

2018年6月18日大阪府北部の地震 震源過程・地震動

京都大学防災研究所 浅野 公之

<謝辞> 国立研究開発法人防災科学技術研究所K-NET、KiK-net、F-net、気象庁震度計、港湾地域強震観測、国立研究開発法人建築研究所、関西地震観測研究協議会、京都大学防災研究所の強震記録を使用しました。観測網の管理運営に関わられる皆様に感謝いたします。

地震の概要と震度分布

地震発生時刻： 2018年6月18日(月) 7時58分

震源の深さ： 12.98 km

マグニチュード： 6.1

震度6弱：

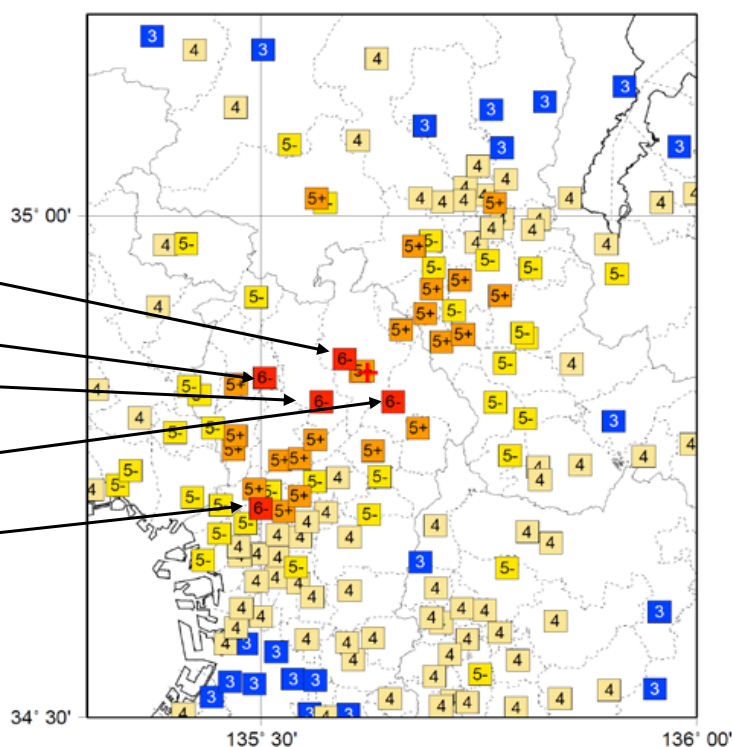
高槻市立第2中学校

箕面市粟生外院

茨木市東中条町

枚方市大垣内

大阪市北区茶屋町



気象庁資料より

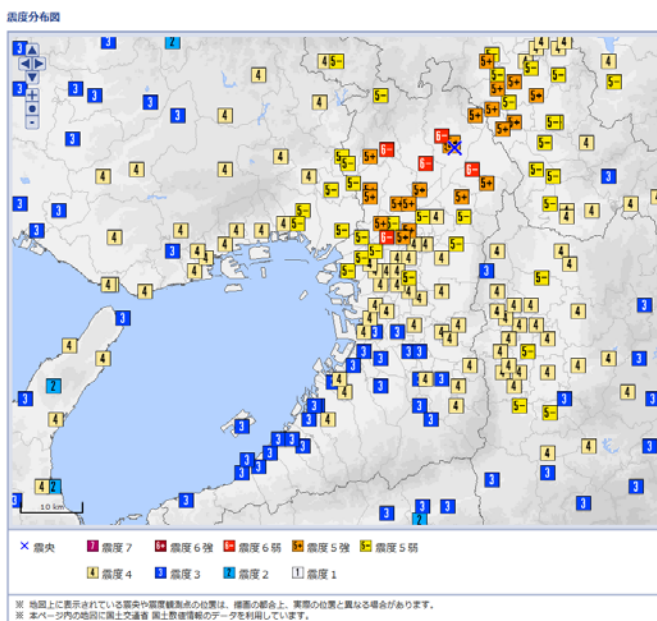
2018年6月18日大阪府北部の地震の評価

- 6月18日07時58分に大阪府北部の深さ約15kmでマグニチュード(M)6.1の地震が発生した。この地震により大阪府で最大震度6弱を観測し、被害を伴った。この地震の発震機構は西北西－東南東方向に圧力軸を持つ型であった。この地震は地殻内で発生した地震で、周辺には東西方向に延びる有馬－高槻断層帯、および南北方向に延びる生駒断層帯と上町断層帯などが存在している。
- その後7月10日16時までに発生した最大の地震は、6月19日に発生したM4.1の地震で、最大震度4を観測した。地震活動は東西約5km、南北約5kmの領域で減衰しつつも継続している。領域の北部では東に傾斜した面状に、南部では南東に高角で傾斜した面状に、震源が分布している。発震機構は横ずれ断層型と逆断層型が混在しているが、横ずれ断層型の地震は領域の全域で、逆断層型の地震は領域の北部で発生している。
- M6.1の地震の発震機構と地震活動の分布などから推定されるM6.1の地震の震源断層は、概ね南北2つの断層で構成される。北側は東に傾斜する逆断層で、南側は南東に高角で傾斜する右横ずれ断層であった。
- G N S S観測の結果では、今回の地震に伴いごくわずかな地殻変動が観測された。

