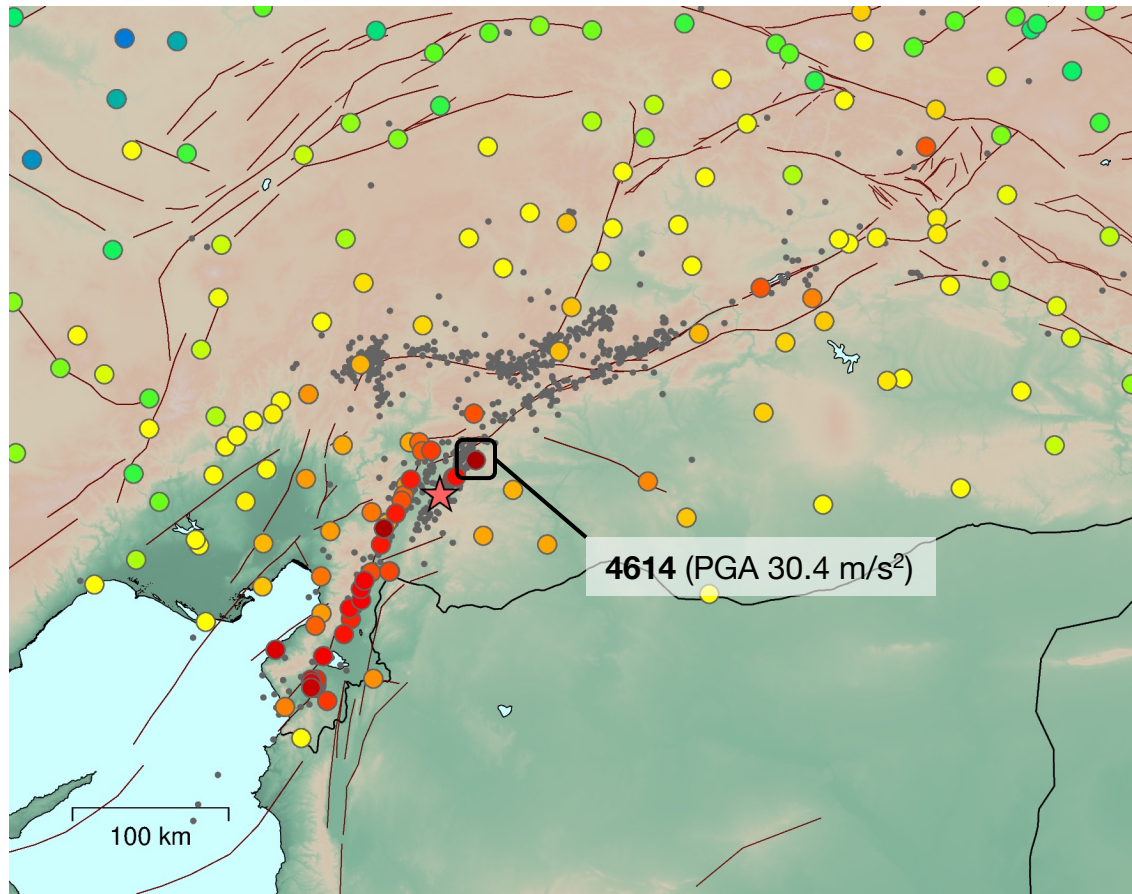
PGA・PGV

● 本震 ($M_W 7.7$)

✓ $1g$ (9.8m/s^2) を超える最大加速度や, 1m/s を超える最大速度が観測されている

<注> 最大振幅が記録されていないデータ等は示していない
(Caution) Data that does not record the maximum amplitude are not shown

最大加速度 (水平2成分合成値)



非対称上下加速度 (AsVA)

Goto et al. (2019)

[doi:10.1038/s41598-018-37716-y](https://doi.org/10.1038/s41598-018-37716-y)

