

2018年6月18日大阪府北部の地震

西澤あずさ*・田中佐千子*・ヤノ エリザベス トモコ*・武田哲也*・澤崎 郁*・
木村武志*・浅野陽一*・鈴木 亘*・功刀 卓*・青井 真*

Northern Osaka Prefecture Earthquake on June 18, 2018

Azusa NISHIZAWA, Sachiko TANAKA, Tomoko Elizabeth YANO, Tetsuya TAKEDA, Kaoru SAWAZAKI,
Takeshi KIMURA, Yoichi ASANO, Wataru SUZUKI, Takashi KUNUGI, and Shin AOI

**Network Center for Earthquake, Tsunami and Volcano,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan
azusa@bosai.go.jp, tanaka@bosai.go.jp, t.yano@bosai.go.jp, ttakeda@bosai.go.jp, sawa@bosai.go.jp,
tkimura@bosai.go.jp, asano@bosai.go.jp, wsuzuki@bosai.go.jp, kunugi@bosai.go.jp, aoi@bosai.go.jp*

Abstract

An M_{JMA} 6.1 earthquake occurred in the northern Osaka Prefecture on June 18, 2018, causing severe damages and killing four people. Peak ground acceleration distribution, source mechanism, and aftershock activity based on the MOWLAS (Monitoring of Waves on Land and Seafloor) network data were reported immediately after the mainshock. The mainshock has the P-axis in a WNW-ESE direction and shows a combined mechanism of strike-slip fault type and reverse fault type. Precise aftershock distribution does not correspond to the known active faults in this region and indicates the existence of buried faults. The energy release of the aftershocks is significantly small compared with those of the mainshock of the 2016 Kumamoto earthquake (M_{JMA} 7.3) and the 2016 central Tottori Prefecture earthquake (M_{JMA} 6.6).

Key words: Northern Osaka Prefecture Earthquake, Seismicity, Source Mechanism, Active Faults

1. はじめに

2018(平成30)年6月18日07時58分頃に、大阪府北部の深さ13kmで気象庁マグニチュード(M_{JMA})6.1の地震が発生し、大阪府大阪市北区、高槻市、枚方市、茨木市、箕面市で震度6弱、大阪府および京都府内における18の市区町村で震度5強を観測した。この地震により、死者4人、負傷者434人、住家全壊9棟、住家半壊87棟、一部破損27,000棟以上、火災7件の他、停電、ガス供給支障、断水などライフラインの被害も発生した(2018年7月5日18時00分現在、内閣府のとりまとめによる)。

地震津波火山ネットワークセンターでは、陸海

統合地震津波火山観測網(MOWLAS: Monitoring of Waves on Land and Seafloor)により観測されたデータを迅速に解析し、地震発生当日に開催された政府の地震調査委員会(臨時会)への資料提出や防災科研ホームページでの情報発信を行った。本稿では、これまでに当センターが提供した情報について取りまとめる。