大阪府下で初の震度6弱を観測

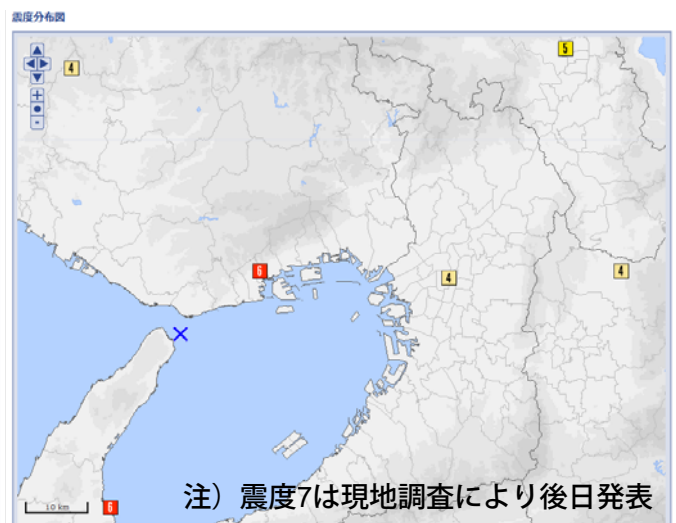
今回の地震

2018/6/18 07:58 M_{JMA} 6.1



1995年兵庫県南部地震

1995/1/17 05:46 M_{JMA} 7.3



気象庁HP震度データベースより

計測震度計の整備により、きめ細かい震度情報を即時に得ることが可能になり、自治体等の災害応急対応も迅速化（現在、大阪府内88地点）

大阪府周辺の地震と活断層

6月18日の地震

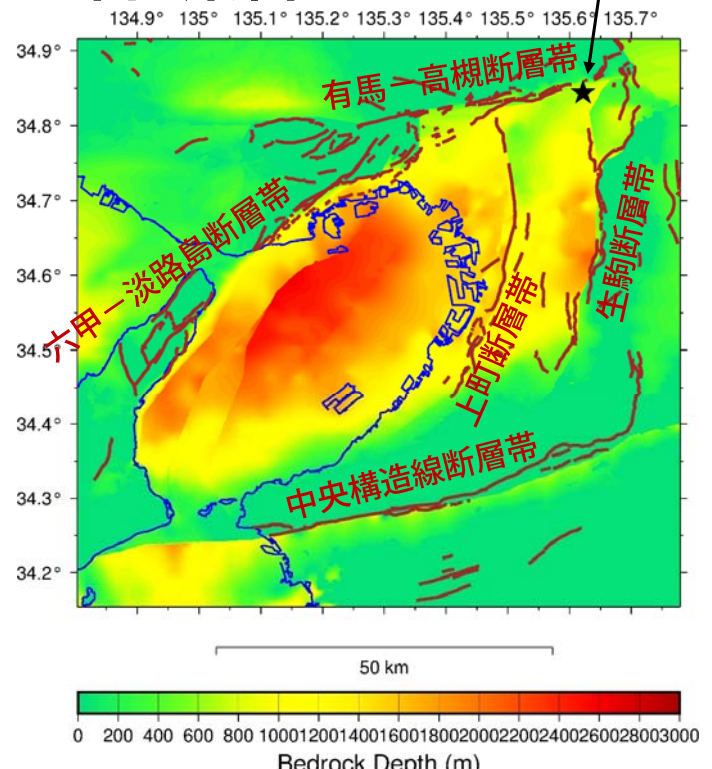
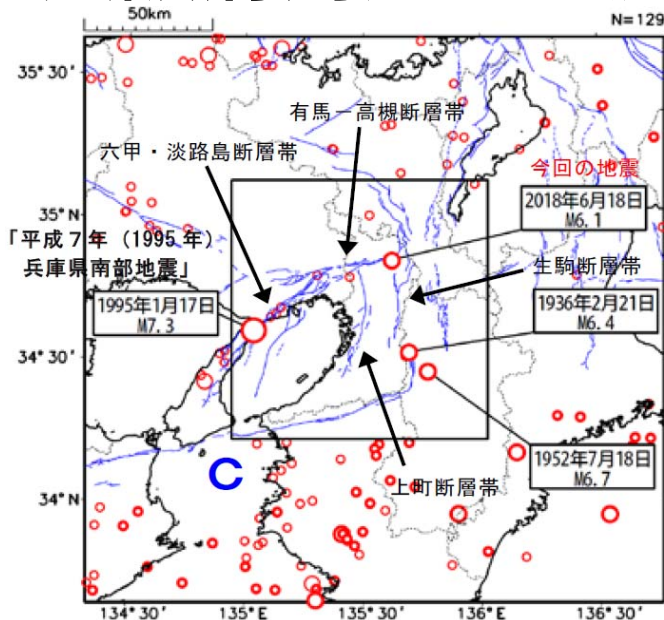
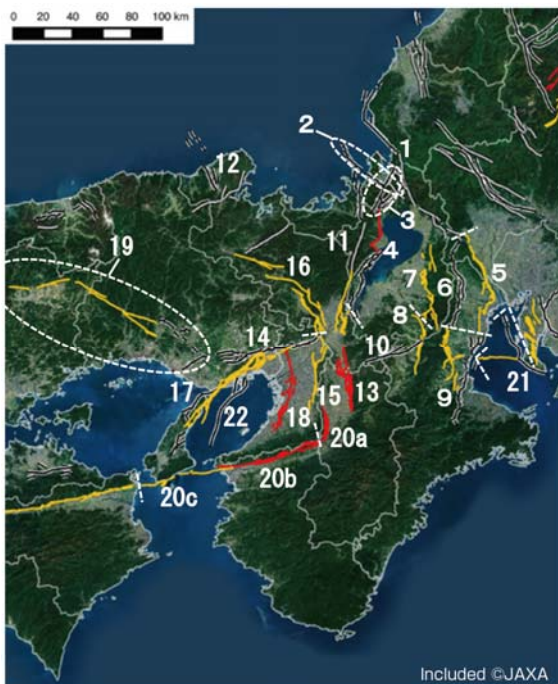


図 2-7 震央分布図
(1923 年 1 月 1 日～2018 年 6 月 30 日、
深さ 0～100km、M $\geq$ 5.0)

図中の細線は地震調査研究推進本部の長期評価による活断層を示す
気象庁資料より

堆積盆地の基盤深さ
(関口・他, 2013)

関西の活断層



近畿地方の主な活断層

活断層の名称 (活動区間)	予想される地震の規模 (マグニチュード-M)	地震発生可能性 (ランク)	備考
1 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯 (主部/北部)	7.6 程度	Z ランク	
(主部/中部)	6.6 程度	X ランク	
(主部/南部)	7.6 程度	X ランク	
(浦底-柳ヶ瀬山断層帯)	7.2 程度	X ランク	
2 野坂・東福寺断層帯 (野坂断層帯)	7.3 程度	Z ランク	
(東福寺断層)	6.5 程度	X ランク	
3 湖北山地断層帯 (北部)	7.2 程度	Z ランク	
(南東部)	6.8 程度	Z ランク	
4 琵琶湖西岸断層帯 (北部)	7.1 程度	S ランク	
(南部)	7.5 程度	Z ランク	1185 年に近江の地震を起こした可能性がある。
5 養老一壱名-四日市断層帯	8 程度	A ランク	
6 鈴鹿東線断層帯	7.5 程度	Z ランク	
7 鈴鹿西線断層帯	7.6 程度	A ランク	
8 磯宮断層帯	7.3 程度	A ランク	
9 布引山地東線断層帯 (東部)	7.6 程度	Z ランク	
(西部)	7.4 程度	A ランク	
10 木津川断層帯	7.3 程度	Z ランク	1854 年に伊賀上野地震を起こしたと推定される。
11 三方・花折断層帯 (三方断層帯)	7.2 程度	Z ランク	1862 年に地震を起こしたと推定される。
(花折断層帯/北部)	7.2 程度	X ランク	1862 年に地震を起こした可能性がある。
(花折断層帯/中南部)	7.3 程度	A ランク	
(主部)	7.4 程度	X ランク	
12 山田断層帯 (越前断層帯)	7.4 程度もしくはそれ以上	Z ランク	1927 年に北丹後地震を起こした。
13 奈良盆地東線断層帯	7.4 程度	S ランク	
14 有馬-高槻断層帯	7.5 程度	Z ランク	1596 年に慶長伏見地震を起こしたと推定される。
15 生駒断層帯	7.0～7.5 程度	A ランク	
16 三峠・京都西山断層帯 (三峠断層)	7.2 程度	X ランク	
(京都西山断層帯)	7.5 程度	A ランク	
(主部/六甲山地南縁-淡路島東岸)	7.9 程度	A ランク	
17 六甲・淡路島断層帯 (主部/淡路島西岸)	7.1 程度	Z ランク	1995 年に兵庫県南部地震を起こした。
(先山断層帯)	6.6 程度	Z ランク	
18 上町断層帯	7.5 程度	S ランク	
19 山崎断層帯 (部山断層帯)	7.3 程度	A ランク	
(主部/北西部)	7.7 程度	A ランク	868 年に播磨国地震を起こしたと推定される。
(主部/南東部)	7.3 程度	Z ランク	
(草谷断層)	6.7 程度	Z ランク	
20a 中央構造線断層帯 (金剛山地東縁)	6.9 程度	S ランク	中央構造線断層帯全体が同時に活動した場合、M8.0 程度もしくはそれ以上の規模の地震が発生すると考えられる。
20b 中央構造線断層帯 (和泉山脈南縁)	7.6～7.7 程度	S ランク	
20c 中央構造線断層帯 (紀淡海峡-瀬戸内海)	7.6～7.7 程度	A ランク	
21 伊勢湾断層帯 (主部/北部)	7.2 程度	Z ランク	
(主部/南部)	6.9 程度	Z ランク	
(白子-野間断層)	7.0 程度	A ランク	
22 大阪湾断層帯	7.5 程度	Z ランク	