⇒ 自然現象ではなく
観測点固有の応答を示すこともある

最大加速度・最大速度分布

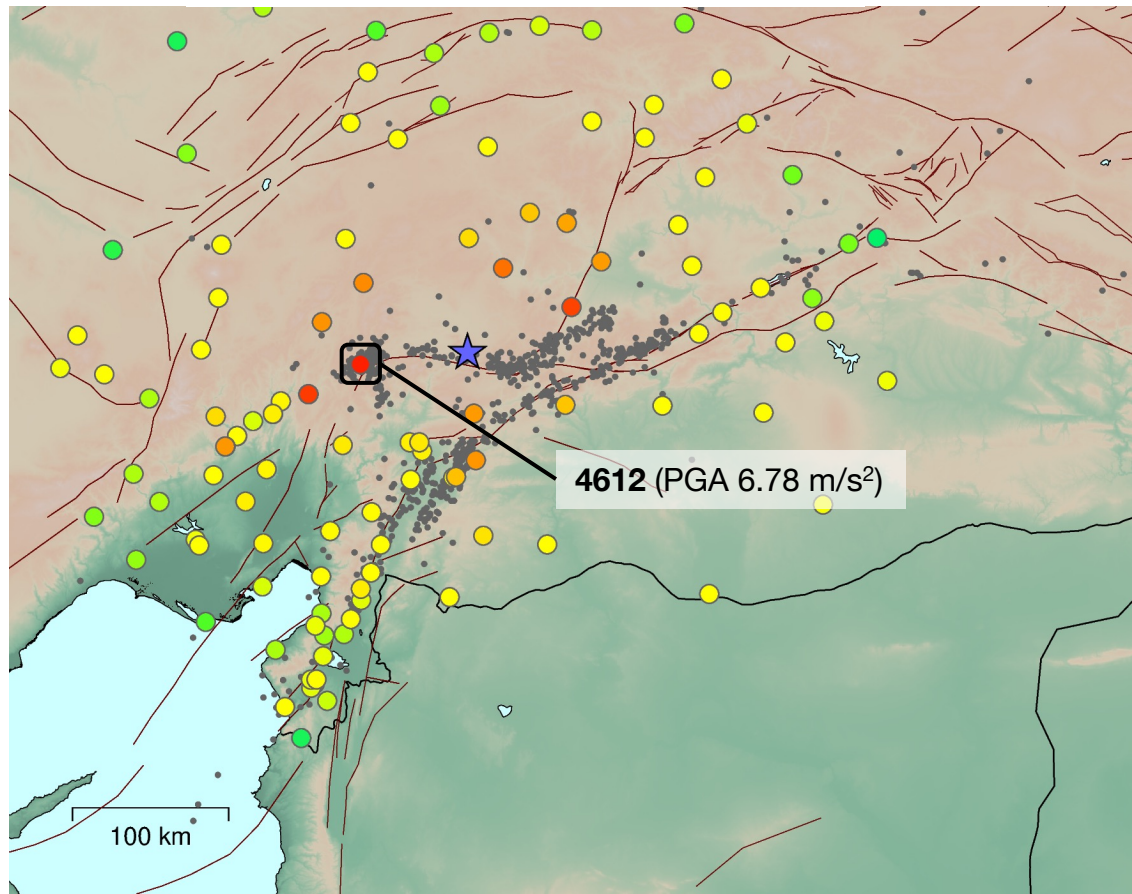
PGA・PGV

● 余震 ($M_W 7.6$)

