

第 400 回 地 震 調 査 委 員 会 資 料 (臨 時 会)

< 目 次 >

◆ 2024年4月17日豊後水道の地震	2
◆ 2024年4月17日豊後水道の地震のDD法による震源分布	3
◆ 2024年4月17日豊後水道の地震 (F-netによるメカニズム解)	5
◆ 2024年4月17日豊後水道の地震の3D CMT解析結果	6
◆ 2024年4月17日豊後水道の地震による強震動	7
◆ 2024年4月17日豊後水道の地震の震源過程 (暫定)	10
◆ 四国の深部低周波微動活動状況 (2024年4月10日～17日)	12
◆ 2024年4月17日豊後水道の地震による高周波エネルギー輻射量 (暫定)	13
◆ 2024年4月17日豊後水道の地震：震源域周辺の地震発生状況と今後の地震発生確率	14

令和 6 年 4 月 18 日

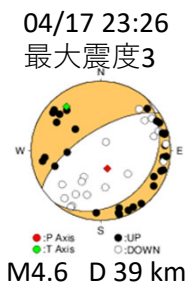
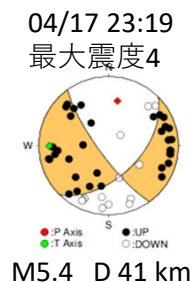
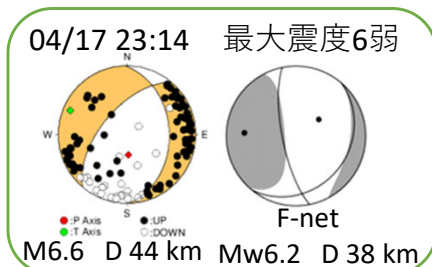


国立研究開発法人

防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

2024年4月17日豊後水道の地震



- 2024年4月17日23時14分頃に豊後水道で M_{JMA} 6.6（気象庁暫定値）の地震が発生
- 余震も含めた初動解，MT解とも震源メカニズム解は正断層型が支配的
- 最大地震はプレート内地震活動域で発生

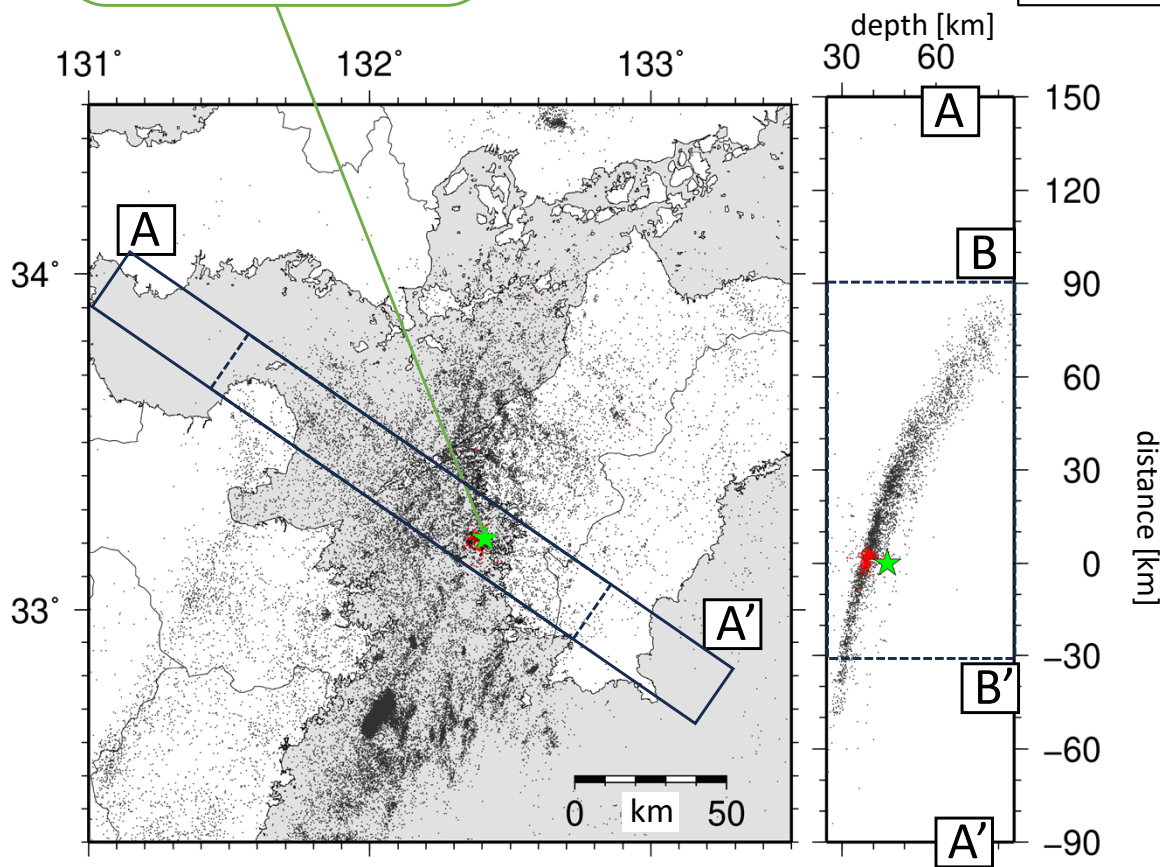


図1. 防災科研Hi-netによる（左）震央分布（右）と深さ断面（2014年1月1日～2024年4月18日8時，深さ25km～100km，手動および自動検出震源）。主な地震の初動解およびF-netによるMT解もあわせて示す。A-A'の矩形範囲に沿った深さ断面を右図に示す。灰色は最大地震以前の地震，緑色は最大地震，赤色は最大地震以降に発生した地震を示す。

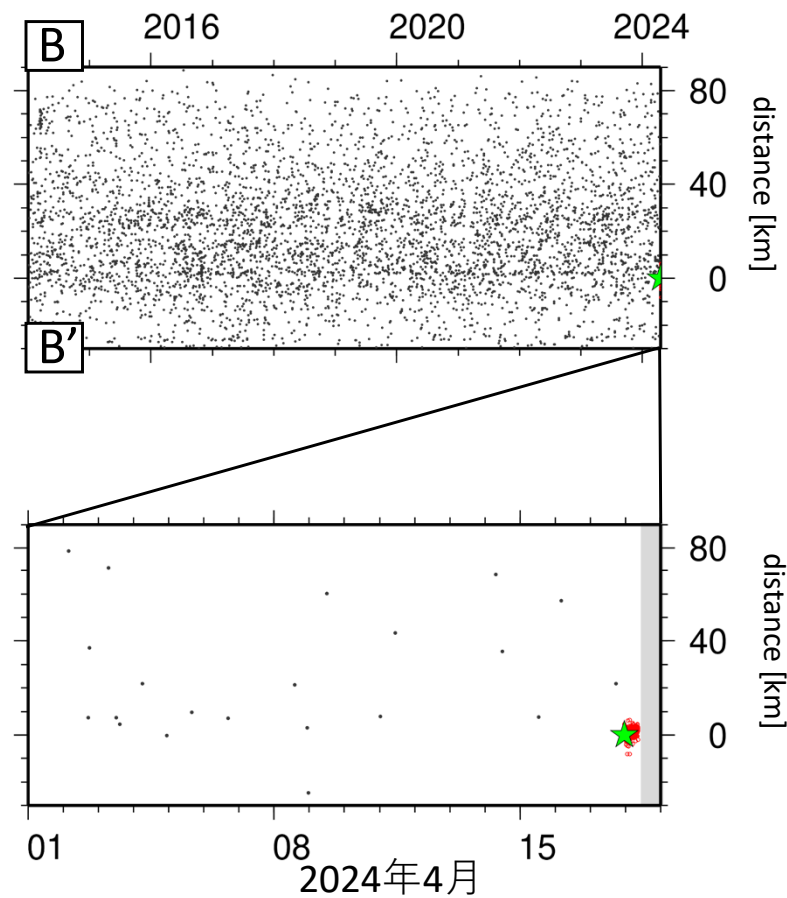


図2. 図1のB-B'面内にある地震の時空間分布を示す。横軸は日付，縦軸は震央からの距離を示している。

謝辞：解析には気象庁，京都大学，九州大学，高知大学，東京大学，産業技術総合研究所の記録も使用させていただきました。

2024年4月17日豊後水道の地震のDD法による震源分布

- ・2024年4月17日23時14分頃に豊後水道においてM_{JMA}6.6（気象庁暫定値）の地震が発生
- ・三次元地震波速度構造を5km毎に平均化した層構造を用いてDouble-difference法により再決定。
- ・N40°Eでは本震付近で水平に分布する。N169°Eの断面では鉛直に並ぶ余震も見られる。
- ・本震はペアとなる余震がなく、DD法では決定されていない。