地震発生可能性を表すランクについて

● S ランク (高い): 30 年以内の地震発生確率が 3% 以上
● A ランク (やや高い): 30 年以内の地震発生確率が 0.1～3%
● Z ランク: 30 年以内の地震発生確率が 0.1% 未満
● X ランク: 地震発生確率が不明
(すぐに地震が起こることが否定できない)
地震後経過率が 0.7 以上である活断層は、ランクに * を付記する。

* 地震後経過率は、現時点の地震発生率の過渡度を示す数字です。1 に近づくと、次の地震がいつ起きてもおかしくない状態と言えます。

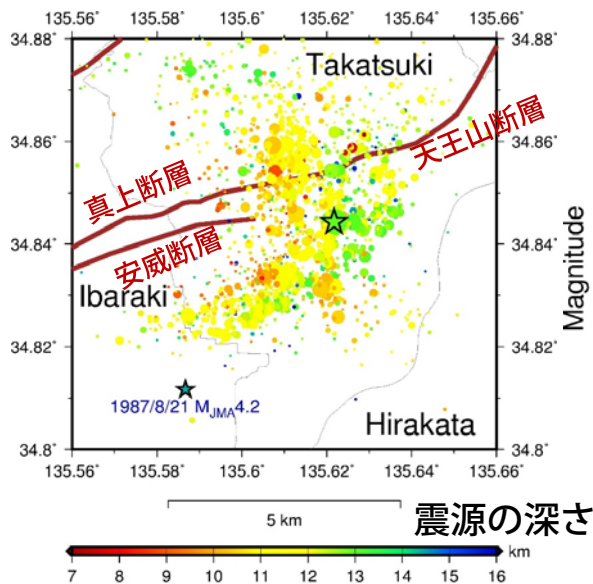


文部科学省(2017)

「活断層の地震に備える」より

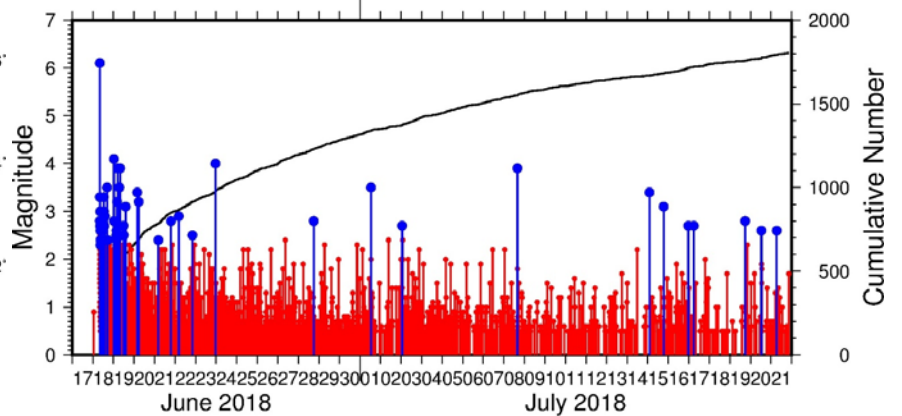
<https://www.jishin.go.jp/resource/pamphret/>

1ヶ月間の余震発生状況



EQ. Catalog: JMA 2018/06/18 00:00-07/16 23:59 M>0.5

JMA catalog M>0.5



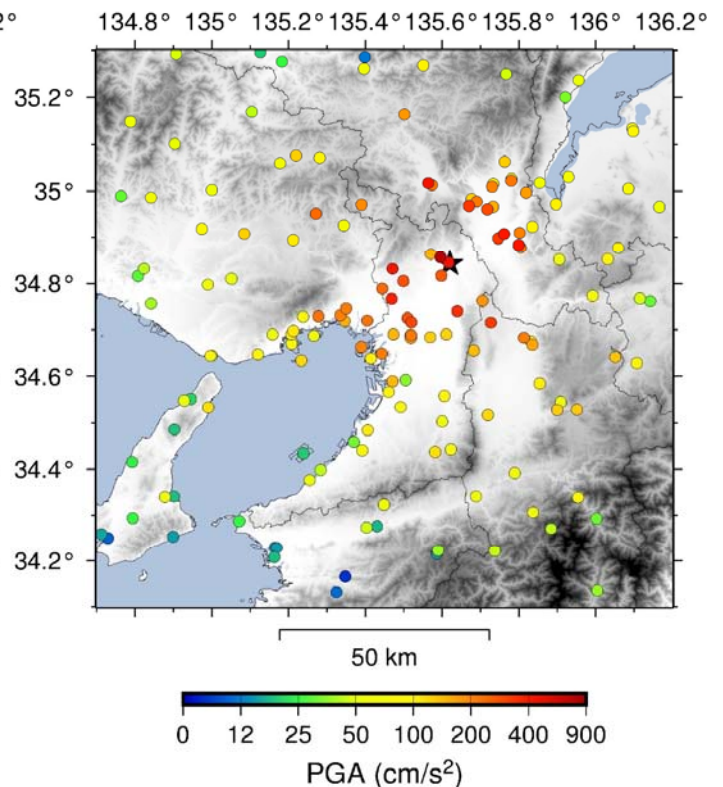
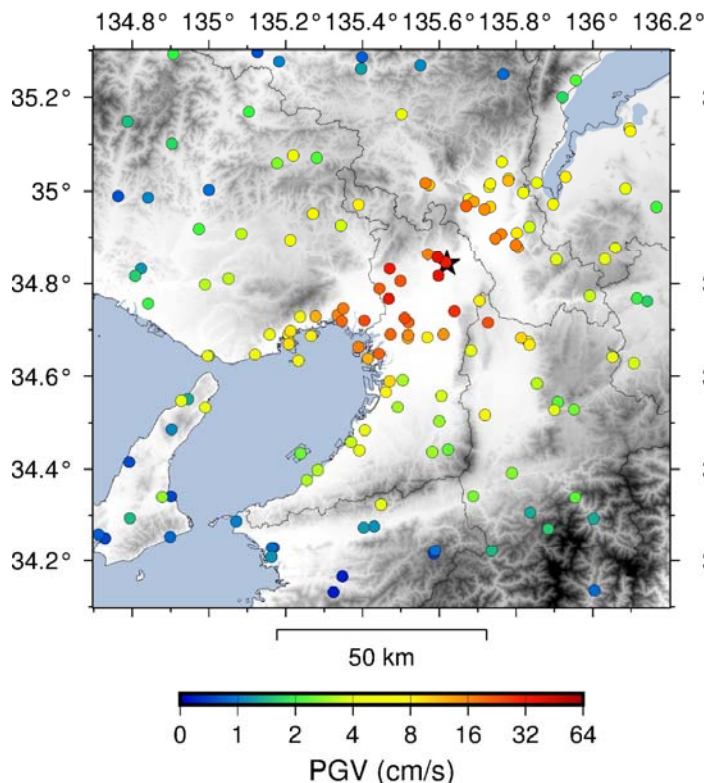
赤：左の地図内の地震
青：震度1以上の有感地震