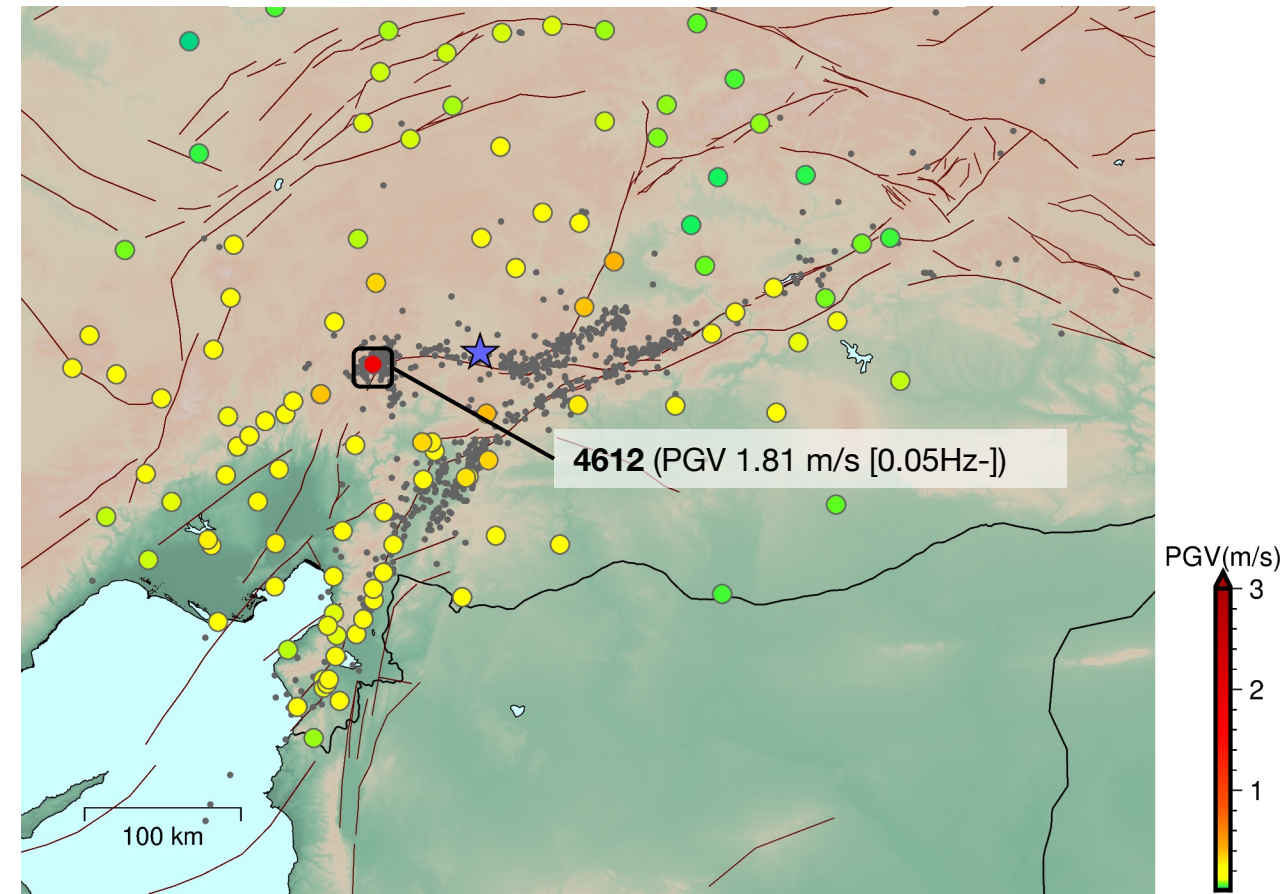
✓ 0.6g 程度の最大加速度や, 1m/sを超える最大速度が観測されている

<注> 最大振幅が記録されていないデータ等は示していない
(Caution) Data that does not record the maximum amplitude are not shown

最大加速度 (水平2成分合成値)

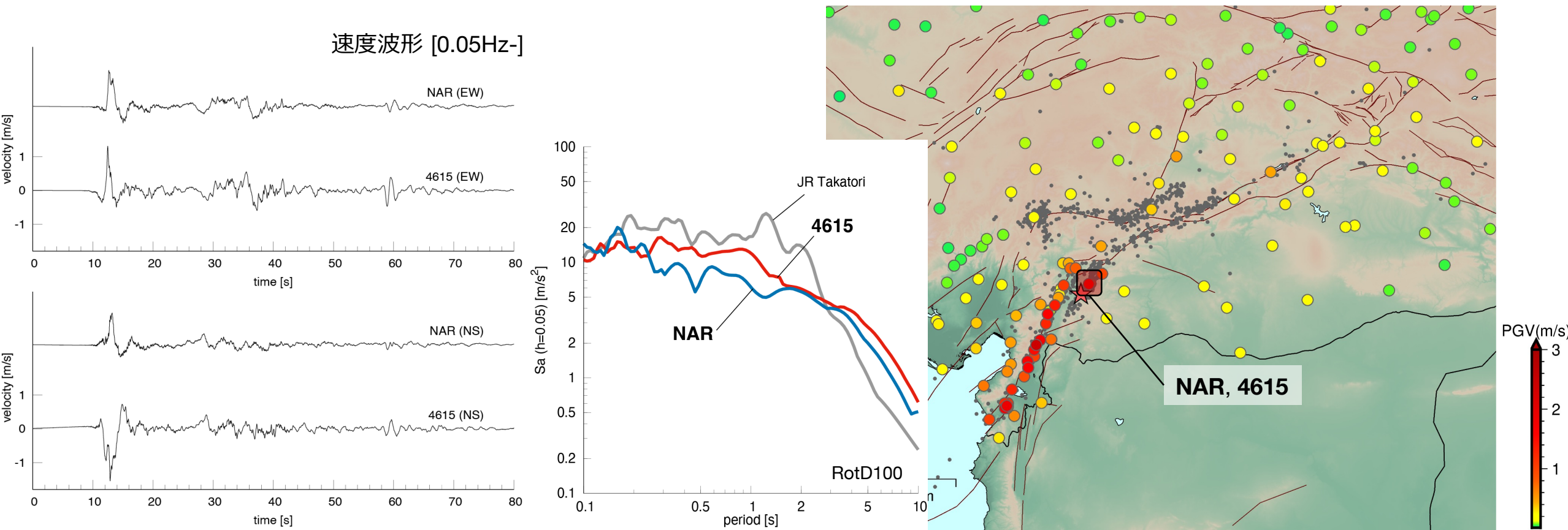


最大水平速度 (水平2成分合成値)