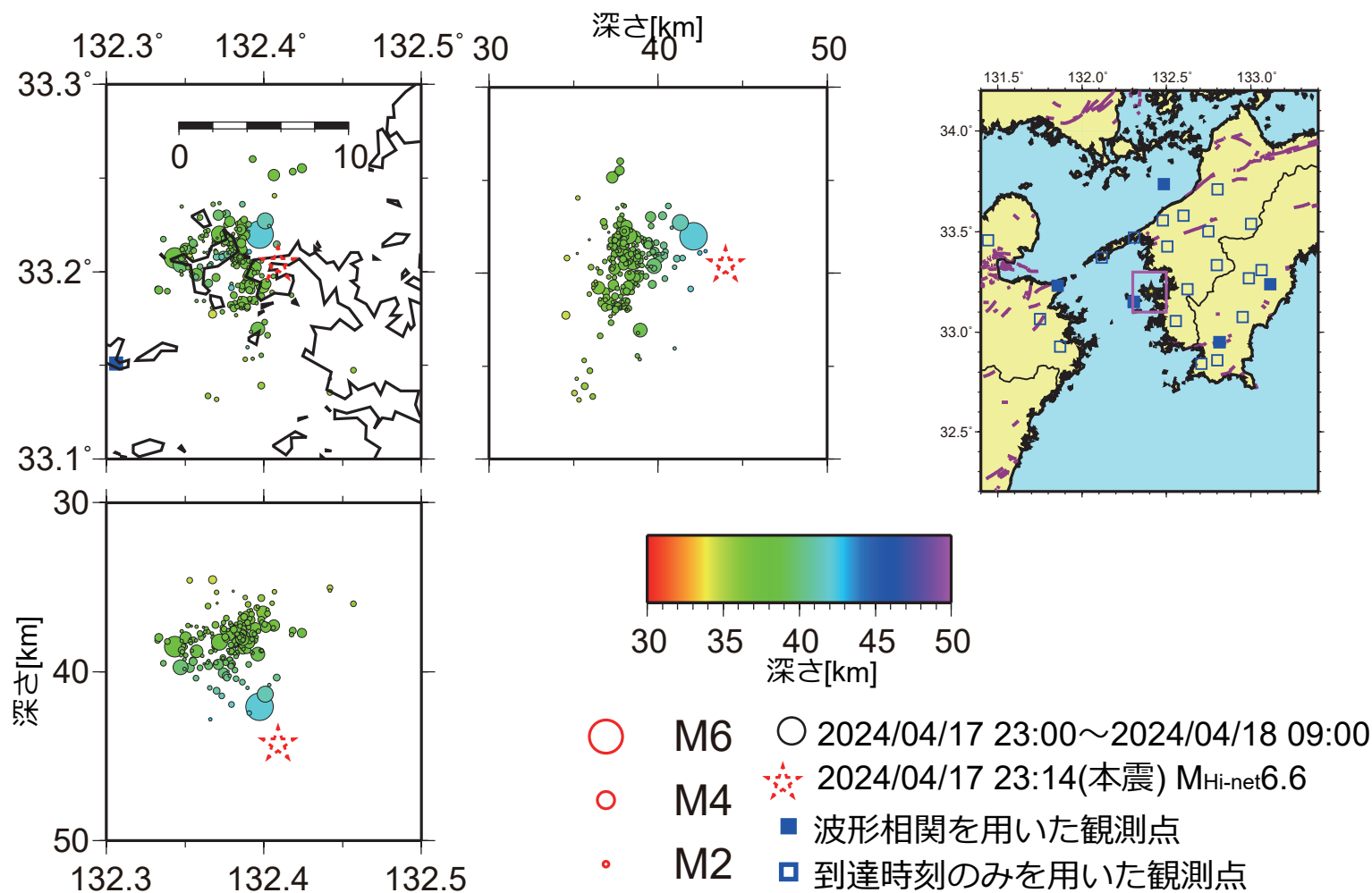


図1 2024年4月17日豊後水道の地震の震源域周辺における震源分布。右下図矩形領域内の深さ20-60kmの地震について防災科研Hi-net(自動処理を含む)の震源を波形相関データを用いたDouble-Difference法(DD法, Waldhauser and Ellsworth, 2000)により再決定した。速度構造は矩形内におけるMatsubara et al. (2022)の三次元地震波速度構造の値を深さ5km毎に平均化した構造を用いた。

謝辞：本解析には、気象庁、東京大学・京都大学のデータも使用させて頂きました。

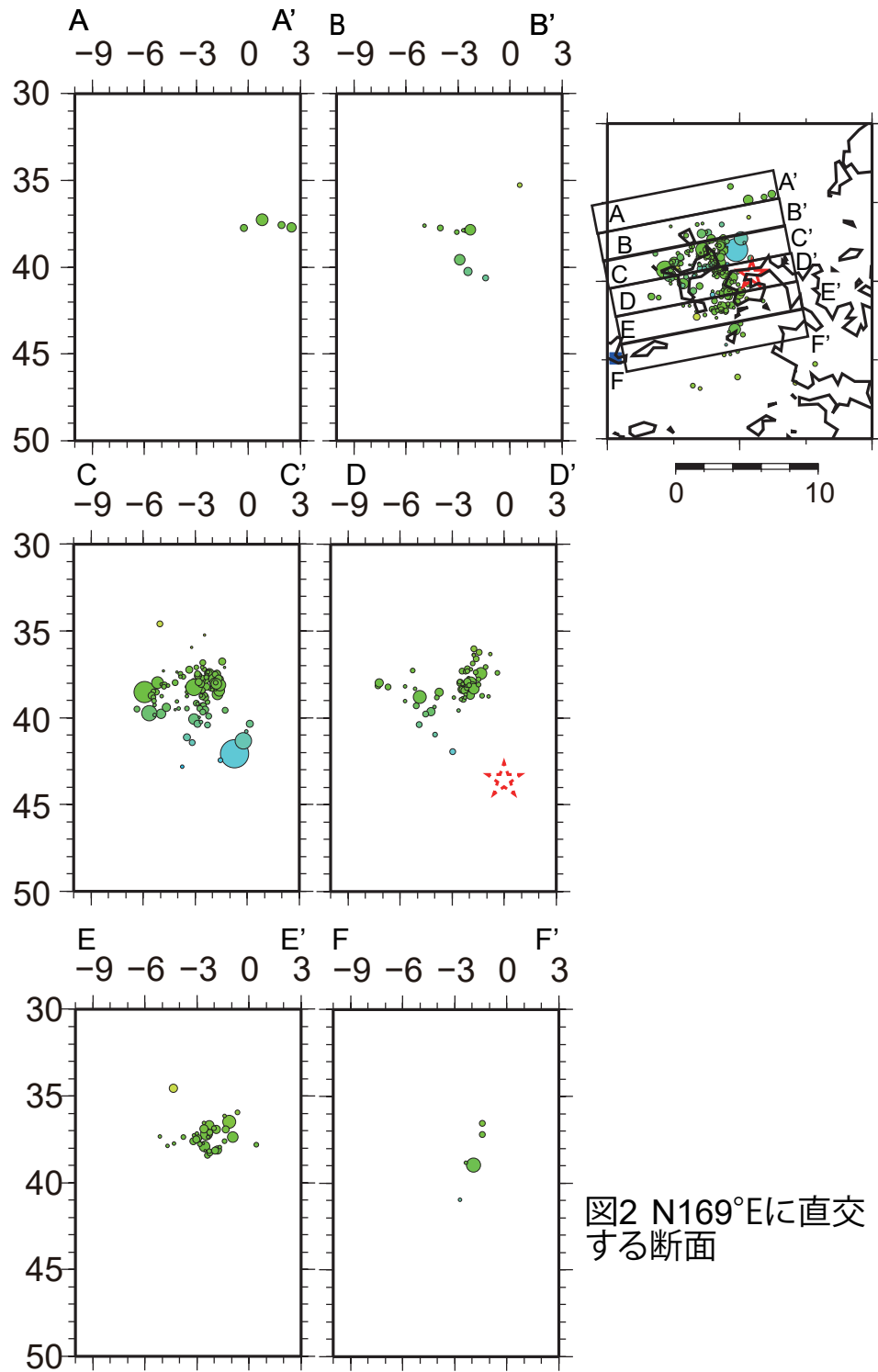


図2 N169°Eに直交する断面

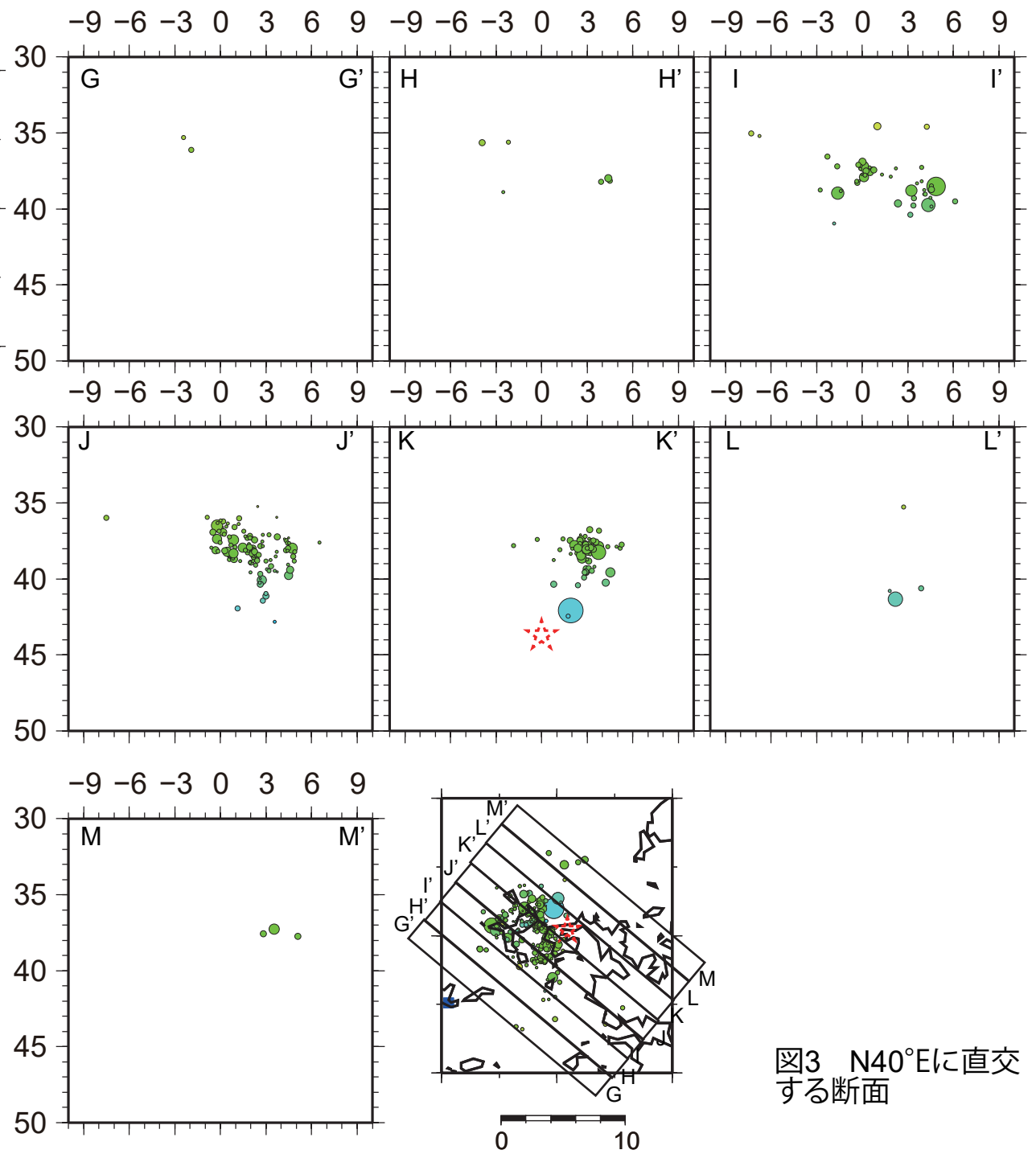
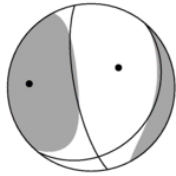