2. 地震活動の概要

強震観測網であるK-NET・KiK-netにおいて取得された、それぞれ298点、237点、合計535点の強震記録をインターネット上で公開した。図1には、

* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター

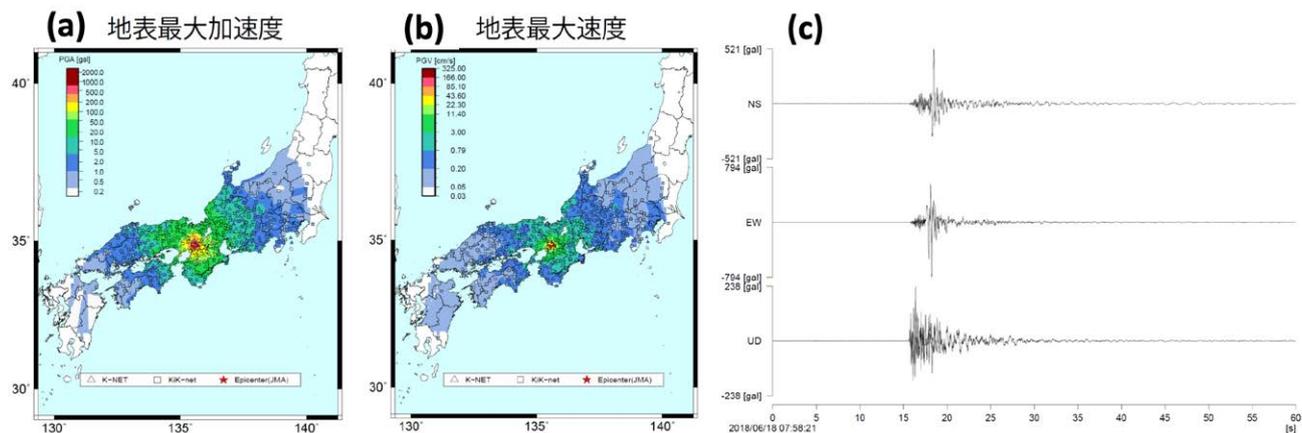


図1 K-NET・KiK-netで記録された (a) 最大加速度, (b) 最大速度分布. (c) K-NET・KiK-net 観測点の中で最大加速度(806 gal, 三成分合成値)を記録した K-NET 高槻(OSK002)観測点の強震動波形
 Fig. 1 (a) Distribution of peak ground acceleration (PGA), (b) peak ground velocity observed by K-NET and KiK-net. (c) Waveforms observed at K-NET Takatsuki (OSK002), whose PGA is the largest among K-NET and KiK-net (806 gal).

これらの観測データから明らかになった強震動分布図を示す。K-NET・KiK-netで記録された最大加速度は OSK002 (K-NET 高槻) 観測点の 806 gal (三成分合成値)であった。

M_{JMA} 6.1 の震源域を取り囲む領域の地震活動の変化については、高感度地震観測網 (Hi-net) により求められた震源分布と $M-T$ 図が 15 分ごとに更新されて、6 月 18 日の夕刻から Hi-net のホームページやクライシスレスポンスサイトを通して情報提供された。図 2 にはホームページに掲載した情報の例として、 M_{JMA} 6.1 の地震発生時を含む 90 日間の震源分布と $M-T$ 図を示す。

M_{JMA} 6.1 の地震およびその後約 10 日間の地震活動について、Hi-net により求められた初動解の分布 (防災科学技術研究所, 2019a) を図 3 に示す。 M_{JMA} 6.1 の地震の初動解は西北西-東南東方向に圧縮軸をもつ逆断層型である。一方で、広帯域地震観測網 F-net で取得された波形記録から推定されたモーメントテンソル解は単純な 4 象限型を示さない。本震は、逆断層型と横ずれ断層型がそれぞれのエネルギー比 1:3 で発生したと考えるとその発震機構解を説明できる (Yano *et al.*, 2018: 武田, 2018)。余震活動は、東西約 5 km, 南北約 5 km にわたって分布し、逆断層型と横ずれ断層型が混在している。逆断層型の地震は主に M_{JMA} 6.1 の地震の北側で発生し、横ずれ断層型の地震は活動域全域にわたって発生していることがわかった。