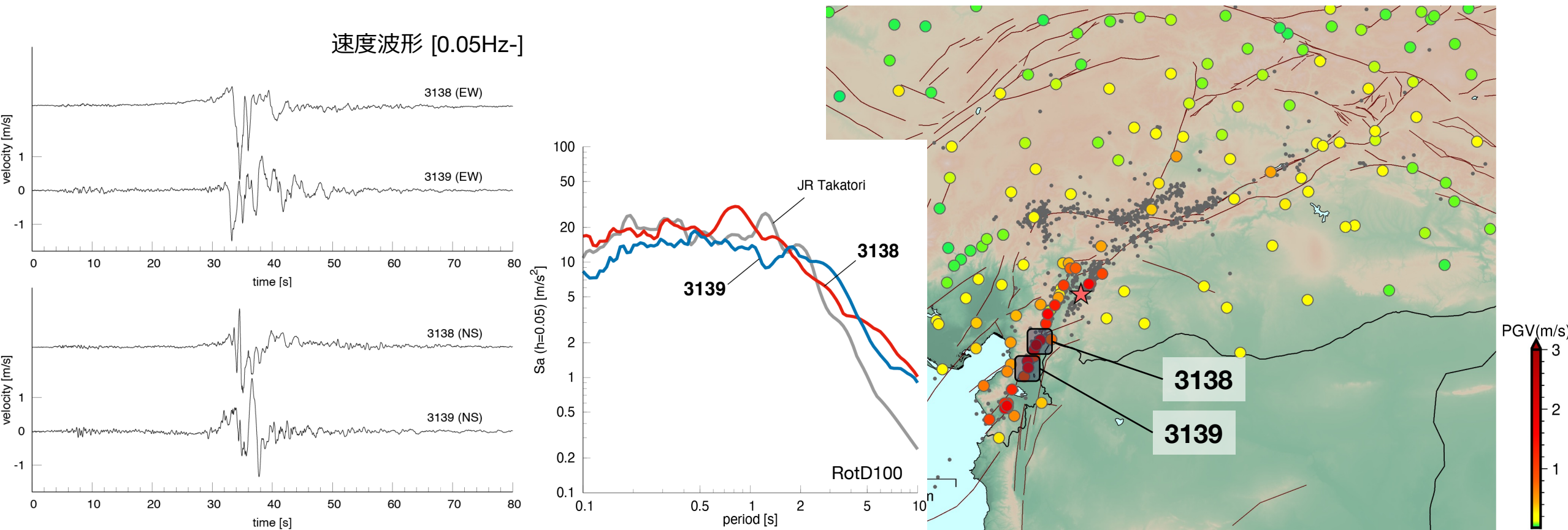
震源近傍の地震動 ground motion near the source fault

- ✓ 震源近傍の **NAR, 4615** は最大水平速度1.23 m/s, 1.60 m/sを記録
- ✓ 最初にパルス性地震動, その他に明瞭な波群が2つ (計3つ) 認められる
- ✓ 周期3秒以上はJR鷹取を上回るが, その他の周期帯はJR鷹取を下回る



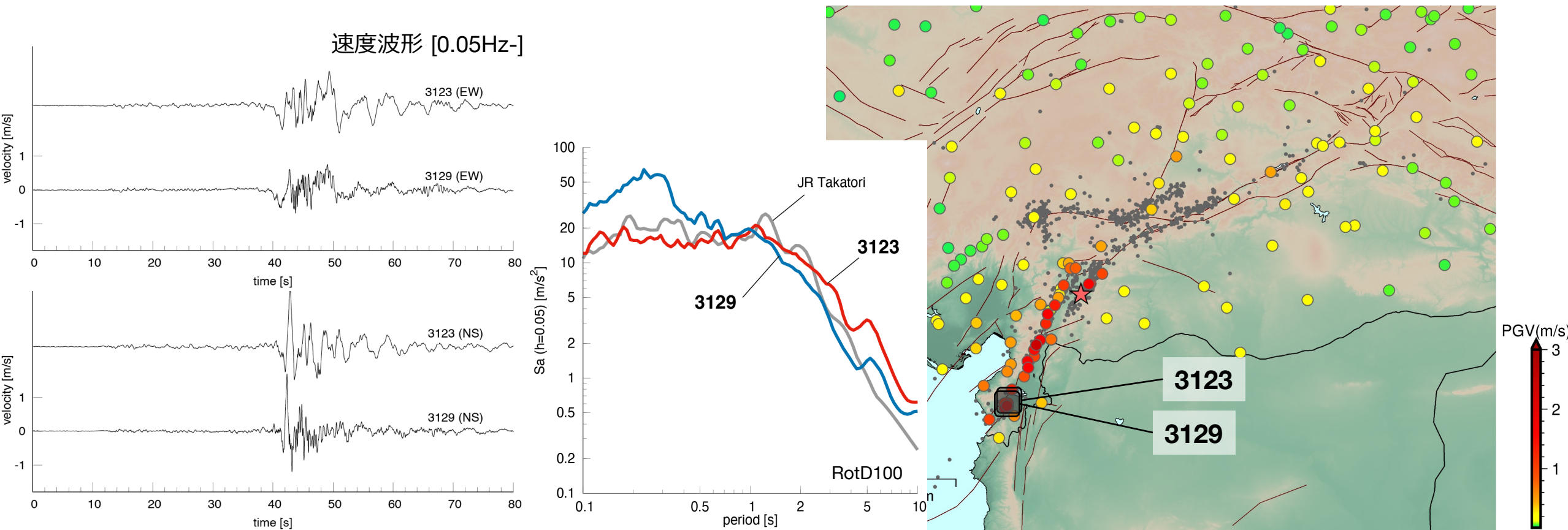
震源近傍の地震動 ground motion near the source fault