図3 N40°Eに直交する断面

2024年4月17日豊後水道の地震 (F-netによるメカニズム解)

2024/04/17 23:14 (Mw 6.2)

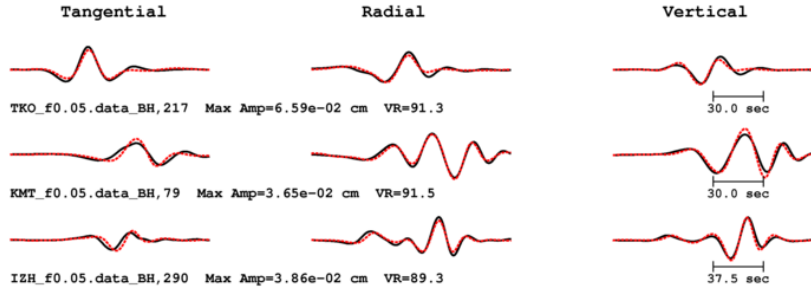
東西方向に張力軸を持つ型 ※暫定解



Mw = 6.2
Mo [Nm] = 2.40e+18
NP1: (40, 24, -42)
NP2: (169, 74, -109)
Depth [km] = 38

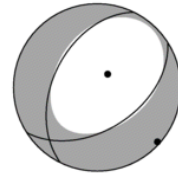
Var. Red = 90.80
Percent DC = 48
Percent CLVD = 52
Variance = 1.52e-05
RES/Pdc. = 3.20e-07

— Obs.
..... Syn.



2024/04/18 06:31 (Mw 3.8)

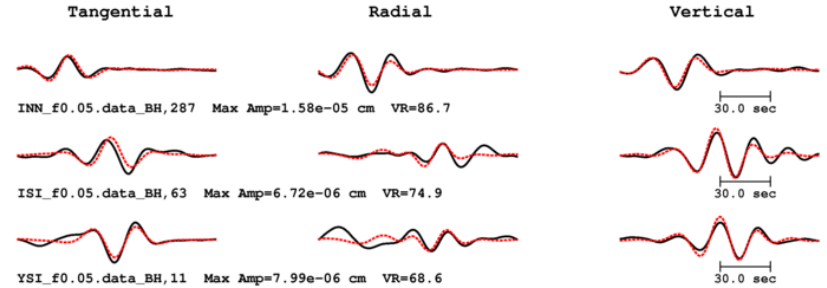
北西—南東方向に張力軸を持つ正断層型 ※暫定解



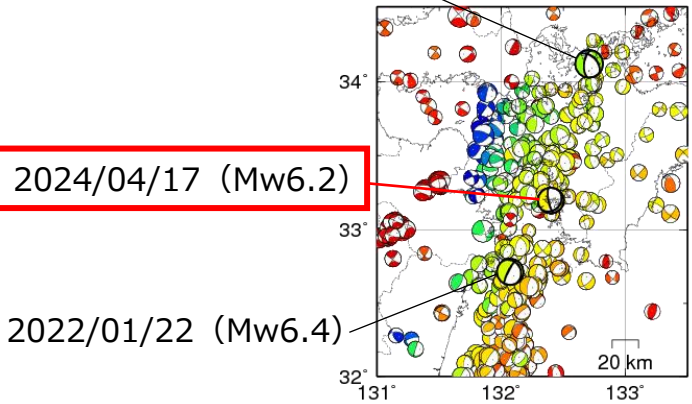
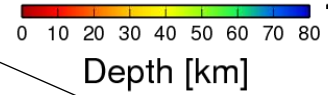
Mw = 3.8
Mo [Nm] = 5.44e+14
NP1: (206, 46, -113)
NP2: (57, 48, -68)
Depth [km] = 41

Var. Red = 78.70
Percent DC = 69
Percent CLVD = 31
Variance = 1.83e-12
RES/Pdc. = 2.67e-14

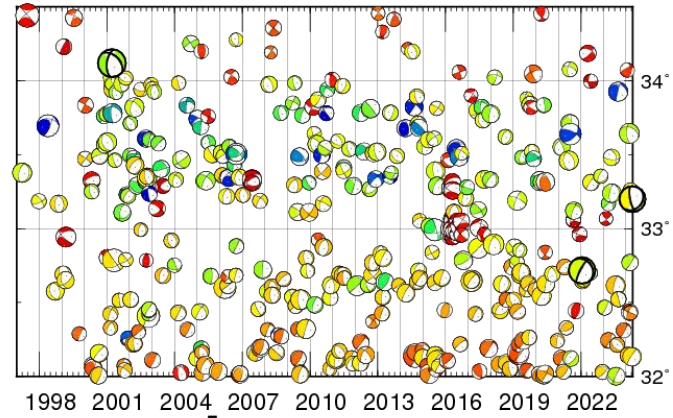
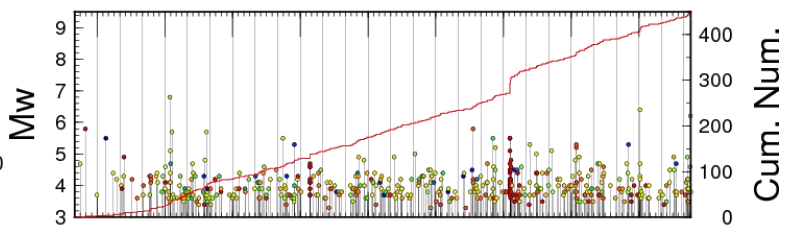
— Obs.
..... Syn.



2001/03/24 (Mw6.8)
平成13年 (2001年) 芸予地震



1998 2001 2004 2007 2010 2013 2016 2019 2022



F-netモーメントテンソル解カタログによる周辺の地震活動 (深さ80km以浅). Mw6.0以上の地震の発生日を合わせて示す.

2024年4月17日 豊後水道の地震の3D CMT解析結果

2024-04-17 23:14:49

33.2°N 132.4°E Depth: 38 km / Mw 6.18

Strike [°]	Dip [°]	Rake [°]	V.R.
174/ 36	65/ 31	-109/ -52	88.4 %

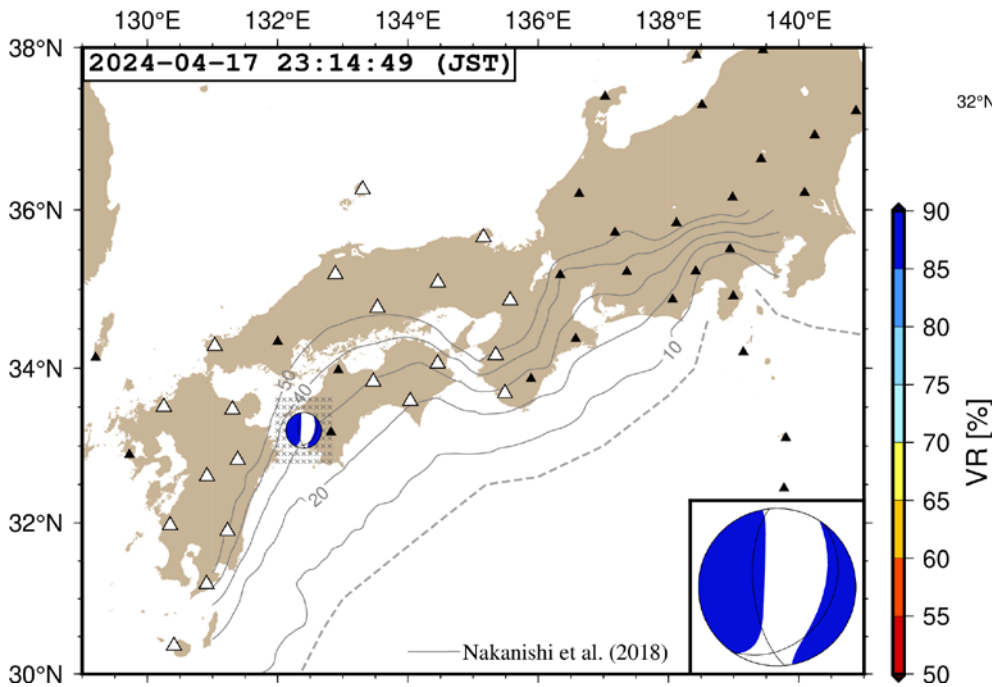


図1 三次元地震波速度構造を用いたCMT解析結果. Takemura *et al.* (2020)の解析方法を一部改良して用いた. 解析に用いたF-net観測点の位置を△で示す. 灰色線は, Nakanishi *et al.* (2018)によるフィリピン海プレート上面深度等深線を表す.