- M0.9の前震が本震の約7時間前（01時03分）に発生
- 震度3以上を観測した余震は6回発生
- 余震は約5 km×5 kmの範囲内で主に発生しており、周辺の活断層に沿って余震域が拡大している様子はみられない

強震動の分布（左：PGV、右：PGA）

PGV 2018/06/18 07:58 M_j6.1

PGA 2018/06/18 07:58 M_j6.1



OSK002: 41 cm/s & 806 cm/s²

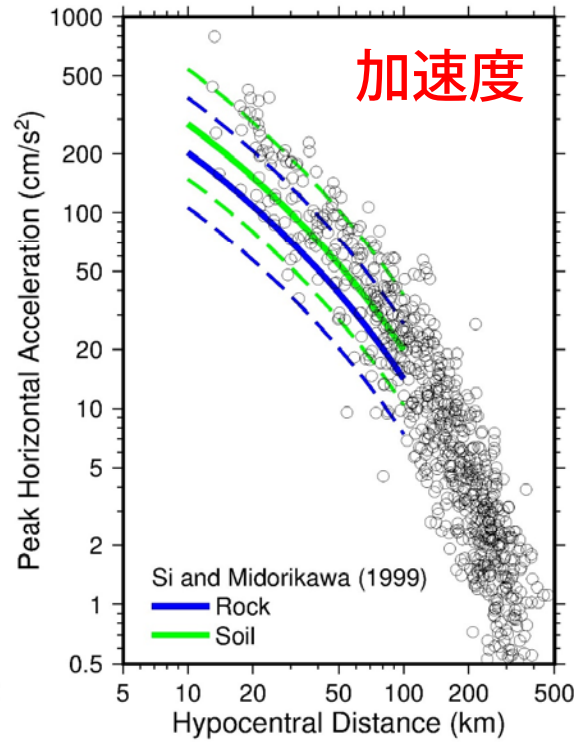
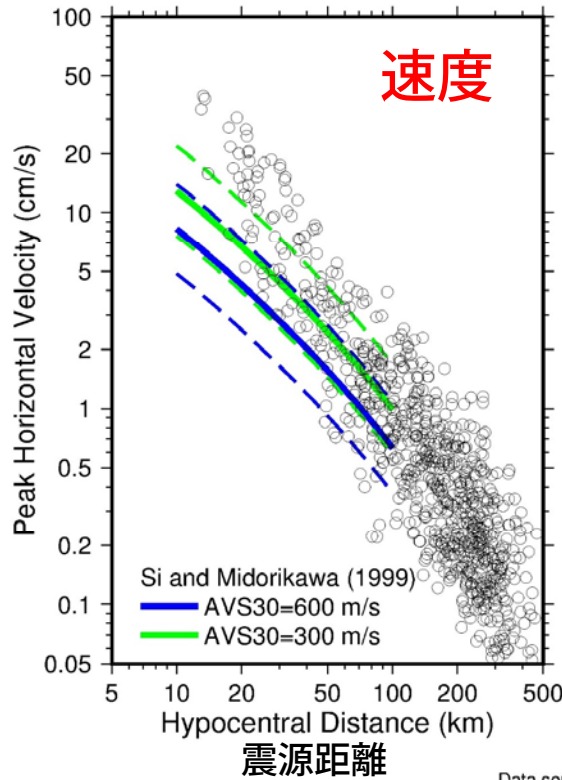
Data source: K-NET+KiK-net+F-net+JMA+CEORKA+PARI+BRI+DPRI-KU

最大速度 & 最大加速度の距離減衰

2018/06/18 07:56 Mw5.6

2018/06/18 07:56 Mw5.6

水平成分の最大値 (2成分の大きい方)



Data source: K-NET+KiK-net+F-net+JMA+CEORKA+PARI+BRI+DPRI-KU

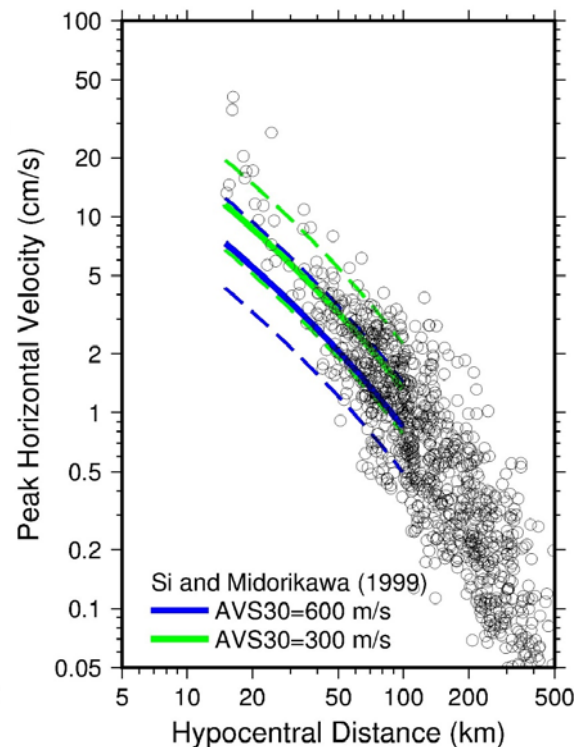
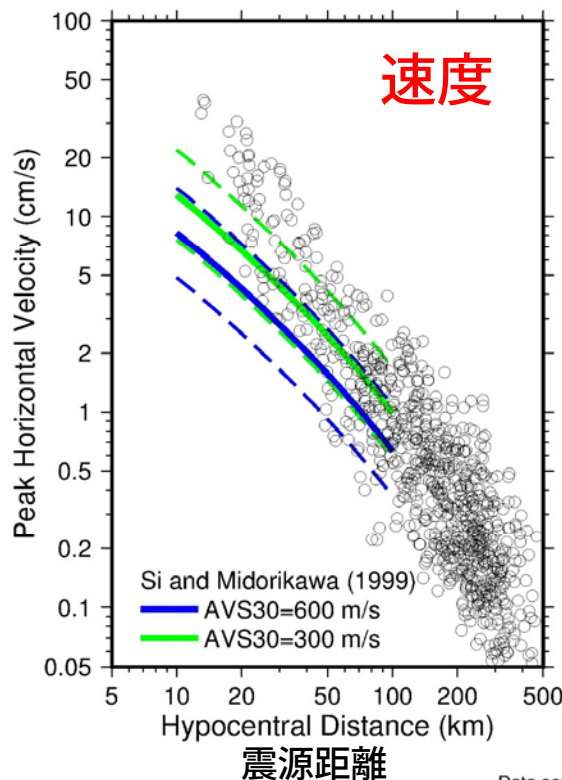
© SMS, DPRI-KU