- ✓ 南西側の断層近傍 (Islahiye - Hassa) の **3138**, **3139** は最大水平速度2.42m/s, 1.61m/sを記録
- ✓ 数秒程度の長さを持つパルス性地震動
- ✓ 周期1-2秒を除いてJR鷹取波を上回る



震源近傍の地震動 ground motion near the source fault

- ✓ Antakya市内の **3123**, **3129** は最大水平速度1.88m/s, 1.70m/sを記録
- ✓ 南北成分に1-2秒程度の強いパルスが認められる
- ✓ 周期1-2秒を除いてJR鷹取波を上回る



震源近傍の地震動 ground motion near the source fault

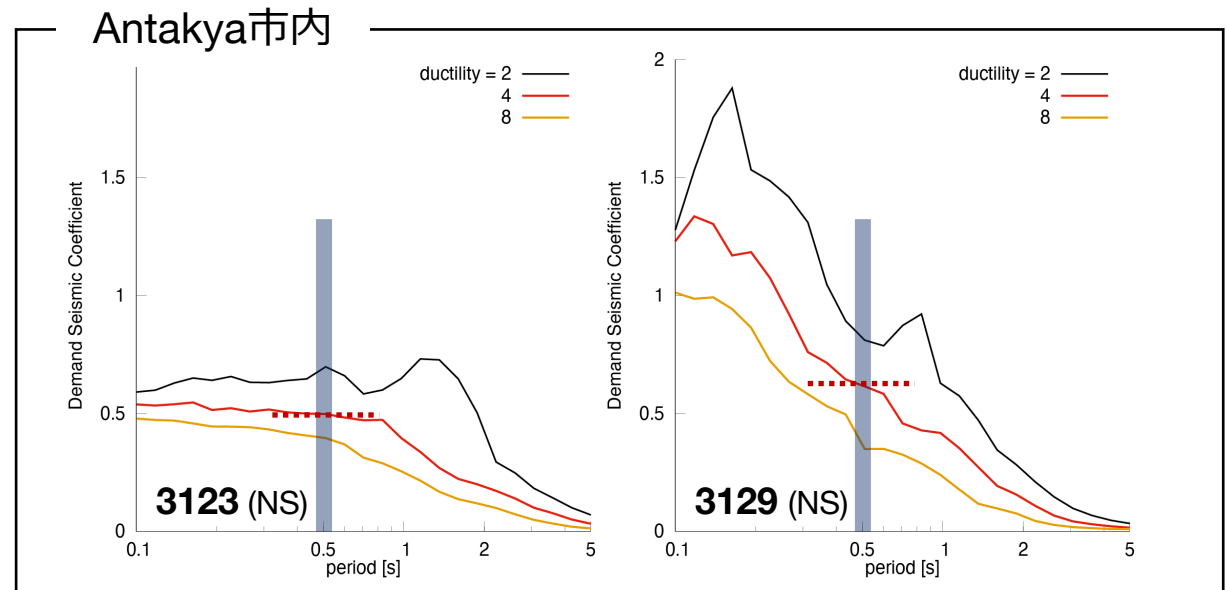
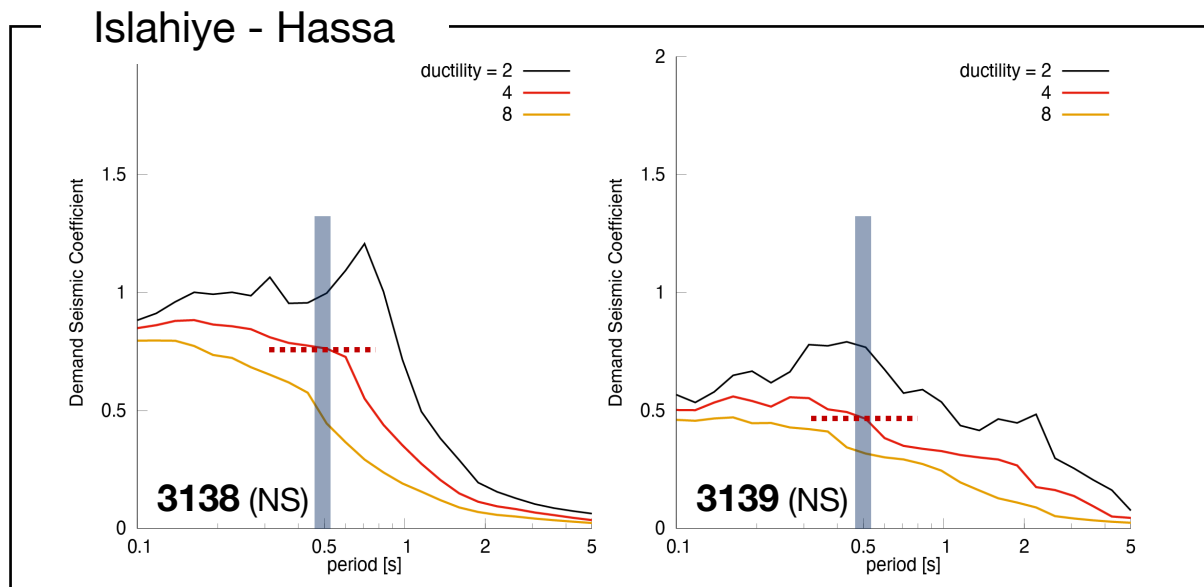
非線形応答スペクトル（必要強度スペクトル，縦軸：必要降伏震度）