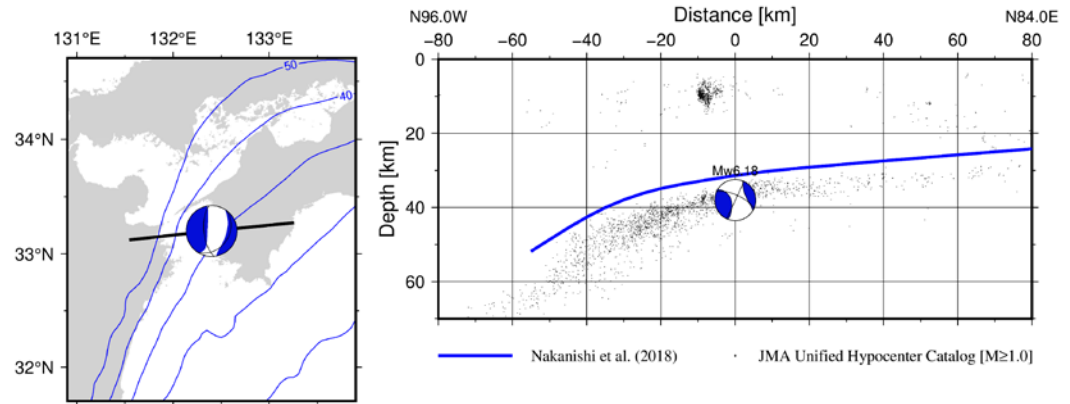


図2 鉛直断面におけるプレート上面モデル(Nakanishi *et al.*, 2018)との対比

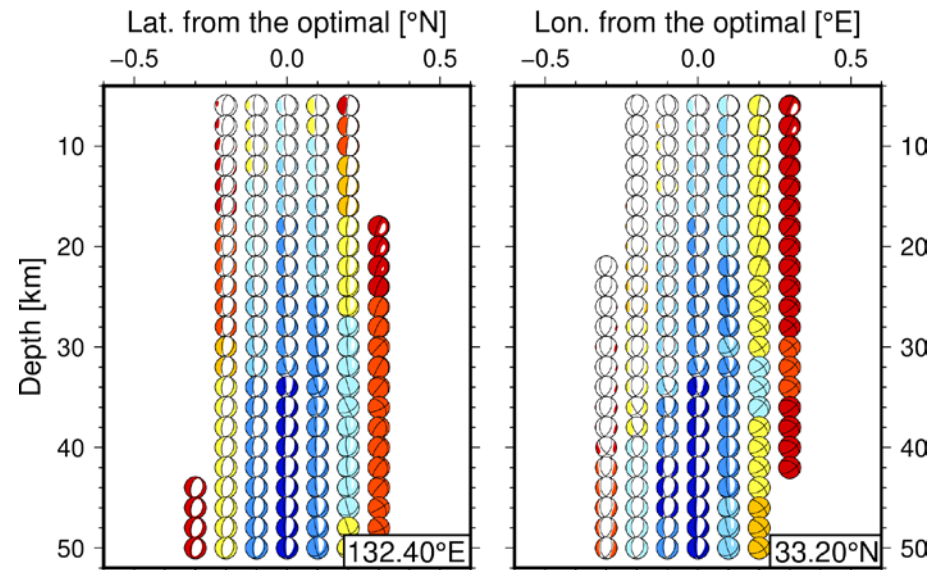
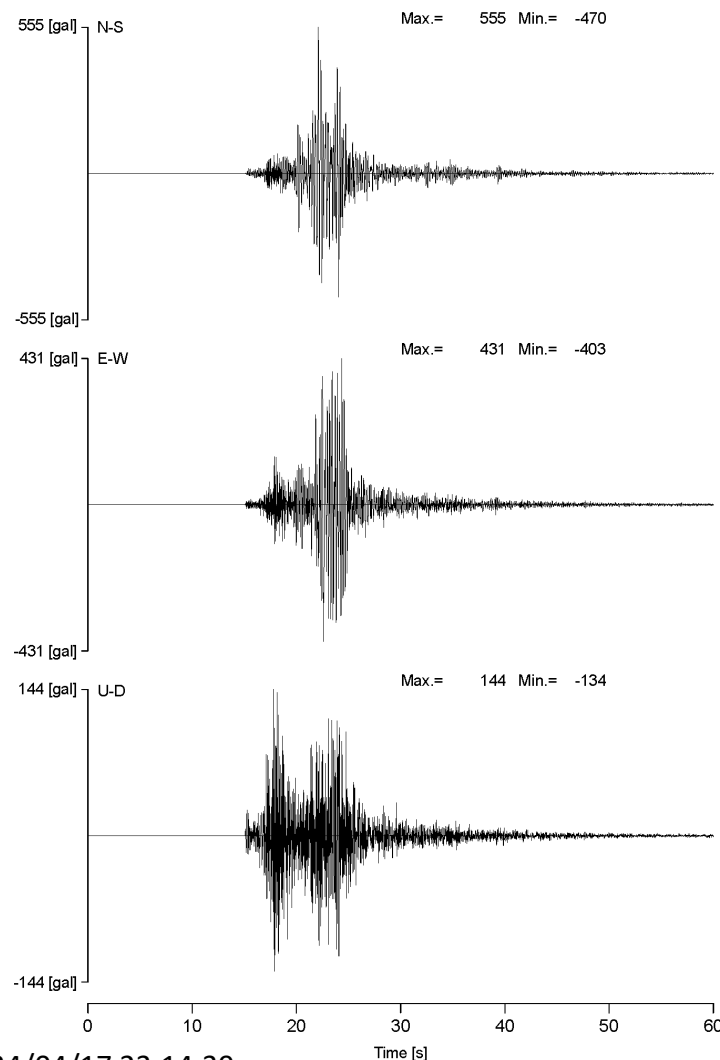


図3 最もV.R.が高かったセントロイド位置周辺のCMT解とそのV.R.. V.R.が50%以上の解のみ表示した. 配色は図1のカラーバーと同じ.

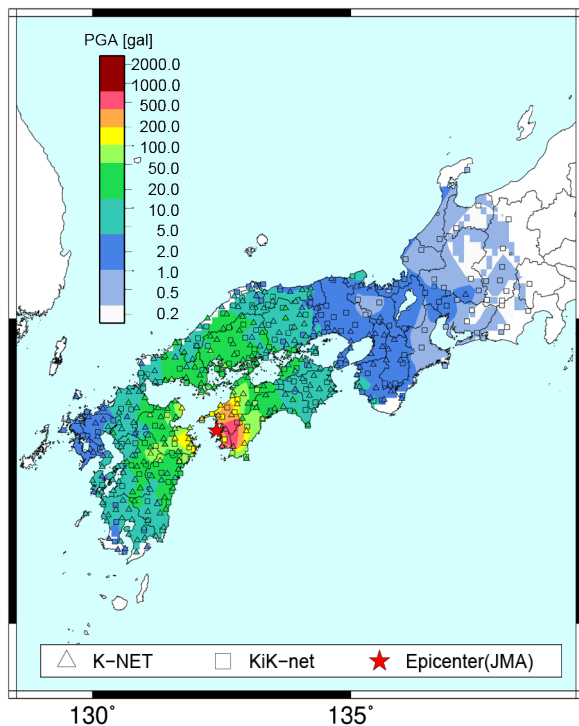
2024年4月17日23時14分, 深さ39km, M6.6 (気象庁暫定値)

K-NET・KiK-netで記録された最大の地表最大加速度は
K-NET宇和島 (EHM012) 観測点 (愛媛県宇和島市) での
558 gal (三成分合成値)