最大速度 & 最大加速度の距離減衰

2018/06/18 07:56 Mw5.6

2013/04/13 05:33 Mw5.8

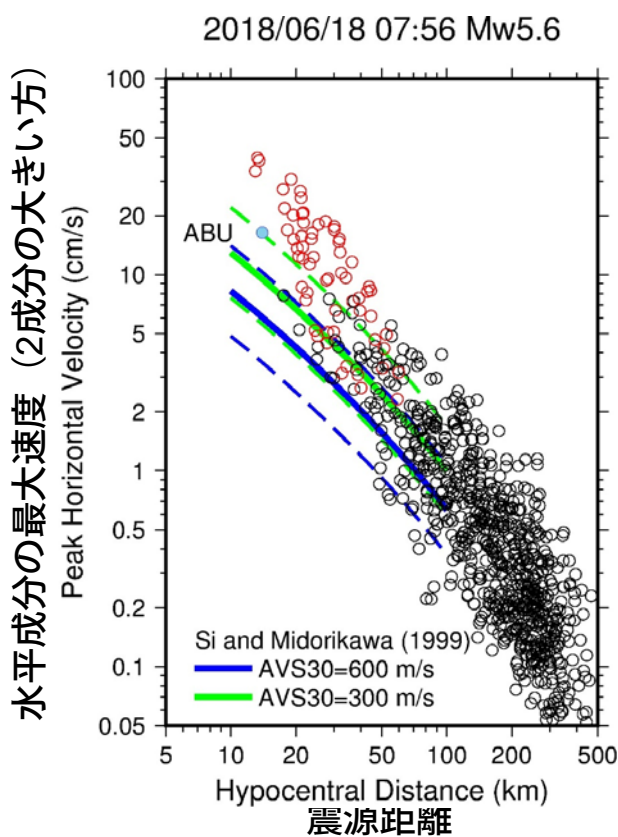
水平成分の最大値 (2成分の大きい方)



Data source: K-NET+KiK-net+F-net+JMA+CEORKA+PARI+BRI+DPRI-KU

© SMS, DPRI-KU

最大速度の距離減衰



観測された強震記録の最大水平速度を地震動予測式（司・翠川, 1999）と比較した。

・震源距離50 km以内に、既存の地震動予測式を大きく上回る観測点が多く見られる。

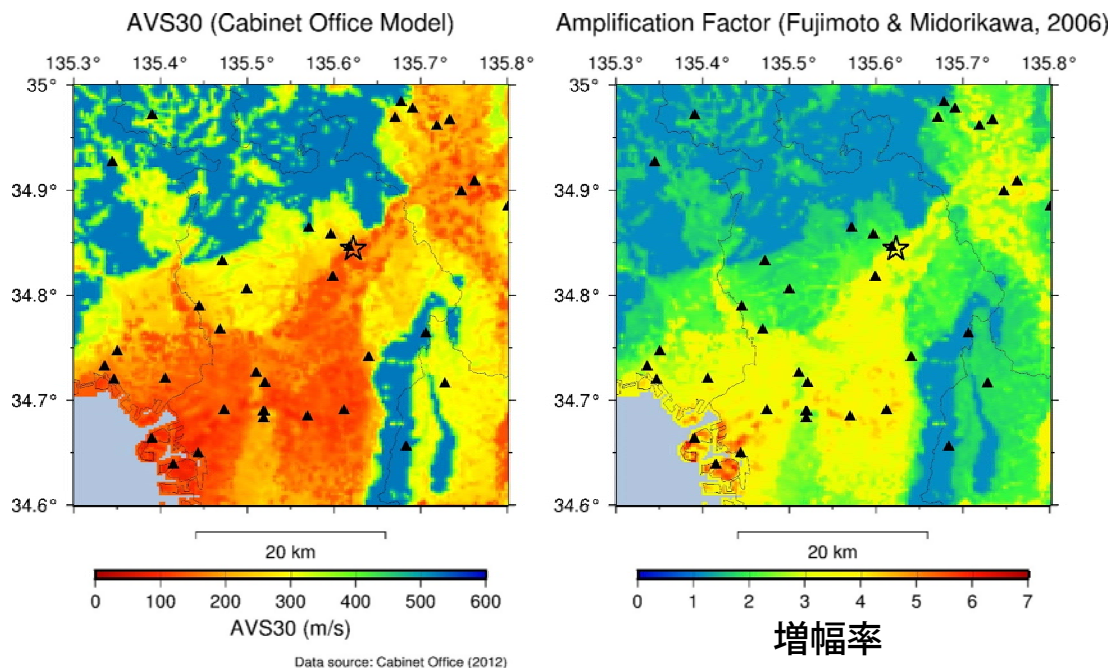
→ これらの地点のほとんどは、**大阪盆地、京都盆地、亀岡盆地、奈良盆地内**の観測点（深い地盤構造の影響か）

注）現時点で波形データ入手できた観測点のみを図にプロットしている。震度6弱の地点は高槻市立第2中学校のみ図中に含まれている。観測記録は地盤増幅率の補正（引き戻し）はしていない。

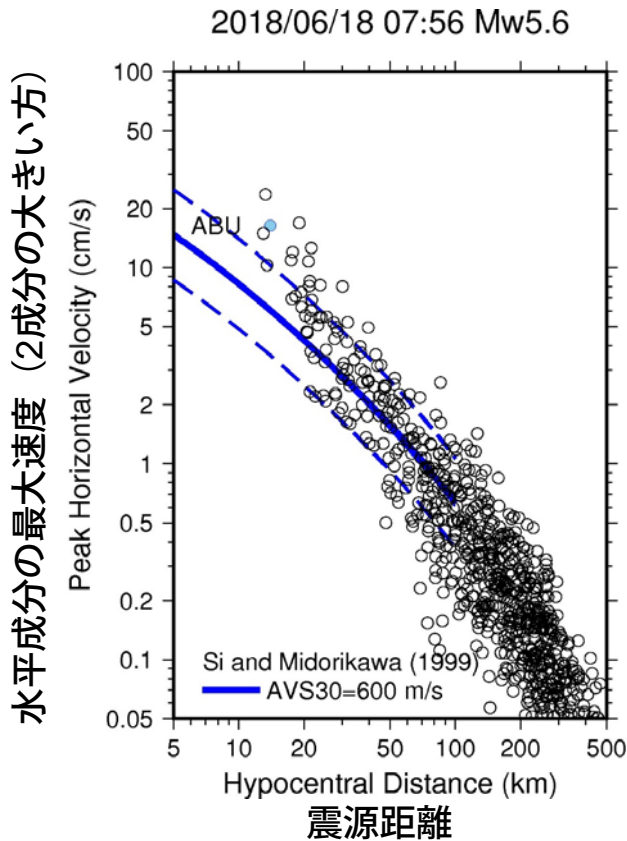
AVS30及び地盤増幅率

左： 内閣府(2012)によるAVS30（地表から30 mの平均S波速度）
右： 藤本・翠川 (2006)の式による地盤増幅率（ V_s 600 m/s基準）

$$\log AF_{PGV} = 2.367 - 0.852 \log AVS30 \pm 0.166$$



最大速度の距離減衰



観測された強震記録の最大水平速度をAVS30で補正した値を地震動予測式（司・翠川, 1999）と比較した。

・内閣府(2012)によるAVS30を用い、藤本・翠川 (2006)によるAVS30と地盤増幅率の関係式に従って、**AVS30 = 600 m/s相当の値**に補正した。