Clough型，2次剛性なし，減衰10% Clough-type hysteresis, No secondary stiffness, 10% damping ratio

✓ 塑性率4・(初期)固有周期0.5秒において

3138 は降伏震度0.7-0.8, **3139** は降伏震度0.4-0.5 (南北成分)

3123 は降伏震度0.5程度, **3129** は降伏震度0.6-0.7 (南北成分)

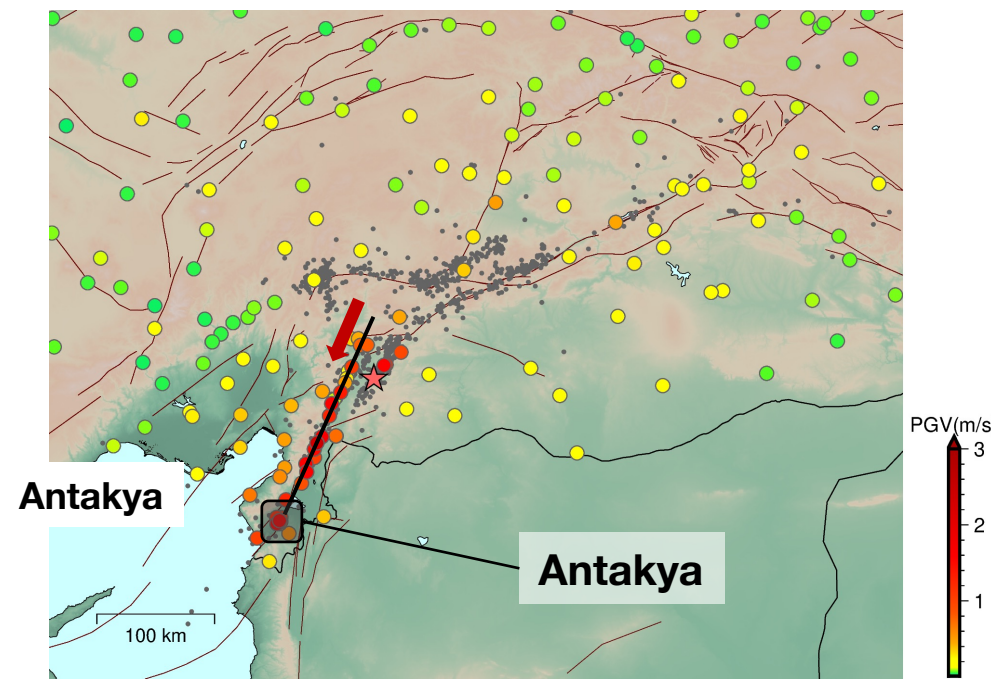
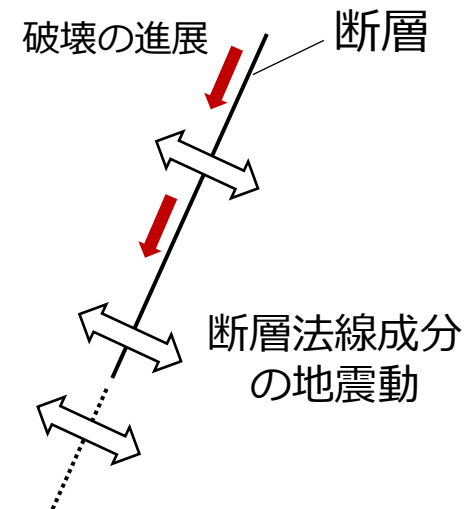
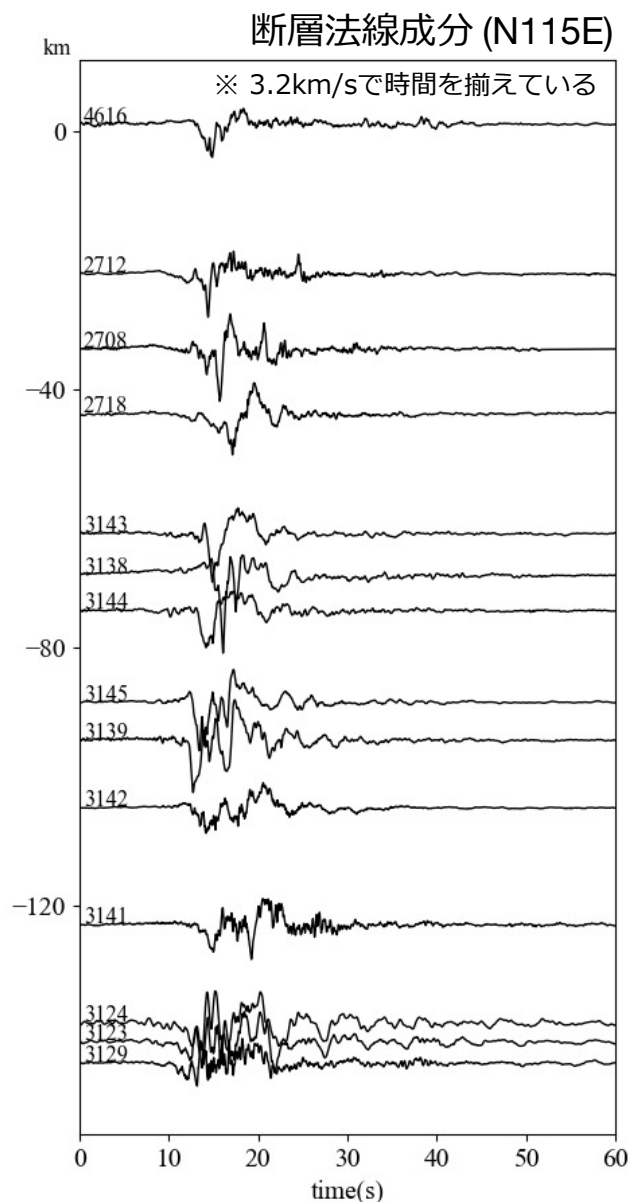