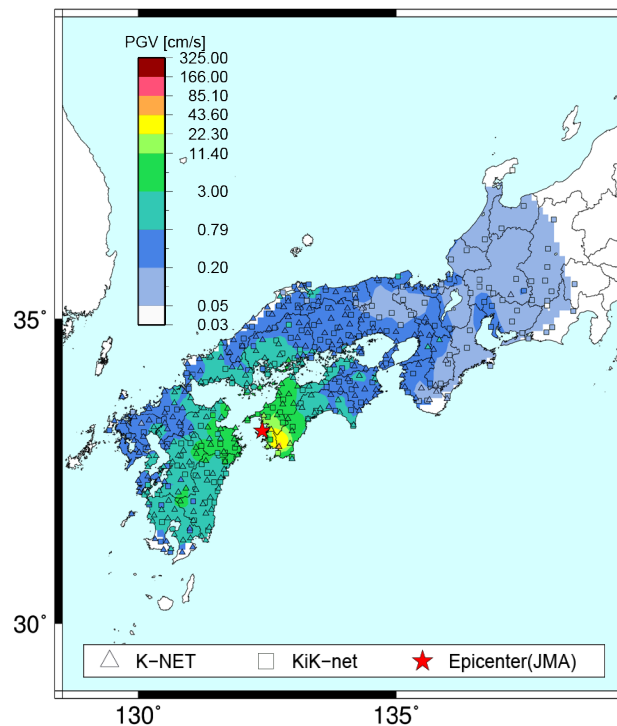
K-NET宇和島での加速度波形



地表最大加速度



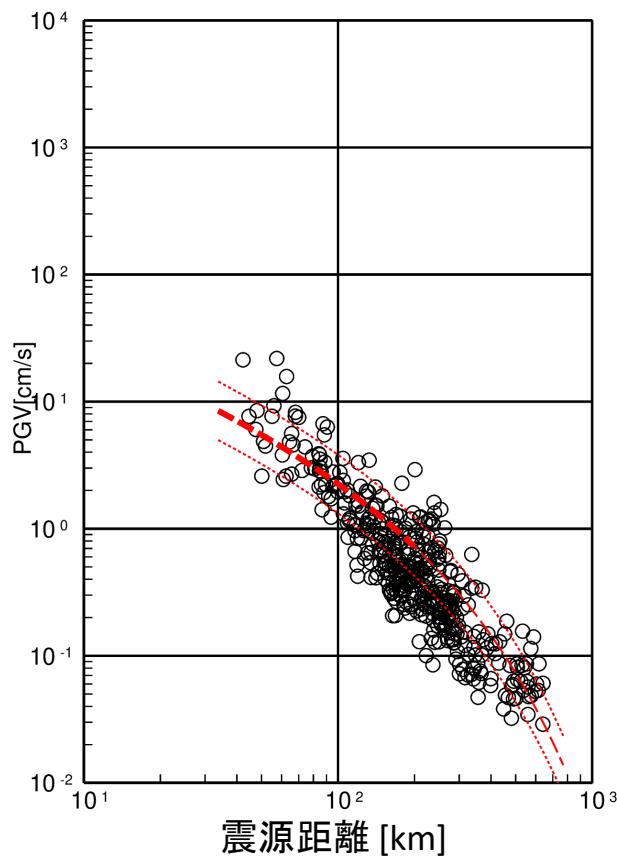
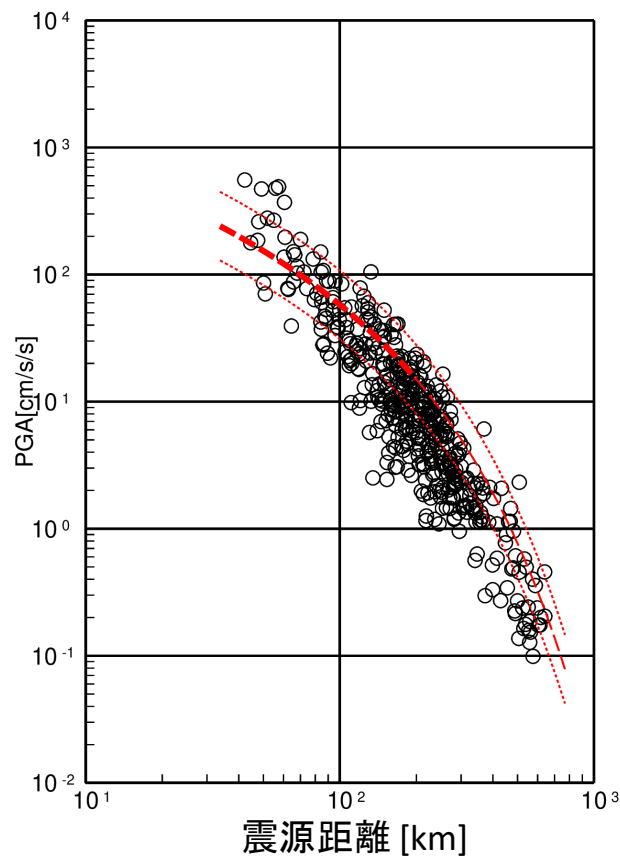
地表最大速度



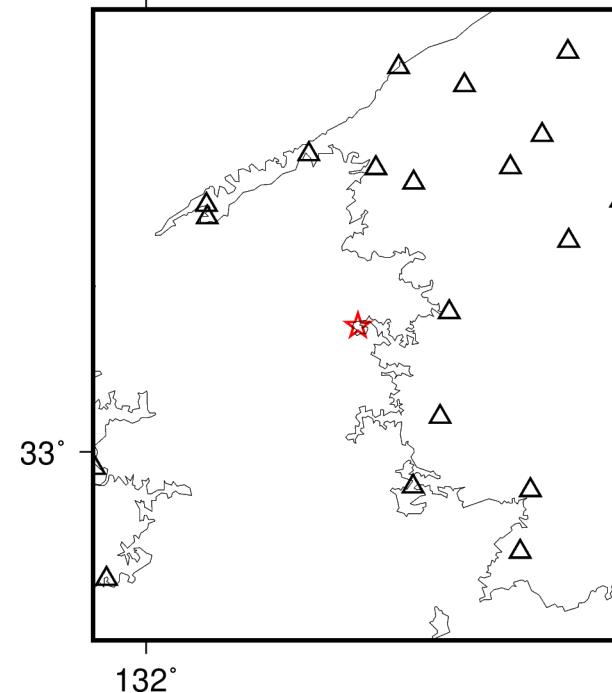
距離減衰式と観測された最大加速度、最大速度との比較

2024/04/17 23:14 深さ39km (気象庁)、 $M_W=6.2$ (F-net)

----- 司・翠川 (1999) 距離減衰式 (プレート内地震)



震源距離計算設定 (暫定)



- 震源位置 (北緯33.2°、東経132.4°、深さ39 km) を仮定して震源距離を計算

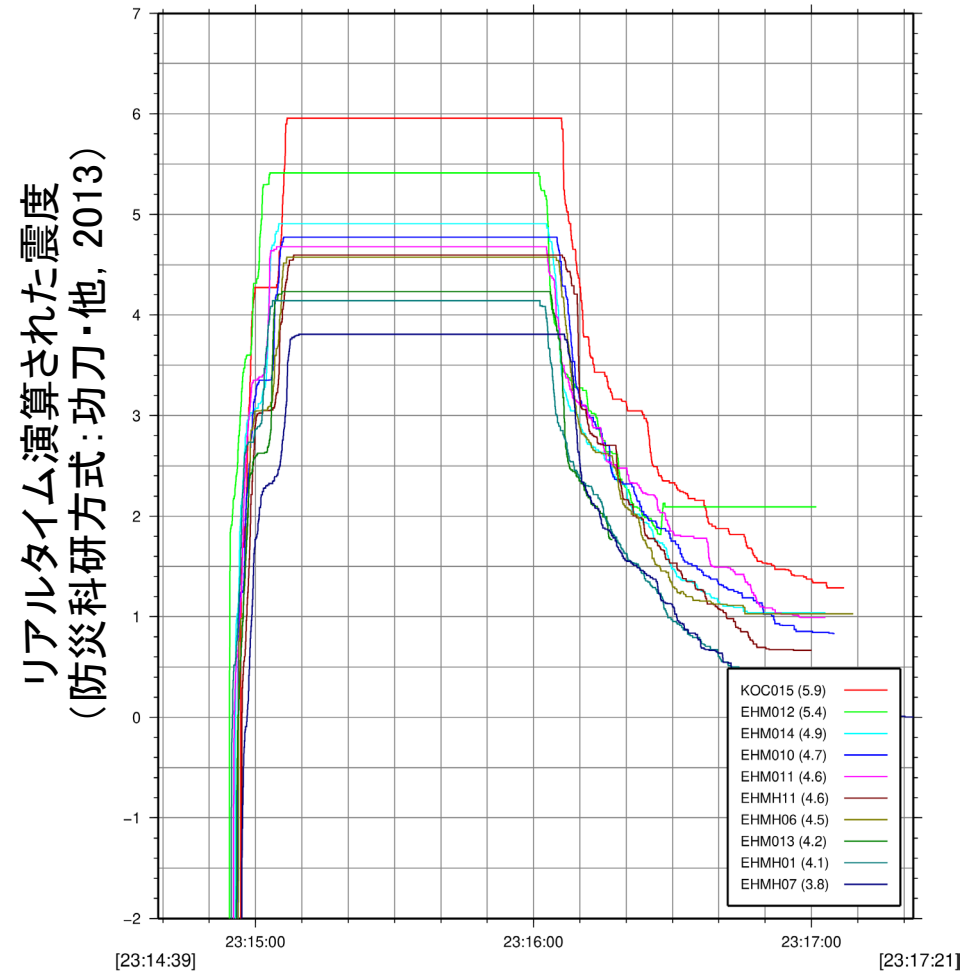
- 最大加速度、最大速度の観測値は水平2成分のうち大きい方をプロットし、最大速度については検層データから求めた補正值により $V_s=600\text{m/s}$ の「硬質地盤」上の値に換算。
- 距離減衰式 (司・翠川, 1999) は $M_W=6.2$ のプレート内地震として計算。点線は標準偏差の範囲、細線は距離減衰式導出に用いた距離範囲外への外挿を示す。

最大加速度上位10観測点

	観測点名	最大加速度	計測震度
1	K-NET宇和島(EHM012)	558 gal	5.4
2	K-NET宿毛(KOC015)	555 gal	5.9
3	KiK-net日吉(EHMH06)	502 gal	4.5
4	K-NET西海(EHM014)	489 gal	4.8
5	KiK-net大洲(EHMH11)	393 gal	4.6
6	K-NET肱川(EHM010)	331 gal	4.8
7	K-NET三崎(EHM013)	281 gal	4.2
8	K-NET八幡浜(EHM011)	261 gal	4.6
9	KiK-net河辺(EHMH07)	205 gal	3.8
10	KiK-net津島(EHMH01)	203 gal	4.0