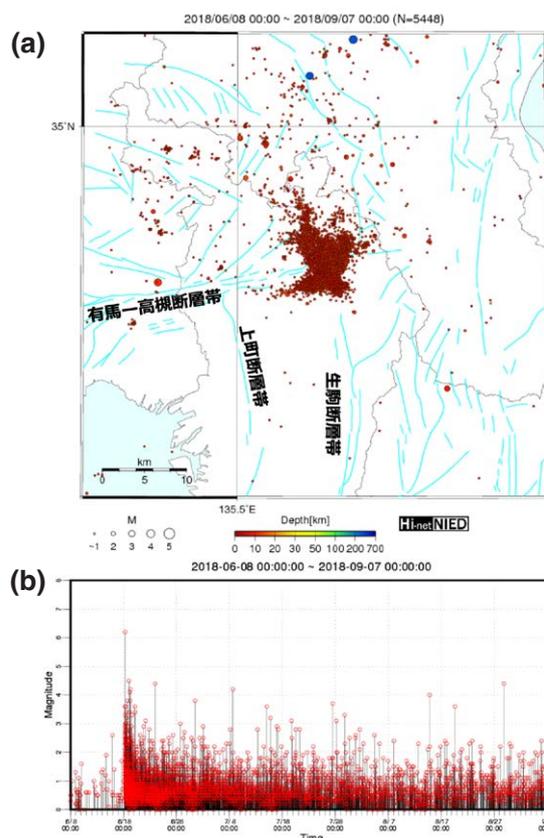


図2 Hi-net 自動処理による M_{JMA} 6.1 の地震発生時を含む 90 日間の震源分布図 (a) と $M_{Hi-net}-T$ 図 (マグニチュード-時間分布図) (b).
 Fig. 2 (a) Hypocenter distribution for 90 days including the mainshock of M_{JMA} 6.1. The hypocenter locations were automatically determined and updated at an interval of 15 min. (b) Hi-net magnitude-time plot.

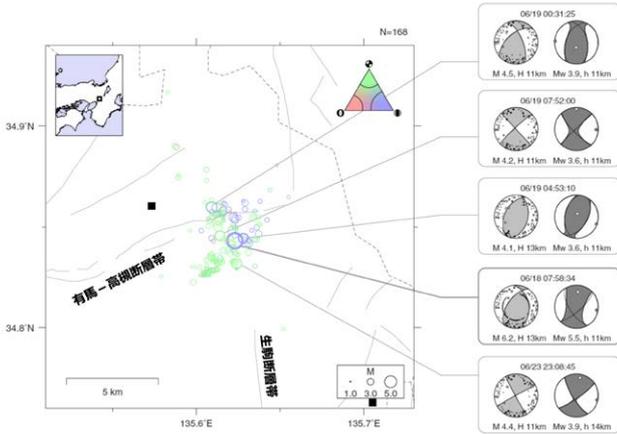


図3 Hi-netによる初動解(2018年6月18-29日)の分布. スコア(岡田, 1998) 20以上の初動解について, 発震機構解の三角ダイアグラム(Frohlich, 1992)に従い, 断層のタイプごとに色分けして示す. 黒四角は観測点, 実線は活断層, 破線は県境を表す. 右側には, $M_{\text{Hi-net}} \geq 4.0$ の地震について, Hi-netによる初動解およびF-netによるモーメントテンソル解を示す.

Fig. 3 Distribution of Hi-net first-motion focal mechanisms of the northern Osaka Prefecture earthquake and its aftershocks from June 18 to 29, 2018. Only focal mechanisms with scores (Okada, 1998) of 20 or greater are shown, which are colored according to the fault type classification using a triangle diagram (Frohlich, 1992) at the top right corner. Squares, solid lines and broken lines denote the stations used in the focal mechanism determination, active faults, and borders between prefectures, respectively. The Hi-net first-motion focal mechanisms and F-net moment tensor solutions of the aftershocks with $M_{\text{Hi-net}} \geq 4.0$ are also shown on the right.