南西断層沿いの地震動

断層法線方向

- ✓ 正負同程度の大きな速度振幅を示す
- ✓ 断層延長上のAntakyaでは、断層法線成分が顕著に卓越している訳ではない（平行成分の方が大きい）

⇒ 指向性（Directivity）パルスは明瞭でない？



南西断層沿いの地震動

断層平行方向

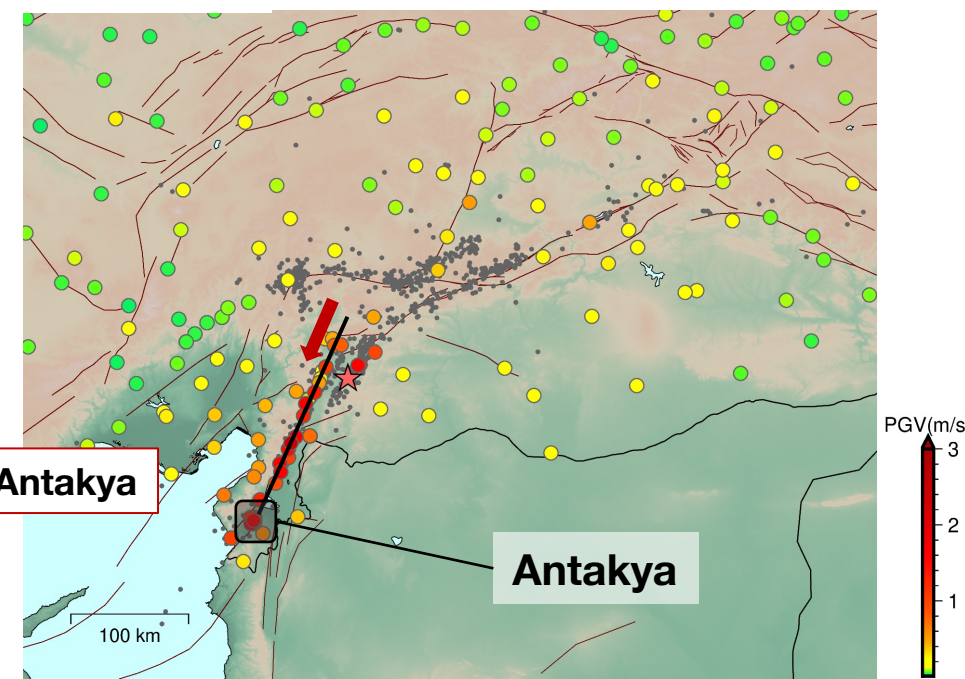
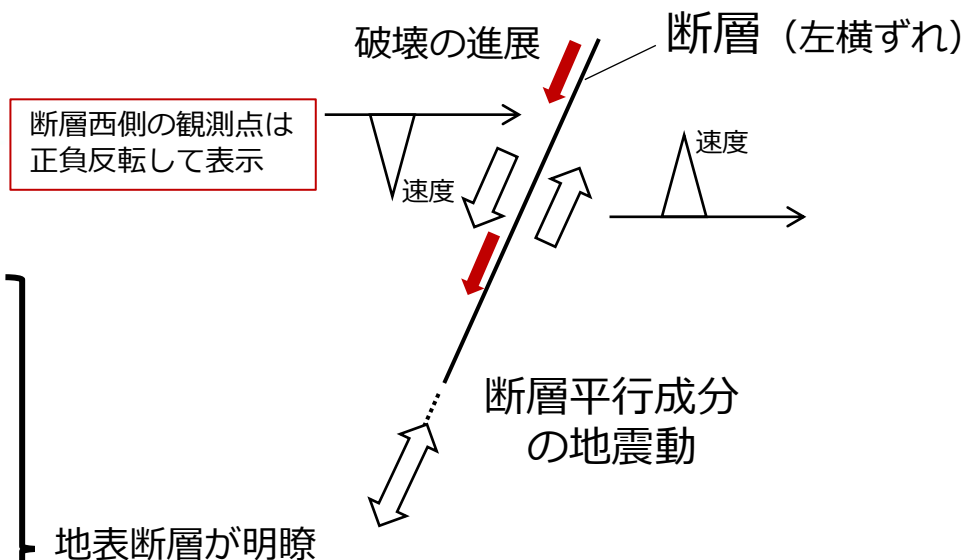
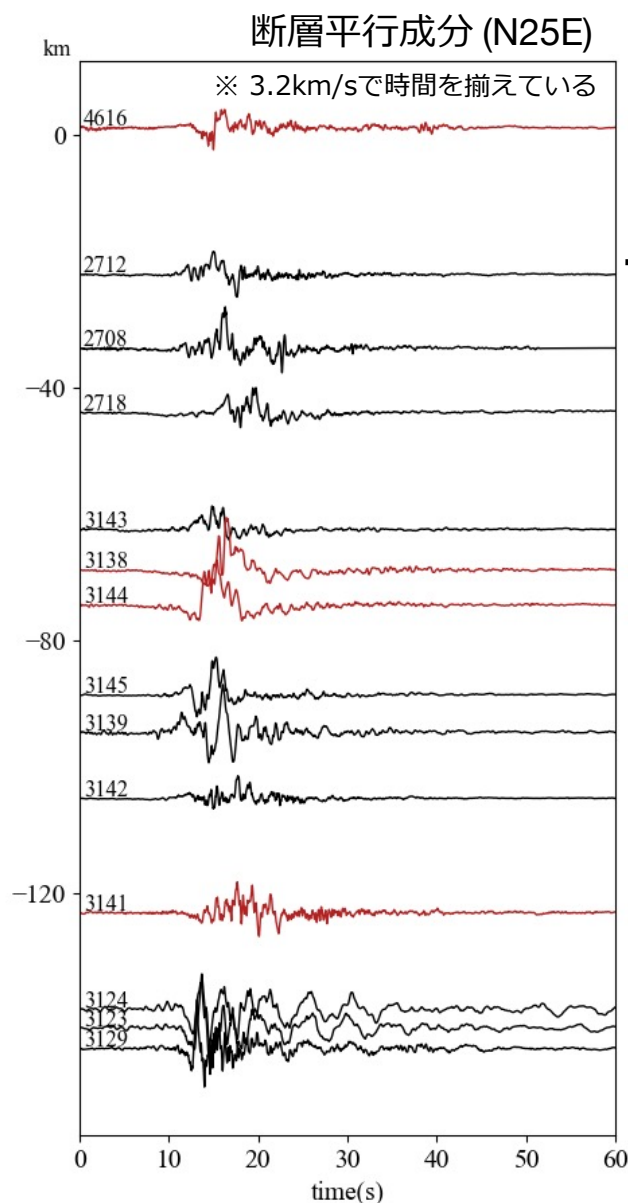
✓ 地表断層が明瞭な箇所は断層運動に整合した三角形状の速度パルスが見られる

⇒ **Flingパルス** が認められる

✓ 断層延長上のAntakyaでは、周期1-2秒の強い速度パルスと地震動の継続が見られる ①

① ⇒ 指向性パルスでも Flingパルスでもない

② ⇒ 深部地盤の影響も考えられる



まとめ

- ✓ Mw7.7の地震は **東アナトリア断層系**（左横ずれ）が主に破壊した。
9時間後に発生したMw7.6の地震は **異なる断層系**（左横ずれ）が破壊したと考えられる。
 - **断層浅部（地表近く）に大きなすべり**
 - 破壊速度は平均およそ3.2km/s（**Super Shear Rupture** の可能性）
- ✓ **最大3gの最大加速度**，**2m/sを超える最大速度** が観測された。
- ✓ Islahiye～Antakya市内にかけて **非常に強い地震動が観測された**。
 - 応答スペクトルは，**周期1-2秒を除いてJR鷹取波を上回る**
 - 非線形応答スペクトル（必要強度スペクトル）は，
塑性率4・(初期)固有周期0.5秒の条件下で **降伏震度0.5-0.7の強度が必要** である
- ✓ 南西側の断層に沿って稠密な地震記録が得られている
 - **断層平行成分にFlingパルス** が見られる
 - 断層延長上のAntakya市内は，**断層法線成分より断層平行成分が大きい**
(指向性パルスとは言いにくい)