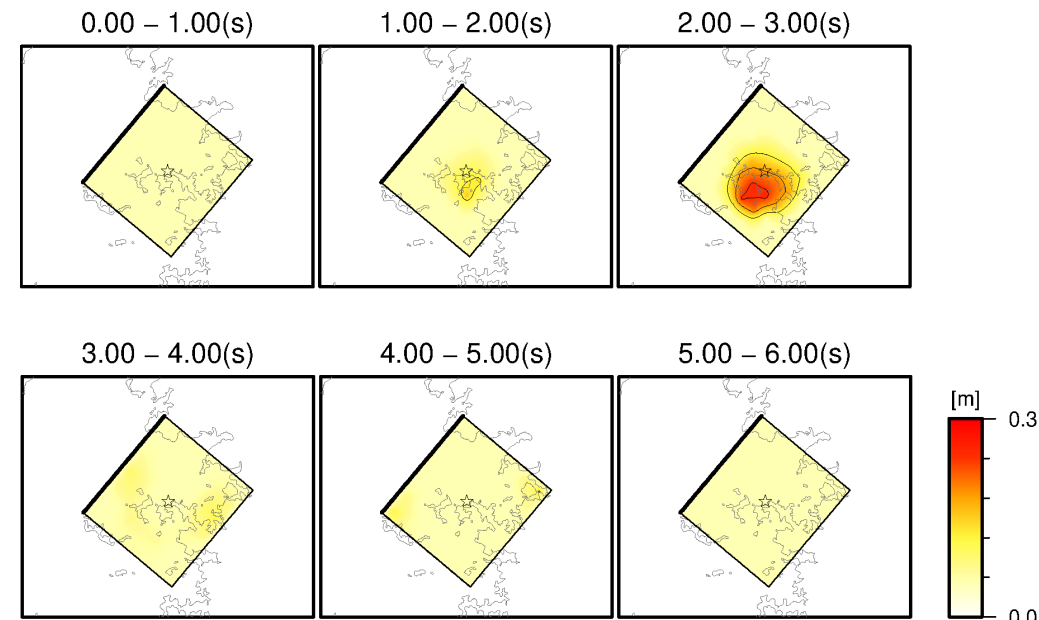
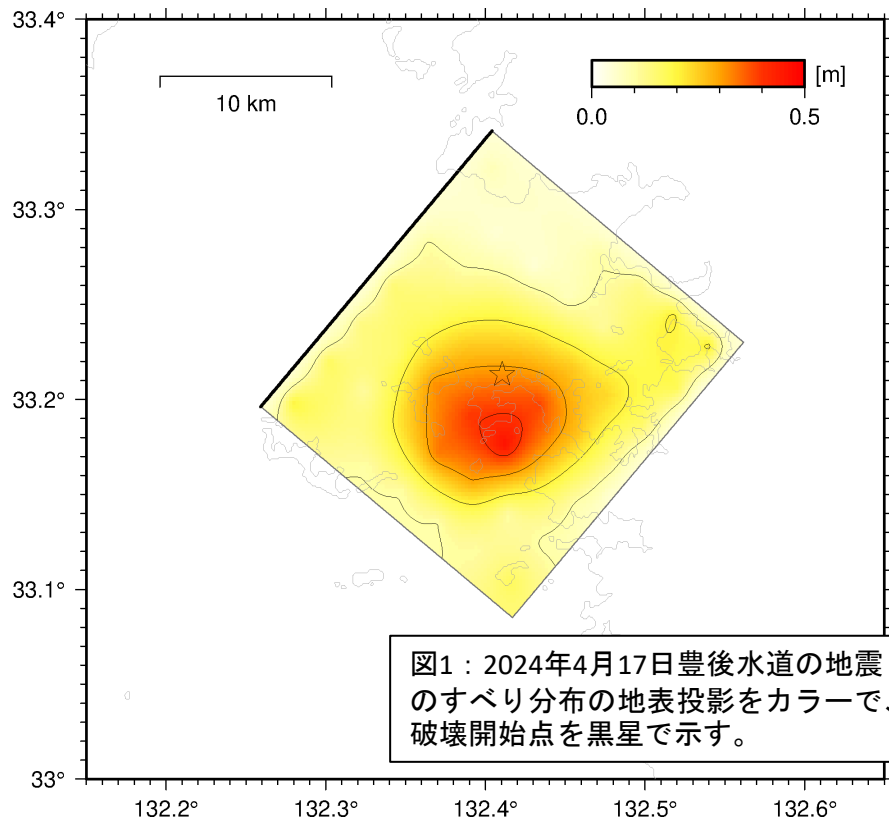
計測震度は気象庁告示に基づきトリガ波形全体より計算しており、気象庁より発表される震度と計算区間が異なる

震度の時間変化



2024年4月17日23時14分頃に豊後水道で発生した地震（Mj 6.6; 気象庁）について、強震波形記録を用いた震源インバージョン解析を行った。

- 記録：K-NET・KiK-netの15観測点における速度波形三成分のS波部分（0.1–0.5 Hz）
- 解析手法：マルチタイムウィンドウ線形波形インバージョン
（小断層3 km × 3 km、1.2秒幅のタイムウィンドウを0.6秒ずらして6個並べる）
- 断層面設定：走向40°・傾斜24°（F-net MT解による）、大きさ21 km × 21 km、破壊開始点はHi-net震源位置
*ここで設定した断層面は解析の都合上仮定したものであり、必ずしも実際の断層面を反映しているわけではないことに留意
- 推定結果： $M_0=4.2 \times 10^{18}$ Nm (M_w 6.3)、最大すべり量0.5m、Vftw 3.5 km/s
主たる破壊は破壊開始点から南の方向へ進行した。



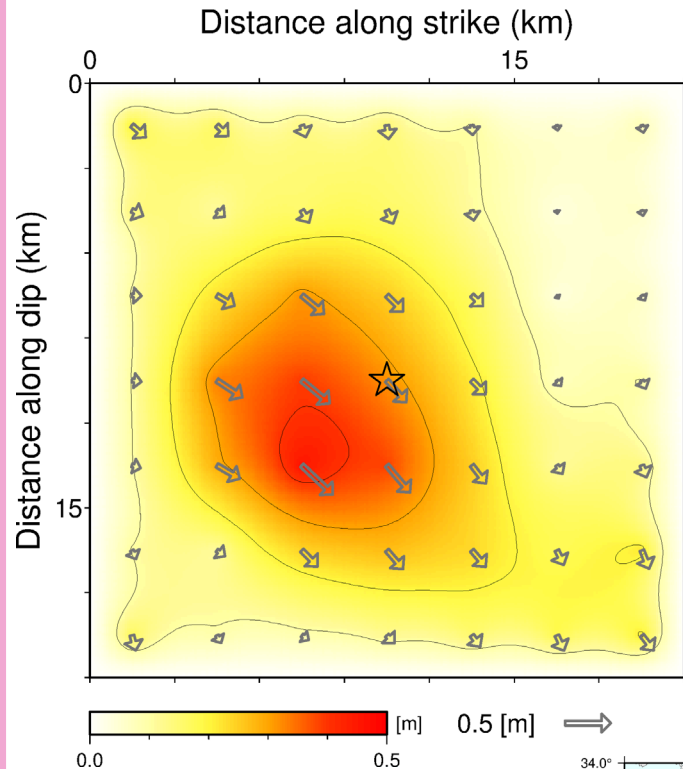


図3：断層面上の最終すべり分布図。ベクトルは上盤のすべり方向とすべり量を、星印は破壊開始点を示す。

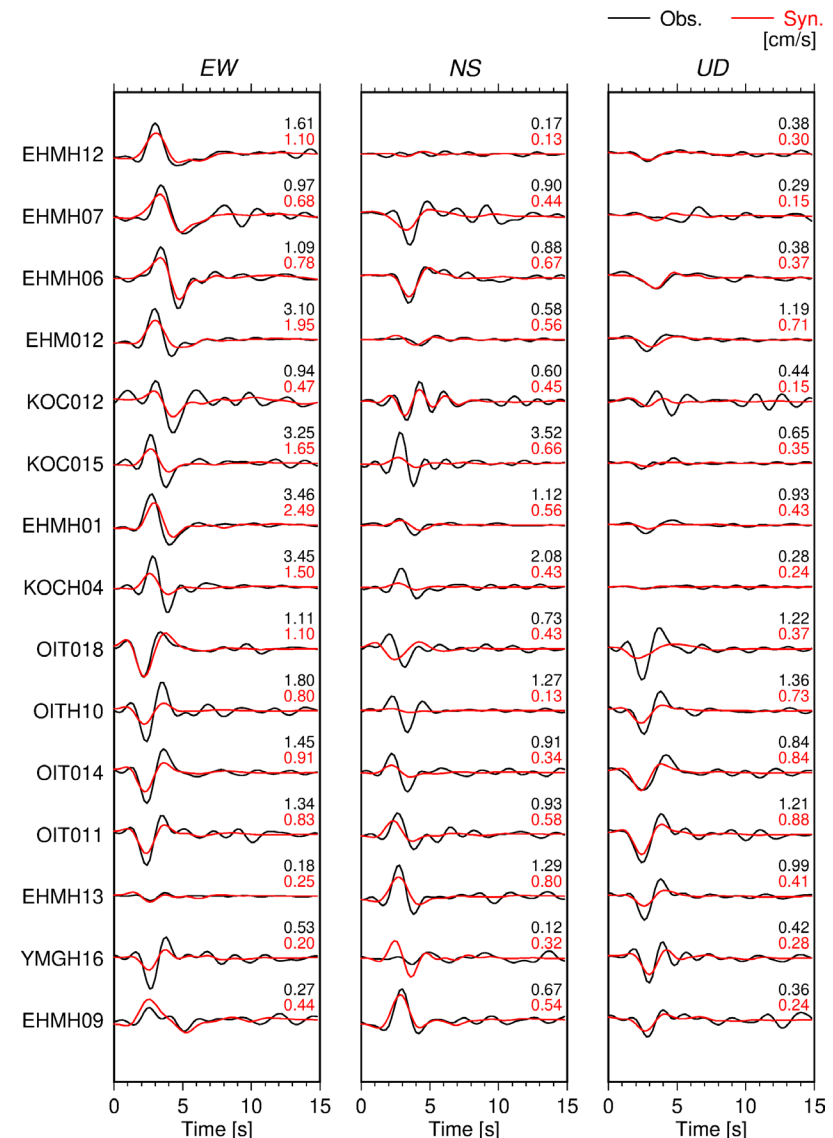


図5：観測波形（黒線）と理論波形（赤線）の比較。波形の右上にそれぞれの最大値を示す。

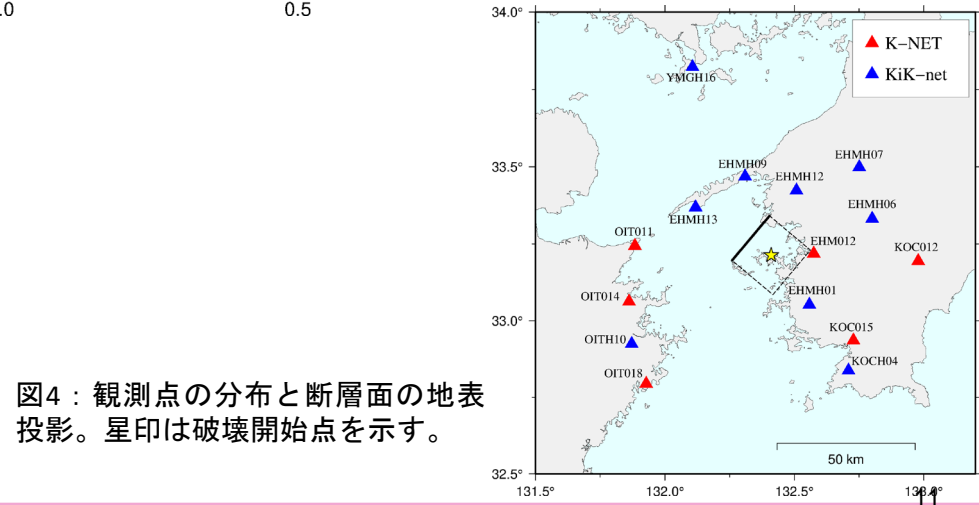


図4：観測点の分布と断層面の地表投影。星印は破壊開始点を示す。

四国の深部低周波微動活動状況 (2024年4月10～17日)