3. 精密な余震分布と活断層

地震が発生した大阪府北部地域は活断層が密集する地域であり, 南北走向で東傾斜の断層帯と東西走向でより高角北傾斜の断層帯が分布する. 南北走向の上町(うえまち)断層帯, 生駒断層帯は東側隆起成分を持つ逆断層であり, 活動度の高い東西走向の有馬-高槻断層帯は右ずれ北側隆起の断層帯で並走あるいは分岐する多くの断層線からなる(地震調査推進本部 2001a, 2001b, 2004). これらの活断層と地震活動との関係を調べるために, 波形相関データを用いた Double-Difference 法 (DD 法, Waldhauser and Ellsworth, 2000) による精密震源再決定を行い, 詳細な震源分布を求めた(図4). 本震震源域付近の深さ 40 km 以浅の地震について Hi-net (自動処理を含む) の震源を, ルーチン震源決定に使用されている一次元構造(鶴川ほか, 1984)を用いて再決定した(防災科学技術研究所, 2019b; Yano *et al.*, 2018). 図4に

は地震前(2000年-2012年12月)の期間(Yano *et al.*, 2017)と本震発生日以降(2018年6月18-30日)2期間の震央分布を示している. 余震活動は本震の震源の北側と南側とでは特徴が異なり, 北部ではばらつきは大きいがほぼ東傾斜の面状に分布しているように見える. 一方, 南部では南東に高角度の傾斜を持つ面状に分布している. いずれの面も, 既知の活断層分布との一致は見られない. 本震の震源は余震域の最深部付近に位置しており, 余震活動は本震を含む約 10 km の範囲内で活発であった.

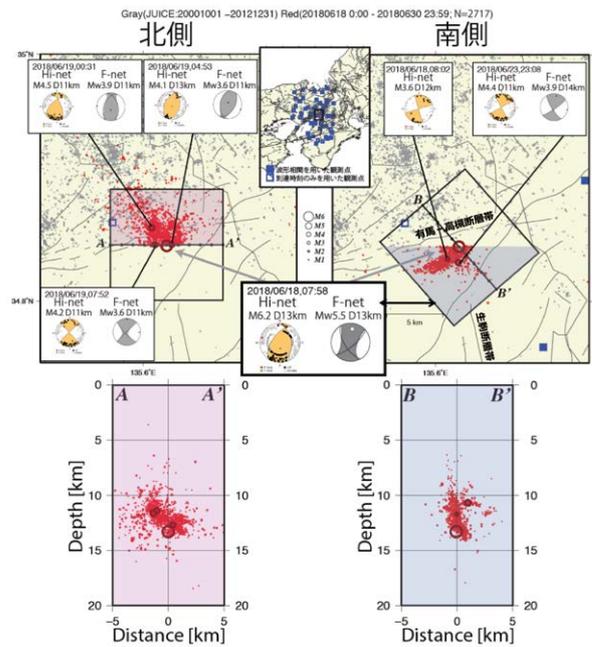


図4 (上図) DD 法により精密震源再決定した 2018 年大阪府北部の地震の震源周辺における震央分布. 灰色の点は地震前の 2000 - 2012 年 12 月, 赤点は地震後の 2018 年 6 月 18 - 30 日の期間に発生した地震を示す. 本震および主な余震の発震機構解として, Hi-net データによる初動解と F-net のモーメントテンソル解を合わせて示す. (下図) 本震および余震の震源分布の深度断面図. 震源域を北部と南部に分けて, それぞれ左右に示す.

Fig. 4 (Top) Epicenters are relocated by the DD method. Earthquakes that occurred during June 18-30, 2018 and during 2000-2012 are indicated by red dots and grey dots, respectively. The Hi-net first-motion focal mechanisms and F-net moment tensor solutions of the mainshock and major aftershocks are also shown. (Bottom) The mainshock and aftershock distributions, within the same color-shaded region as the top figure, of the vertical depth cross-section are shown; northern region and southern region are on the left panel and the right panel, respectively.