$$\log AF_{PGV} = 2.367 - 0.852 \log AVS30 \pm 0.166$$

・浅い地盤の影響による地盤増幅率を経験的に補正しても、震源の北西に位置する阿武山観測所を含む震源近傍域で地震動予測式を上回る観測点が多い。

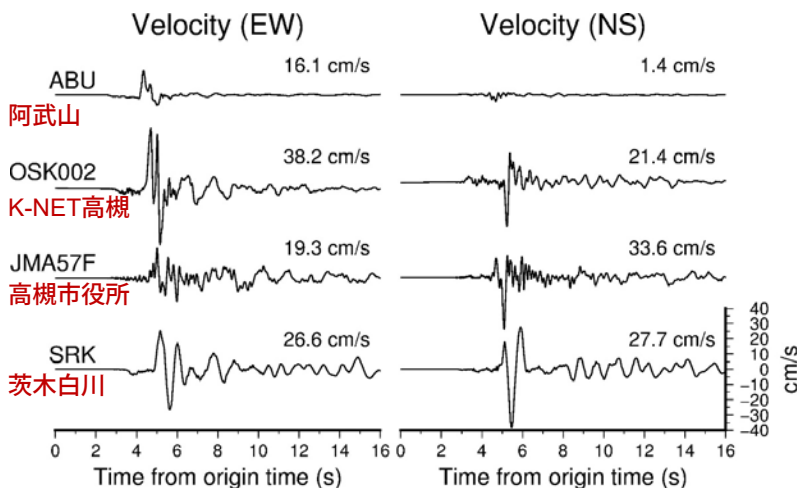
注) 現時点で波形データを手に入れた観測点のみを図にプロットしている。震度6弱の地点は高槻市立第2中学校のみ図中に含まれている。

震央周辺の地質と震度・強震観測点



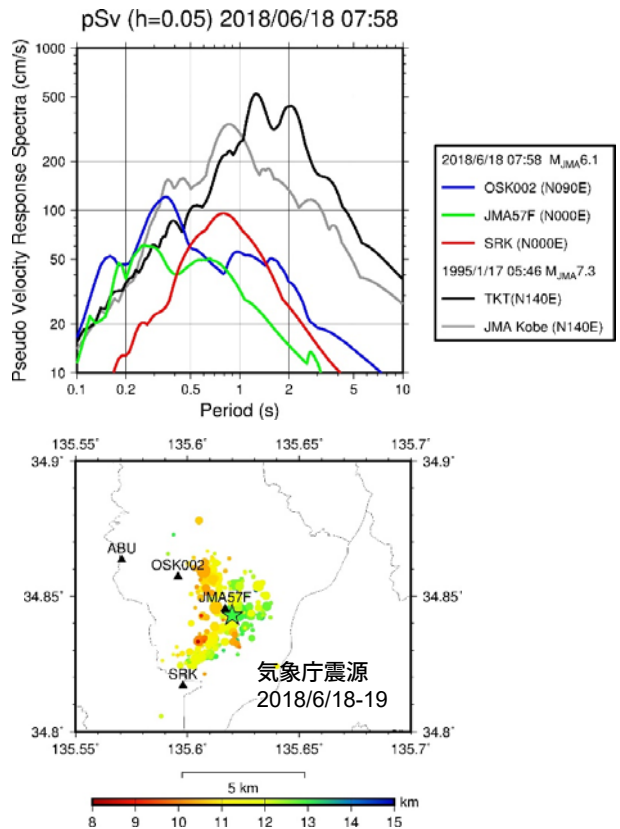
震央付近の波形、速度応答スペクトル

速度波形（フィルターなし）



- ・ 周期1秒以上は小さい
- ・ 高槻は周期0.3-0.4sが卓越
- ・ 茨木白川は周期0.8sが卓越
- ・ 震源継続時間は約2秒
(M7級の地震では10秒以上)

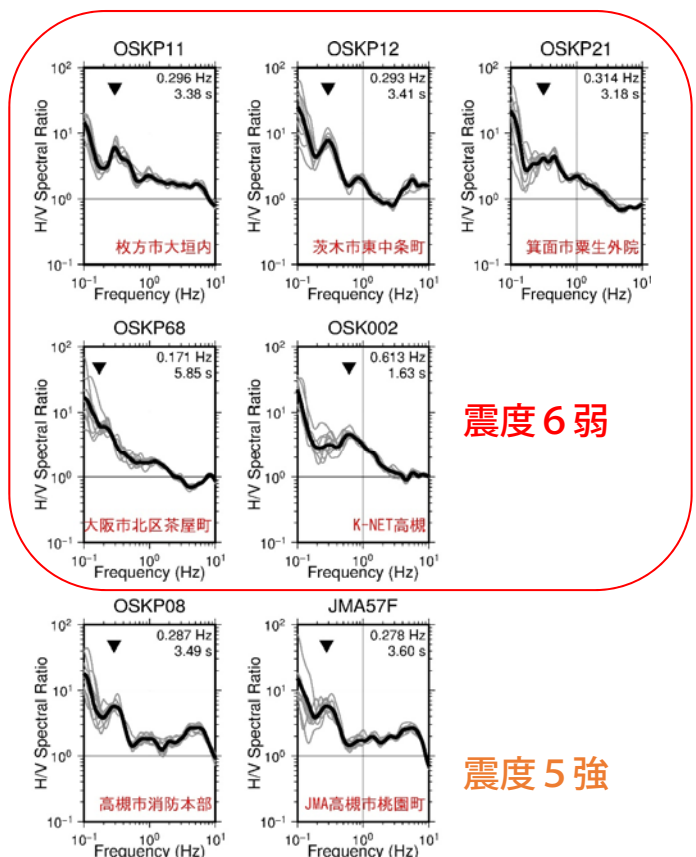
擬似速度応答スペクトル



微動H/Vスペクトル比

京都大学防災研究所では、2011年に大阪府内の全ての震度観測点にて単点微動観測を実施している。

- ・ 高槻、茨木、箕面、枚方では、大阪堆積盆地の基盤深度に対応する周期3秒強のH/Vピークが存在する
- ・ 周期1秒付近に、工学的基盤に対応すると思われる小さなピークが見られる地点もある
- ・ K-NET高槻は周期1.6秒
- ・ 茶屋町は周期約6秒



