

12 - 15 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震に伴う地震活動による高周波エネルギー輻射過程

High-frequency energy release from the 2016 Kumamoto Earthquake sequence

防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

2016 年 4 月 14 日 21 時 26 分頃、熊本県熊本地方の深さ 11 km 付近を震源とする $M_{JMA}6.5$ の地震が発生した。この地震は活発な余震活動を伴い、28 時間後の 4 月 16 日 1 時 25 分頃に、同地方で $M_{JMA}7.3$ の地震が発生した。以下、この二つの地震をそれぞれ前震、本震と呼ぶ。本震直後から、熊本県阿蘇地方および大分県でも大規模な地震活動が誘発され、北東 - 南西方向に 100 km 以上にわたり地震活動域が広がった。本稿では前震発生から本震後にかけての一連の地震活動について、Hi-net の連続地震波形エンベロープ解析から得られた 4-20Hz 帯域のエネルギー輻射量推定結果を報告する。

解析に先立ち、図 1 に示す Hi-net 観測点 (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かけ、3 成分波形を 2 乗和して 1 秒ごとに平均値をとり、密度 2800 kg/m^3 をかけ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、コーダ波規格化法¹⁾を用いて、N.KHKH 観測点を基準点とするサイト増幅補正を行った。この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²⁾を施し、エネルギー輻射量の時空間変化を推定した。設定したエネルギー輻射点を図 1 中に赤丸で示す。エネルギー輻射点の深さは 10 km に固定した。解析に使用した各種パラメータは、既往研究および余震記録の特徴を吟味した上で、 $V_p=6.1 \text{ km/s}$ 、 $V_s=3.522 \text{ km/s}$ 、散乱係数 $g_0=1.0 \times 10^2 \text{ km}^{-1}$ 、内部減衰 $Q_i^{-1}=1.2 \times 10^3$ 、速度揺らぎ強度 $\epsilon=0.119$ 、相関距離 5 km と定めた。

図 2 に 4-20 Hz 帯域のエネルギー輻射量分布のスナップショットを気象庁一元化震源 (青丸) と合わせて示す。foreshock および mainshock は、それぞれの地震発生から 50 秒間のエネルギー輻射量分布を、その他の図は図上に示した期間におけるエネルギー輻射量分布を示す。気象庁一元化震源に基づく地震活動が最も集中するのは前震および本震の破壊開始点周辺であるが、阿蘇山周辺や大分県などでも本震後大きめの地震が断続的に発生し、強いエネルギーを放出している。本震時に大分県で強いエネルギー輻射が見られるのは、本震の約 30 秒後に誘発された地震によるものである。

図 3a には、4-20 Hz 帯域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。単位時間当たりのエネルギー輻射率は次第に減少しているが、前震発生から 12 日後の時点でも依然として地震活動は活発である。エネルギー輻射率の減衰が経過時間のべき乗に反比例すると仮定してべき乗指数を求めたところ、前震 - 本震間の 28 時間および本震後の 10 日間のいずれについても、経過時間の約 2 乗に反比例して減衰した。図 3b は前震と本震発生時のエネルギー輻射率を拡大して示したものである。積算エネルギー輻射量は前震 $1.1 \times 10^{13} \text{ J}$ 、本震 $2.2 \times 10^{14} \text{ J}$ であり、本震は前震よりも 1 桁以上強いエネルギーを輻射している。本震発生の約 30 秒後から見られる 2 発目のエネルギー輻射は、本震直後に大分県で誘発された地震によるものである。

このエネルギー輻射量推定法は、解析の都合上、実際には地震が起こっていない領域や時間にもエネルギー輻射が染み出る場合がある。また、特に強い地震時には Hi-net 記録の飽和により正確なエネルギー輻射推定ができていない可能性がある。