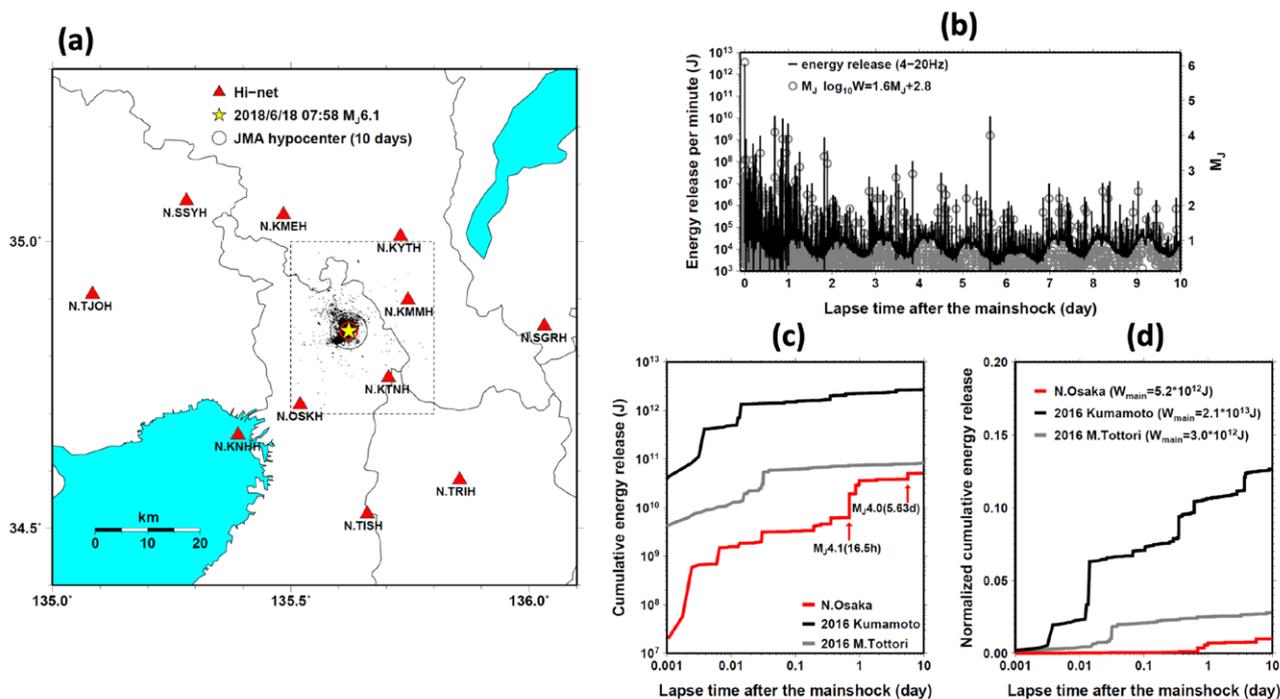


図5 (a) 気象庁一元化処理震源に基づく本震の位置(星印), および本震後10日間に発生した地震(黒丸)の震源分布. 赤丸印は設定したエネルギー輻射点の位置(深さ13.0 km)を示す. (b) 本震発生後10日間の4-20 Hz帯域のエネルギー輻射量の推移および気象庁マグニチュードに基づく $M_{JMA}-T$ 図. (c) 本震発生直後からの4-20 Hz帯域の積算エネルギー輻射量の推移. 赤, 黒, 灰色の線はそれぞれ大阪府北部の地震, 2016年熊本地震の本震, および2016年鳥取県中部の地震に伴い発生した余震による積算エネルギー輻射量. (d) 図(c)の積算エネルギー輻射量をそれぞれの「本震」によるエネルギー輻射量で規格化した相対積算エネルギー輻射量(NCER)の推移

Fig. 5 (a) Location of the JMA unified hypocenter of the mainshock (star) and its aftershocks occurring within 10 days (black circles). A red circle represents the energy release point (depth: 13.0 km) used for the analysis. (b) Time-lapse change in the 4-20 Hz energy release rate and the $M_{JMA}-T$ plot. (c) Cumulative 4-20 Hz energy release by the aftershocks for each of the northern Osaka Prefecture earthquake (red), mainshock of the 2016 Kumamoto earthquake (black), and the 2016 central Tottori Prefecture earthquake (grey). (d) Same to Fig. (c) except that the cumulative energy releases are normalized by the energy release from their “mainshock” (Normalized Cumulative Energy Release; NCER).