出典： 浅野・他 (2013) 京都大学防災研究所年報, 56B, 117-129.
<http://hdl.handle.net/2433/181556>

地震のメカニズム解

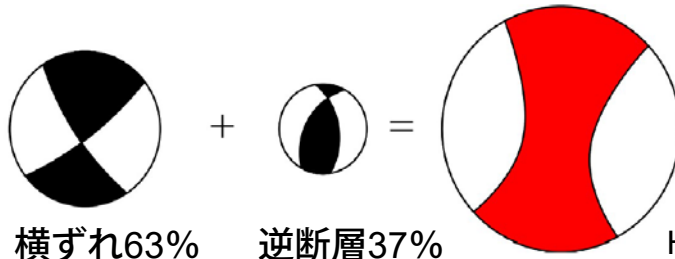
気象庁 発震機構解

P波の最初の部分を使って決定
※断層のずれ始めの運動を表す

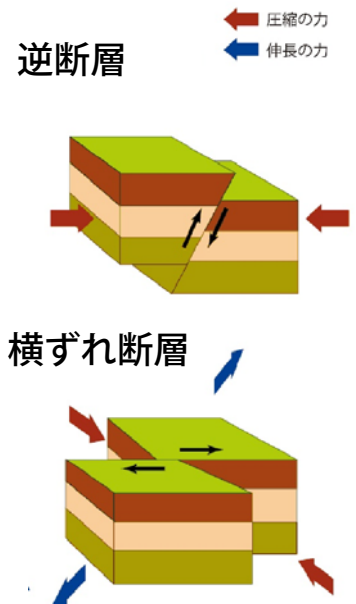
気象庁 CMT解 (Centroid Moment Tensor)

長周期の地震波形全体を使って決定
※断層運動全体の特徴を表す

モーメントテンソルの分解 (P軸共通を仮定)



Hallo (私信)



西北西—東南東方向の
圧力軸をもつ断層運動

余震分布

余震分布 (防災科学技術研究所資料) からは、北部と南部で異なる面に沿って余震が分布している様子が見える。

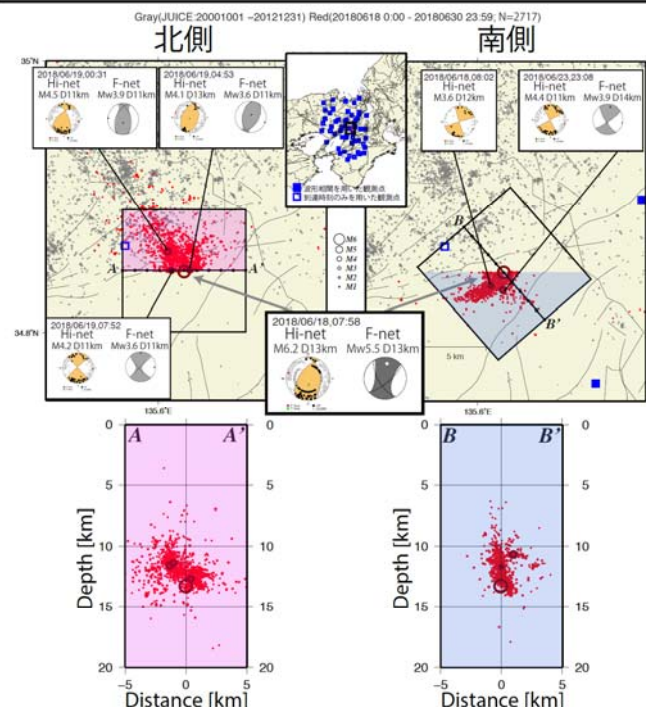
→余震域の北部と南部の2枚の震源断層が存在

北部では逆断層タイプ、南部では横ずれ断層タイプの余震が発生している。

2018年6月18日大阪府北部の地震 (DD法による震源分布)



- 大阪府北部において発生したM_{max}6.1の地震の後の震源分布は、本地震の震源の北側と南側で異なる。(北側ではほぼ東傾斜の面状に、南側では南東に高角度の傾斜を持つ面状に分布)
- 余震分布は、5km程度の広がりを持つ。
- 本地震の震源は、余震域の最深部付近に位置している。
- Hi-netの初動解(逆断層型)とF-netのMT解ともに東西圧縮軸を持つ。



図(上) 一次元構造(鶴川・他 1984)を用いて再決定した本震より北側(左)と南側(右)の震央分布。

本震及び主な余震のHi-netとF-netの発震機構解を合わせて示す。

2018年6月18日0時—2018年6月30日23時59分に発生した地震を赤丸で示す。

(下) 上図の色塗りされた領域(青とピンク色)の震源をそれぞれの断面上に投影した図(左は北側、右は南側)。

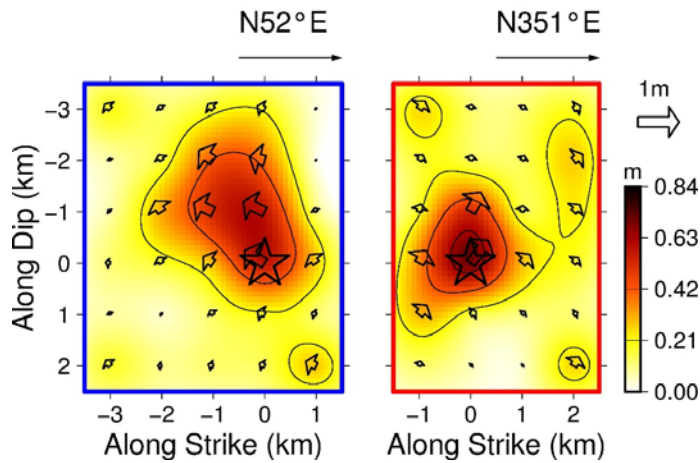
謝辞: 解析には気象庁、京都大学防災研究所、東京大学地震研究所、産業技術総合研究所のデータも使用させて頂きました。

防災科学技術研究所資料

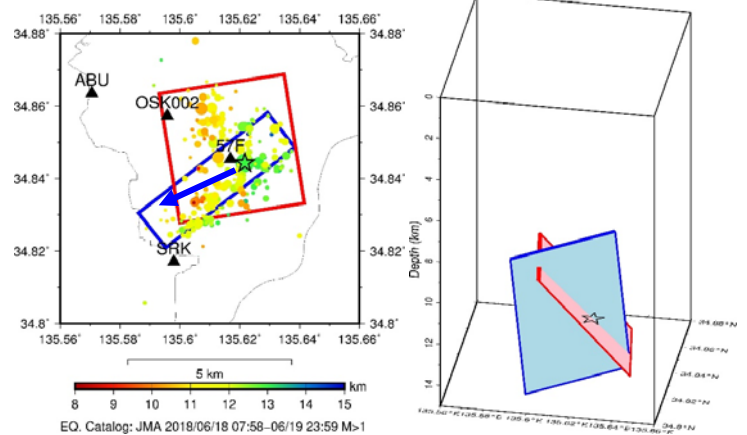
震源破壊過程

CMT解や余震分布を参考に2枚の断層面を設定し、同時破壊すると仮定して、強震波形から震源破壊過程（断層の動き）を逆解析した。

断層面上のすべり量と向き



断層の配置
(地表投影図)



解析条件

データ： 速度波形 0.1-1.5 Hz 18地点

タイムウィンドウ： 0.6 s x 5個

断層面： ① 走向351°、傾斜50°
② 走向52°、傾斜77°

地震モーメント 4.06×10^{17} Nm (Mw 5.67)