● 4月10日頃より，豊後水道から四国西部において，微動活動が開始。

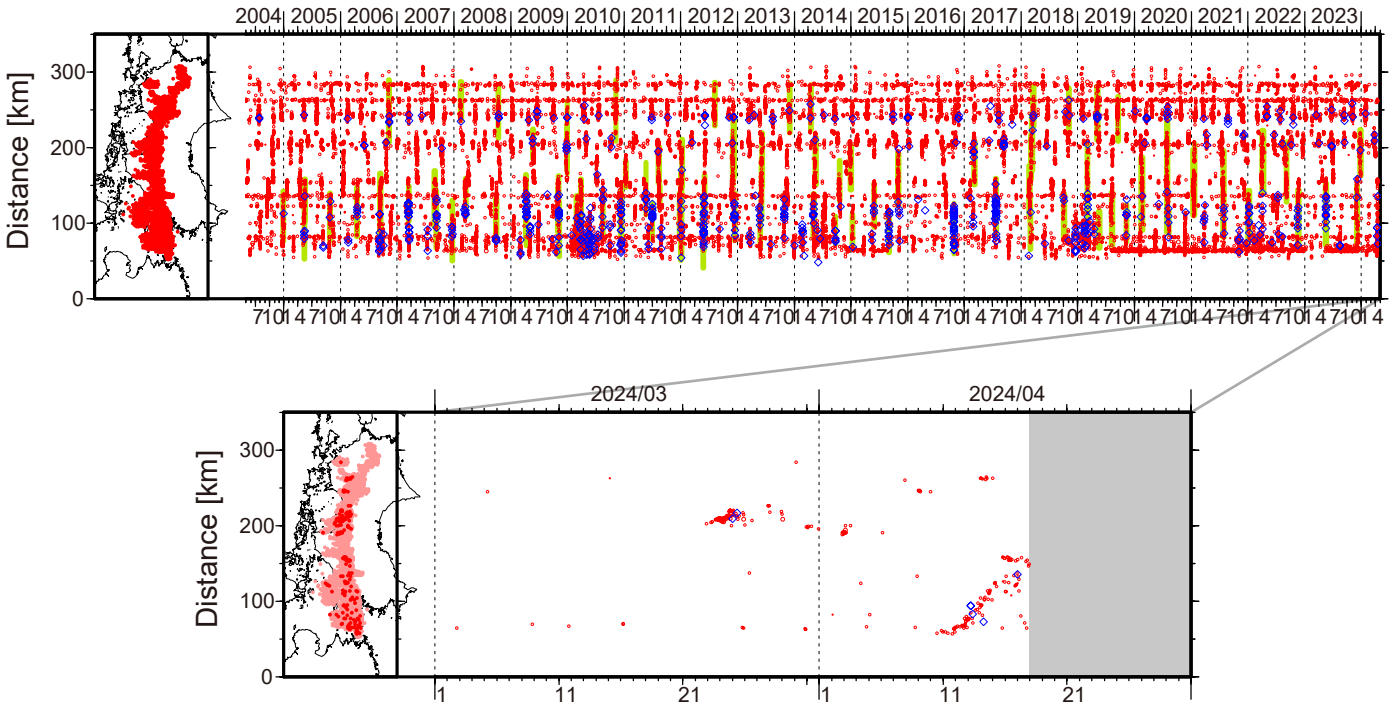


図1. 四国における2004年5月～2024年4月17日までの深部低周波微動の時空間分布（上図）. 赤丸はエンベロープ相関・振幅ハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) およびクラスタ処理 (Obara et al., 2010) によって1時間毎に自動処理された微動分布の重心である. 青菱形は周期20秒に卓越する超低周波地震 (Ito et al., 2007) である. 黄緑色太線は，これまでに検出された短期的スロースリップイベント (SSE) を示す. 下図は2024年3～4月の拡大図である. 4月10日頃から，豊後水道において微動活動が開始し，東方向への活動域の移動がみられた. 4月17日は豊後水道でも若干の活動がみられている.

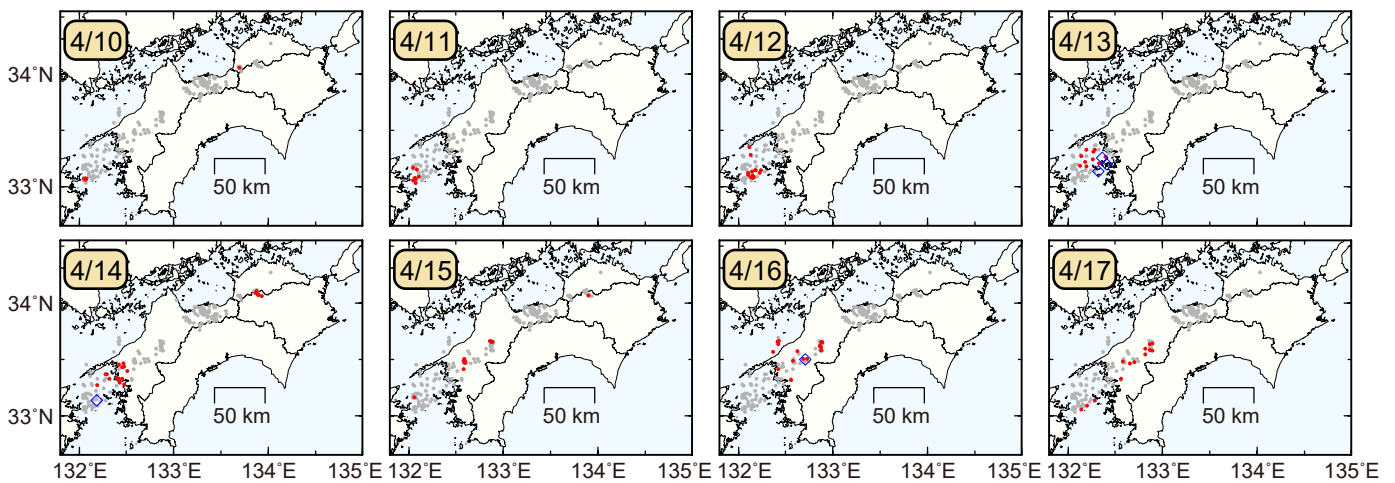


図2. 各期間に発生した微動（赤丸）および超低周波地震（青菱形）の分布. 灰丸は，図1の拡大図で示した期間における微動分布を示す.

- Hi-netの3成分合成地震波形エンベロープから、豊後水道の地震 ($M_{Hi}6.6$) 後10時間のエネルギー放射量(4-20Hz)を推定 (Sawazaki et al., 2016)
- 地震発生から10時間後の時点で、本震のエネルギー放射量に対する余震からの積算エネルギー放射量の割合は1.1%

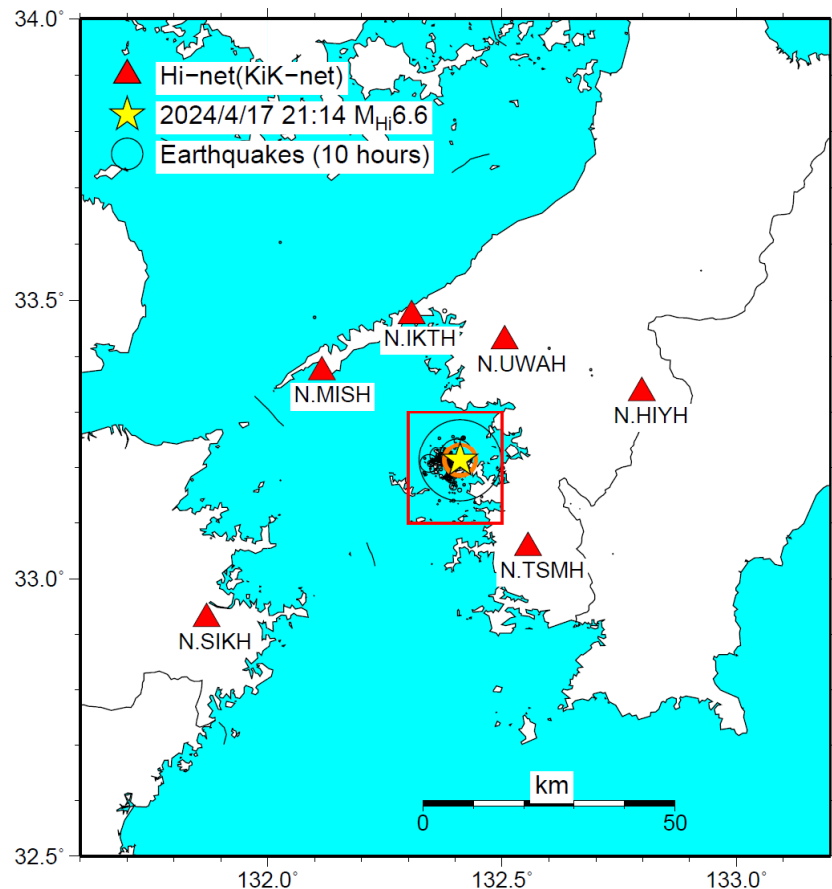


図1: Hi-net震源の分布(黒丸)、およびエネルギー放射量推定に用いたHi-net観測点(三角)。本震で飽和が見られた波形については併設のKiK-net観測記録を使用。黄星印は今回の地震の震央。エネルギー放射位置は本震の震源位置(橙丸。深さ44km)に固定。