4. 余震活動のエネルギー輻射

連続地震波形エンベロープ解析から得られた4-20 Hz帯域のエネルギー輻射量を推定することによって, M_{JMA} 6.1の地震発生後の地震活動の特徴を調べた(防災科学技術研究所, 2019c).

Hi-net地震観測点(赤三角)の速度波形記録に4-20 Hz帯域のバンドパスフィルタを施し, 3成分波形を2乗和して1秒ごとに平均値をとり, 密度2,800 kg/m³を乗じてエネルギー密度の次元をもつエンベロープを作成した. また, コーダ波規格化(Phillips and Aki, 1986)を用いて, N.OSKH観測点を基準点とするサイト増幅補正を行った. 本解析では強震動による波形の飽和は顕著には見られなかった. 得られた地震波形エンベロープにエンベロープインバージョン解析(Sawazaki *et al.*, 2016)を

施し, エネルギー輻射量の時間変化を推定した. エネルギー輻射点は本震発生位置(図5a中赤丸)の深さ13.0 kmに固定した. 解析に使用した各種パラメータは, $V_p = 5.1$ km/s, $V_s = 3.0$ km/s, 散乱係数 $g_0 = 1.0 \times 10^{-2}$ km⁻¹, 内部減衰 $Q_i^{-1} = 1.2 \times 10^{-3}$, ガウス型ランダム不均質媒質の速度揺らぎ強度 $\varepsilon = 0.119$, 相関距離5 kmと設定した. 図5bに, 4-20 Hz帯域でのエネルギー輻射量の推移と気象庁マグニチュードに基づく $M-T$ 図を示す. エネルギー輻射量 W と M_{JMA} との関係は $\log W = 1.6 M_{JMA} + 2.8$ (Sawazaki *et al.*, 2016)としている. 本震発生から10日以内では M_{JMA} 4.0以上の地震は2回発生しており, 最大余震は本震の16.5時間後に発生した M_{JMA} 4.1の地震である. 本震に対する最大余震によるエネルギー輻射量の割合はおよそ0.25%である. 図5c, 図5d

に、余震による積算エネルギー輻射量と、同量を本震によるエネルギー輻射量(大阪府北部の地震の場合 5.2×10^{12} J)で規格化した値(NCER: Normalized Cumulative Energy Release)の推移をそれぞれ示す。本震発生から10日後までの余震による積算エネルギー輻射量は、本震のエネルギー輻射量の0.99%である。この割合は2016年熊本地震の本震(M_{JMA} 7.3, 13%)や2016年鳥取県中部の地震(M_{JMA} 6.6, 2.8%)よりも小さく、相対的に余震活動は低調だったといえる。

5. おわりに

M_{JMA} 6.1という地震の規模はさほど大きくはなかったが、都市直下型地震であったため、4名の犠牲者を出すなど被害は甚大であった。地震発生直後に得られた精密な震源分布は、既知の活断層ではなく地表に表れていない断層が活動したものであることを示した。震源域近傍は多くの活断層が存在することが知られていたが、そのような地域でもまだ見つからない断層による被害を及ぼす地震が発生しうることを忘れてはならない。