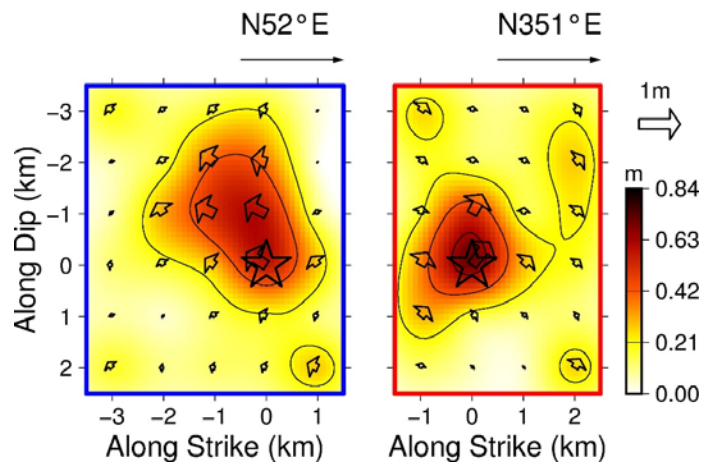
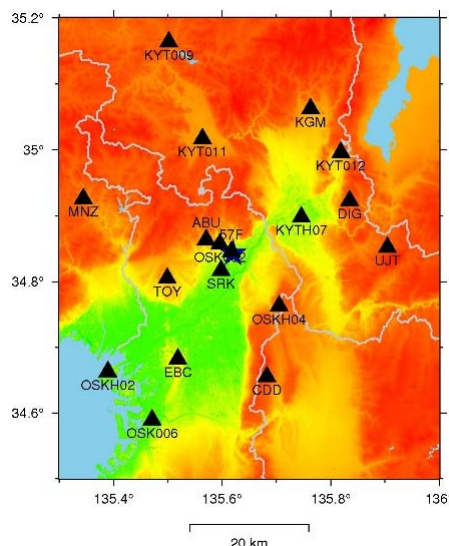
最大すべり量 0.70 m

第1タイムウィンドウ伝播速度 2.9 km/s

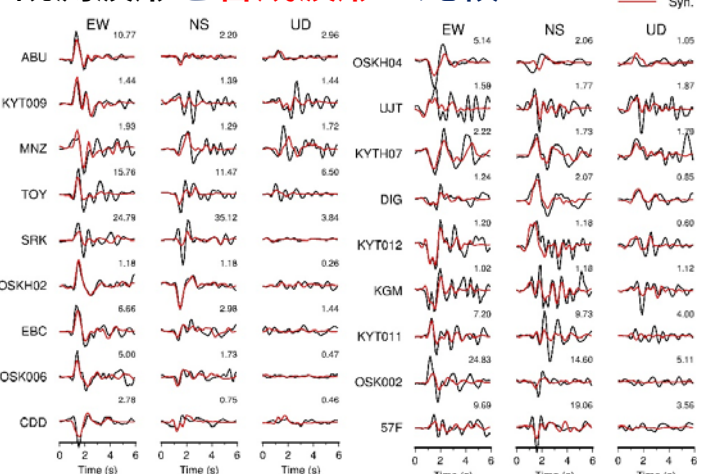
震源破壊過程

断層①は逆断層成分、断層②は
右横ずれ成分が主の断層運動

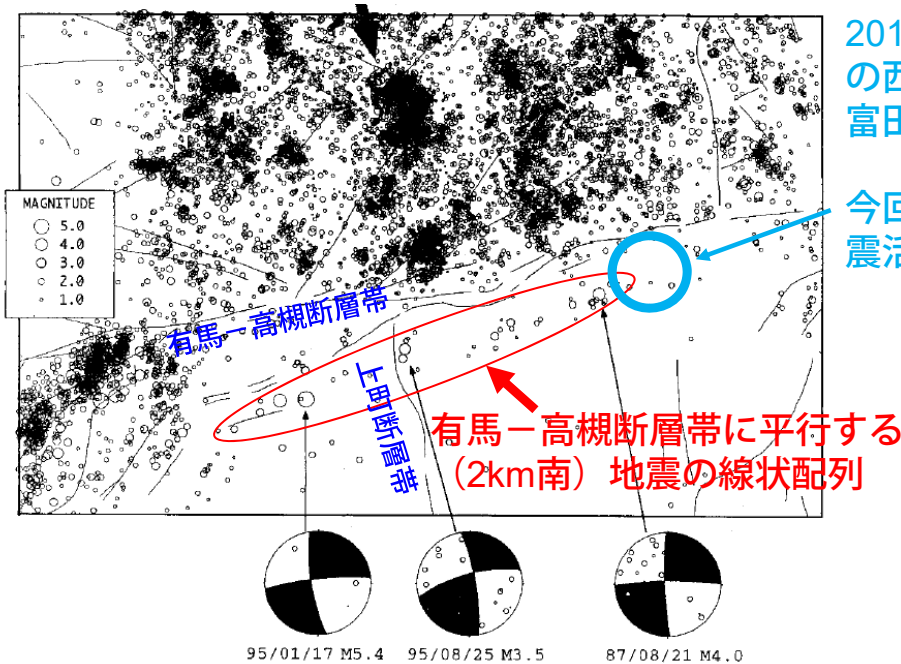
断層②の破壊は、南西の浅い方
へ向かって広がった



観測波形と合成波形の比較



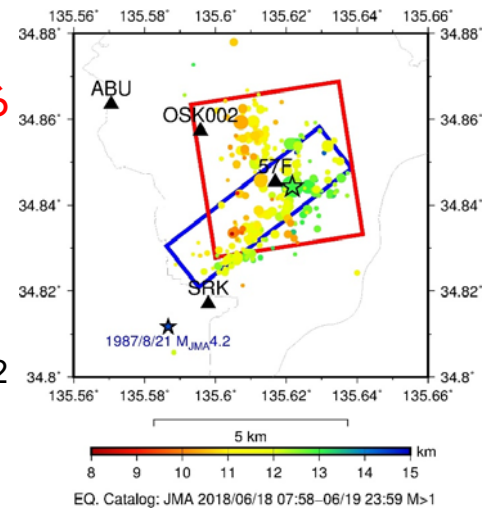
有馬－高槻断層帯に平行な横ずれ断層



2018年6月18日の地震の破壊域の西端は1987年8月21日の摂津富田付近の地震の震源付近

今回の地震はこの線状配列の地震活動の一環と考えられる

有馬－高槻断層帯に平行する
(2km南) 地震の線状配列



片尾 (1996)

1987/8/21 11:55 M_J 4.2
34.812°N, 135.587°E,
14.4 km

まとめ

- 大阪盆地北部から京都盆地にかけて、震度5強以上の強い揺れに見舞われた。
- 大阪盆地や京都盆地等で観測された強震動は、既存の地震動予測式によるMw5.6の地殻内地震の平均的な地震動よりも大きかった。
→ 単に震源断層からの近さだけではなく、震源断層の破壊様式や周期特性、盆地特有の深い地盤構造、浅い地盤構造の影響を総合的に考える必要がある。
- 高槻市や茨木市で観測された地震動は、周期1秒未満の短周期地震動が卓越しており、周期1秒以上は1995年兵庫県南部地震の神戸市内の地震動に比べてはるかに小さかった。→ 地震規模の違い
- 本震の破壊は、北東－南西走向の横ずれ断層と南北走向の逆断層が同時に破壊したものと考えられる。
- 北東－南西走向の断層の破壊は深部から地表に向かって南西方向へ伝播した。破壊域の深さは10～14kmに限られている。破壊域の西端は1987年8月21日のM_{JMA}4.2の摂津富田付近の地震の震源付近であった。