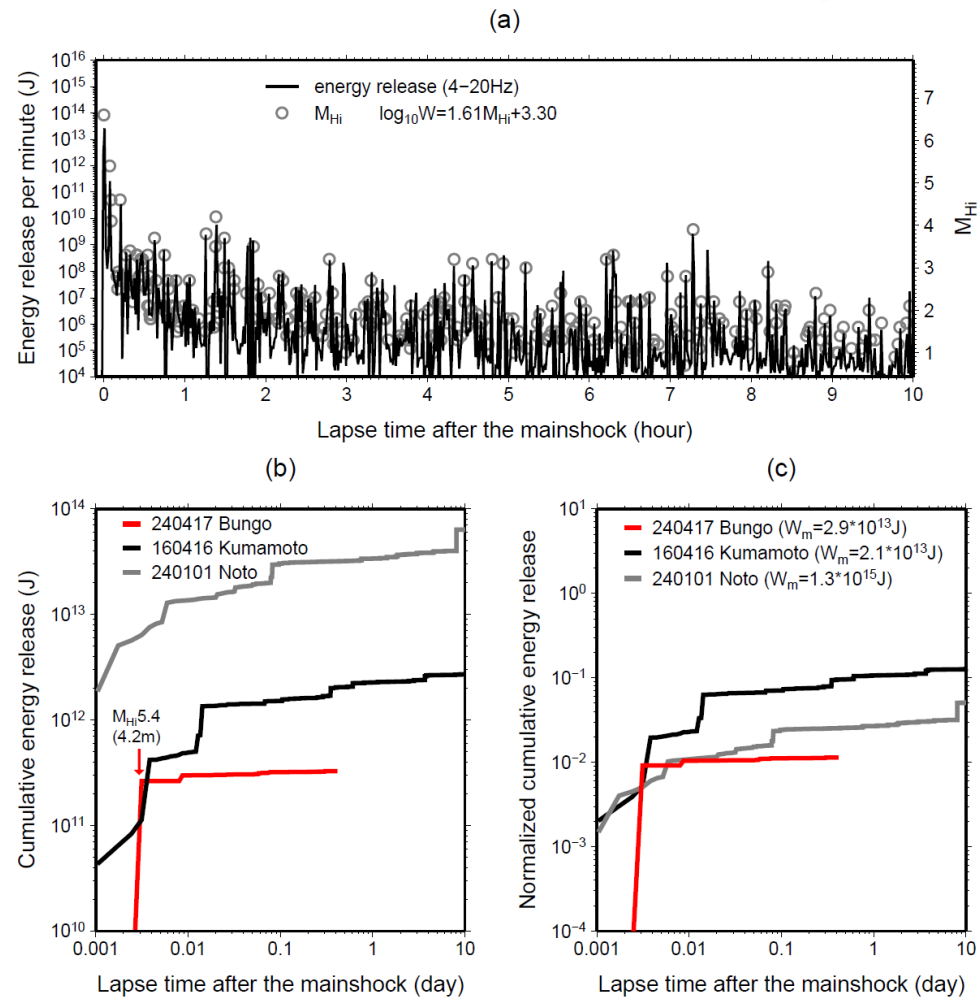


図2: (a) 黒線: 地震発生から10時間後までのエネルギー放射量 W (4-20Hz)の推移。灰色丸: Hi-net震源をもとに作成したM-T図。図中の M_{Hi} と W の関係式は、図1の赤線で囲まれた領域で発生した $1.5 \leq M_{Hi} < 4.5$ の地震について、最小二乗法により係数を推定して作成。(b) 赤、黒、灰色線は、それぞれ今回の地震、2016年熊本地震($M_{Hi}6.7$)、2024年能登半島地震($M_{Hi}7.3$)後の余震による積算エネルギー放射量(4-20Hz)の推移。(c) 相対積算エネルギー放射量(余震の積算エネルギー放射量÷それぞれの「本震」によるエネルギー放射量 W_m)の推移。

2024年豊後水道の地震：震源域周辺の地震発生状況と今後の地震発生確率

- 2024年4月17日23:14頃の地震発生から4月18日13:14頃までの約14時間に防災科研Hi-netの自動震源カタログに登録された震源情報を元に、今後の地震発生確率を予測
- 4月17日23:14頃発生の地震と同等あるいはそれ以上の規模の地震が起こる確率は、4月18日13:14頃から1日間で0.7%程度
- 地震発生から14時間後までの余震活動の**β**値は、0.87 ($\beta = b \cdot \ln 10$)

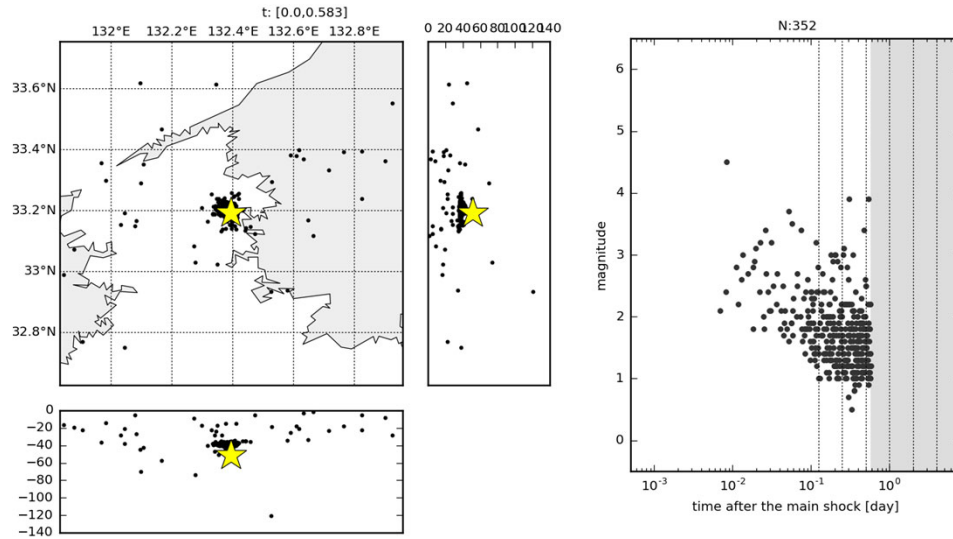


図1 左)防災科研Hi-netの自動処理により検出した余震の空間分布. 図中に示した地震活動を余震として解析に用いた. 右)解析対象地震のM-T図.

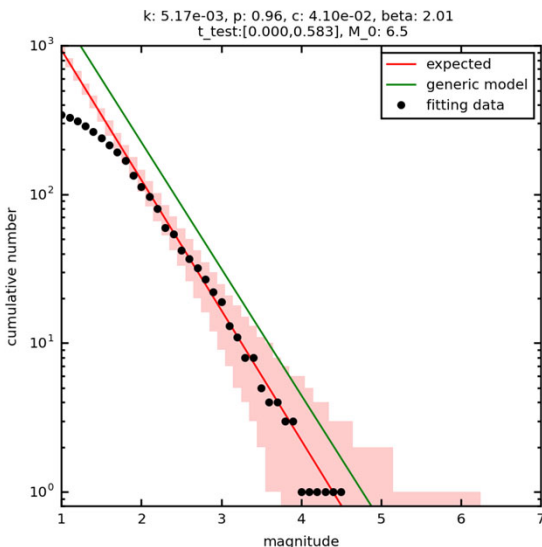
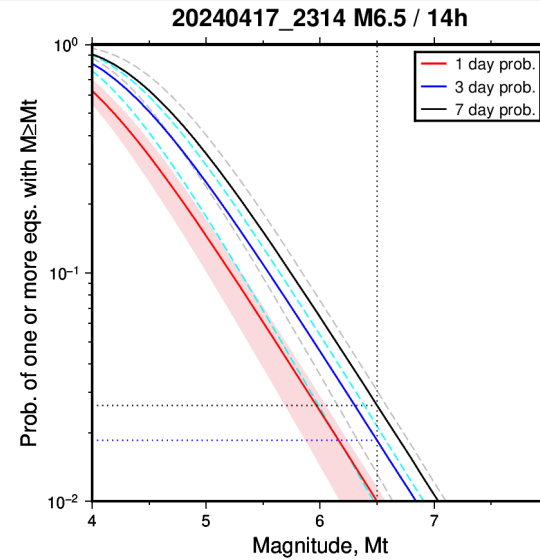


図2 最初の地震発生から約14時間後までのHi-netの自動震源カタログの規模別頻度分布(黒点)と、それに基づいて検出漏れの可能性を加味して評価したG-Rモデル(赤線)およびその95%信頼区間(Omi *et al.*, 2013; Sci. Rep.). 緑線は日本周辺域で1990年から2014年に発生した38地震の余震活動から推定されたパラメータに基づく平均的な地震活動度(Omi *et al.*, 2015; JGR).



	今後1日	今後3日	今後7日
6.0以上	1.9 %	3.5 %	5.0 %
最初の地震以上	0.7 %	1.4 %	2.0 %

図3 2024/04/18 13:14以後1, 3, 7日間における地震発生確率の予測値. 地震発生から約13時間のデータに基づく. 薄色で塗色あるいは破線で95%信頼区間を示す. 予測手法の詳細は, Omi *et al.* (2016; BSSA)による.

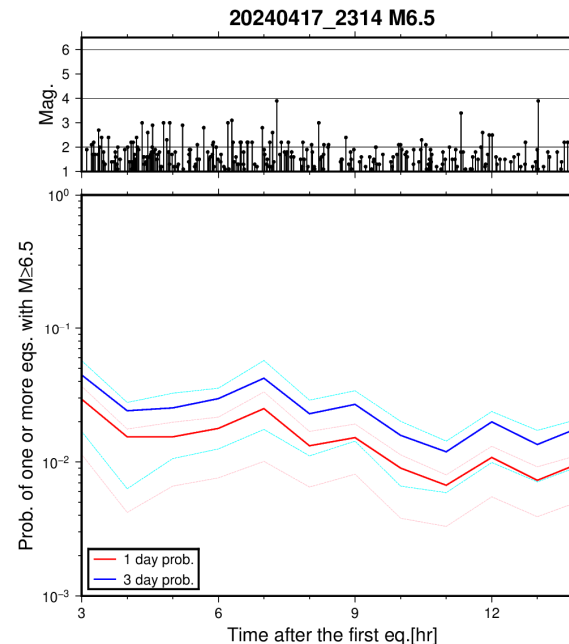


図4 予測時点以降1日及び3日以内に最初の地震と同等以上の地震が発生する確率の推移. 薄線で95%信頼区間を表す. 上段に解析対象地震のM-T図を示す.