謝辞

解析には、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、産業技術総合研究所、気象庁のデータを使用しました。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 防災科学技術研究所(2019a) : 2018年6月18日大阪府北部の地震 : 初動解の分布. 地震予知連絡会会報, **101**, 298-299.
- 2) 防災科学技術研究所(2019b) : Double-Difference法による2018年6月18日大阪府北部の地震の震源分布. 地震予知連絡会会報, **101**, 300-301.
- 3) 防災科学技術研究所(2019c) : 2018年6月18日大阪府北部の地震による高周波エネルギー輻射量. 地震予知連絡会会報, **101**, 302-304.
- 4) Frohlich, C. (1992) : Triangle diagrams: ternary graphs to display similarity and diversity of earthquake focal mechanisms. *Phys. Earth Planet. Interiors*, **75**, 193-198.
- 5) 地震調査研究推進本部(2001a) : 有馬－高槻断層帯の評価, https://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/76_arima-takatsuki.pdf, 2019年3月28日照会.
- 6) 地震調査研究推進本部(2001b) : 生駒断層帯の評価, https://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/77_ikoma.pdf, 2019年3月28日照会.
- 7) 地震調査研究推進本部(2004) : 上町断層帯の評価, https://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/80_uemachi.pdf, 2019年3月28日照会.
- 8) 内閣府(2018) : 大阪府北部を震源とする地震に係る被害状況等について, http://www.bousai.go.jp/updates/h30jishin_osaka/pdf/300705_jishin_osaka_01.pdf, 2019年3月12日照会.
- 9) Sawazaki, K., Nakahara, H., and Shiomi K. (2016) : Preliminary estimation of high-frequency (4-20 Hz) energy released from the 2016 Kumamoto, Japan, earthquake sequence, *Earth Planets and Space*, **68**, 183.
- 10) 武田哲也(2018) : 逆断層型と横ずれ断層型が混在する大阪府北部の地震. 防災科研ニュース, **203**, 4-5.
- 11) 岡田義光(1988) : 震源計算・発震機構解計算プログラムの改良. 国立防災科学技術センター研究報告, **41**, 153-162.
- 12) Phillips, W., and Aki K. (1986) : Site amplification of coda waves from local earthquakes in central California. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **76**(3), 627-648.
- 13) 鶴川元雄・石田瑞穂・松村正三・笠原敬司(1984) : 関東・東海地域地震観測網による震源決定方法について. 国立防災科学技術センター研究速報, **53**, 1-88.
- 14) Waldhauser, F. and Ellsworth, W. L. (2000) : A Double-difference Earthquake location algorithm: Method and application to the Northern Hayward Fault, California. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **90**, 1353-1368.
- 15) Yano, T. E., Takeda, T., Matsubara, M., Shiomi, K. (2017) : Japan Unified high-resolution relocated catalog for earthquakes (JUICE): Crustal seismicity beneath the Japanese Islands. *Tectonophysics*, **702**:19-28. doi: 10.1016/j.tecto.2017.02.017
- 16) Yano, T. E., Kimura, T., Tanaka, S., Takeda, T., and

Aoi, S. (2018) : Detailed seismicity and two-fault system of the event at northern Osaka on June 18, 2018. 日本地震学会講演予稿集 2018年秋季大会, S24-02.

(2019年7月16日原稿受付,
2019年9月9日改稿受付,
2019年9月10日原稿受理)

要 旨

2018年6月18日午前07時58分頃に大阪府北部の深さ13 kmで発生したマグニチュード(M_{JMA})6.1の地震は、4名の死者を出すなど大きな被害をもたらした。地震津波火山ネットワークセンターでは、陸海統合地震津波火山観測網(MOWLAS)で取得されたデータを直ちに解析し、本地震による最大加速度分布、発震機構、余震活動などに関する情報を政府の地震調査委員会や一般向けにホームページを通して提供した。本震の圧縮軸の方向は西北西-東南東で、本震は横ずれ断層型と逆断層型のタイプの異なる2つの地震がほぼ同時に発生した複雑なメカニズムを持ち、余震分布は既知の活断層とは対応していないことを示した。また、余震活動のエネルギー輻射は、2016年熊本地震の本震(M_{JMA} 7.3)や2016年鳥取県中部の地震(M_{JMA} 6.6)に比べて有意に小さいことなどがわかった。

キーワード : 大阪府北部の地震, 地震活動, 震源メカニズム, 活断層