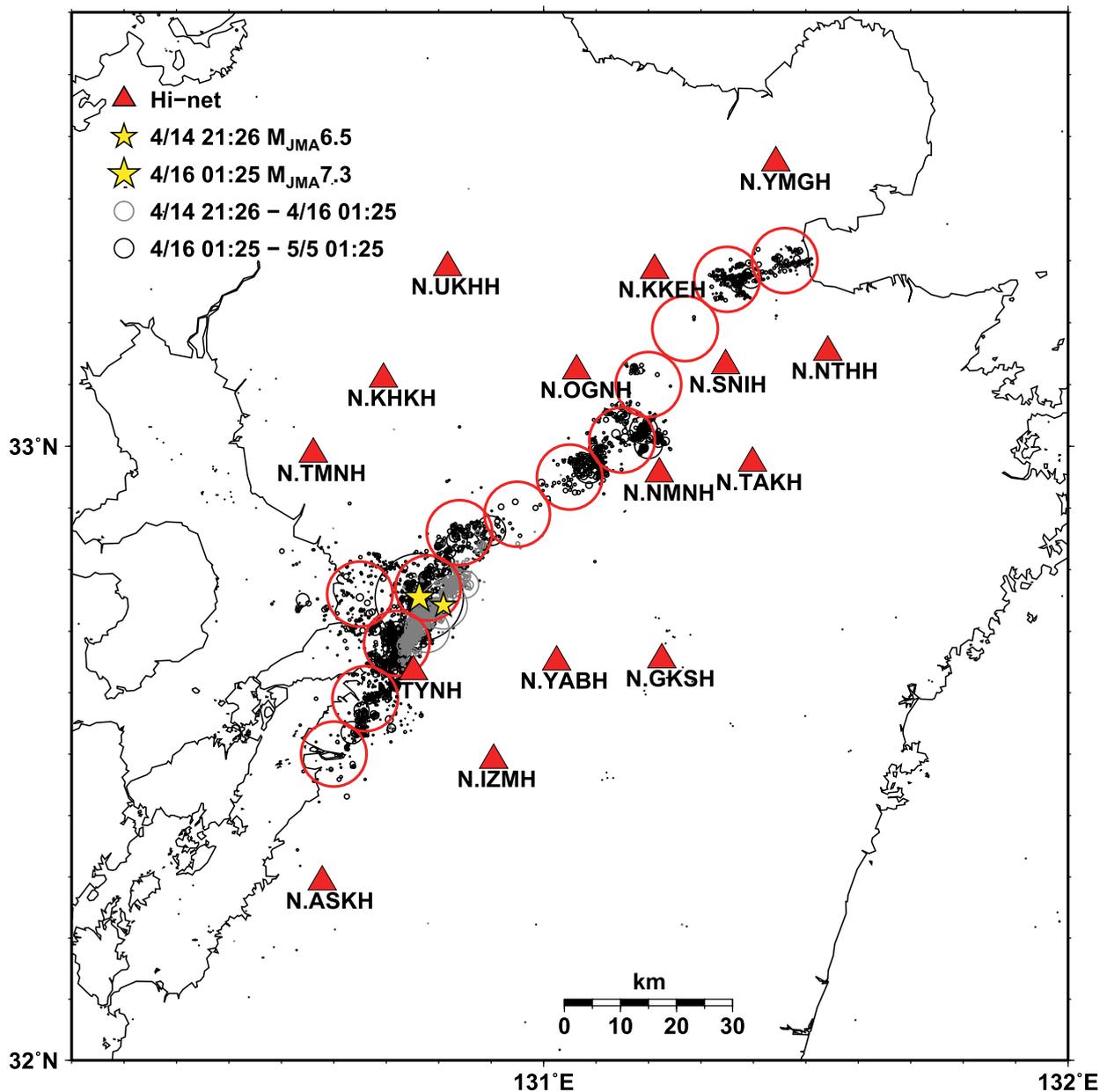
(澤崎 郁)

参考文献

- 1) Phillips, W., and K. Aki (1986), Site amplification of coda waves from local earthquakes in central California, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 76 (3), 627-648.
- 2) 澤崎 郁 (2016) 高周波地震波エンベロープ解析に基づく早期余震検出 – エネルギー輻射位置推定法の改善 – 日本地球惑星科学連合大会, SSS29-06.

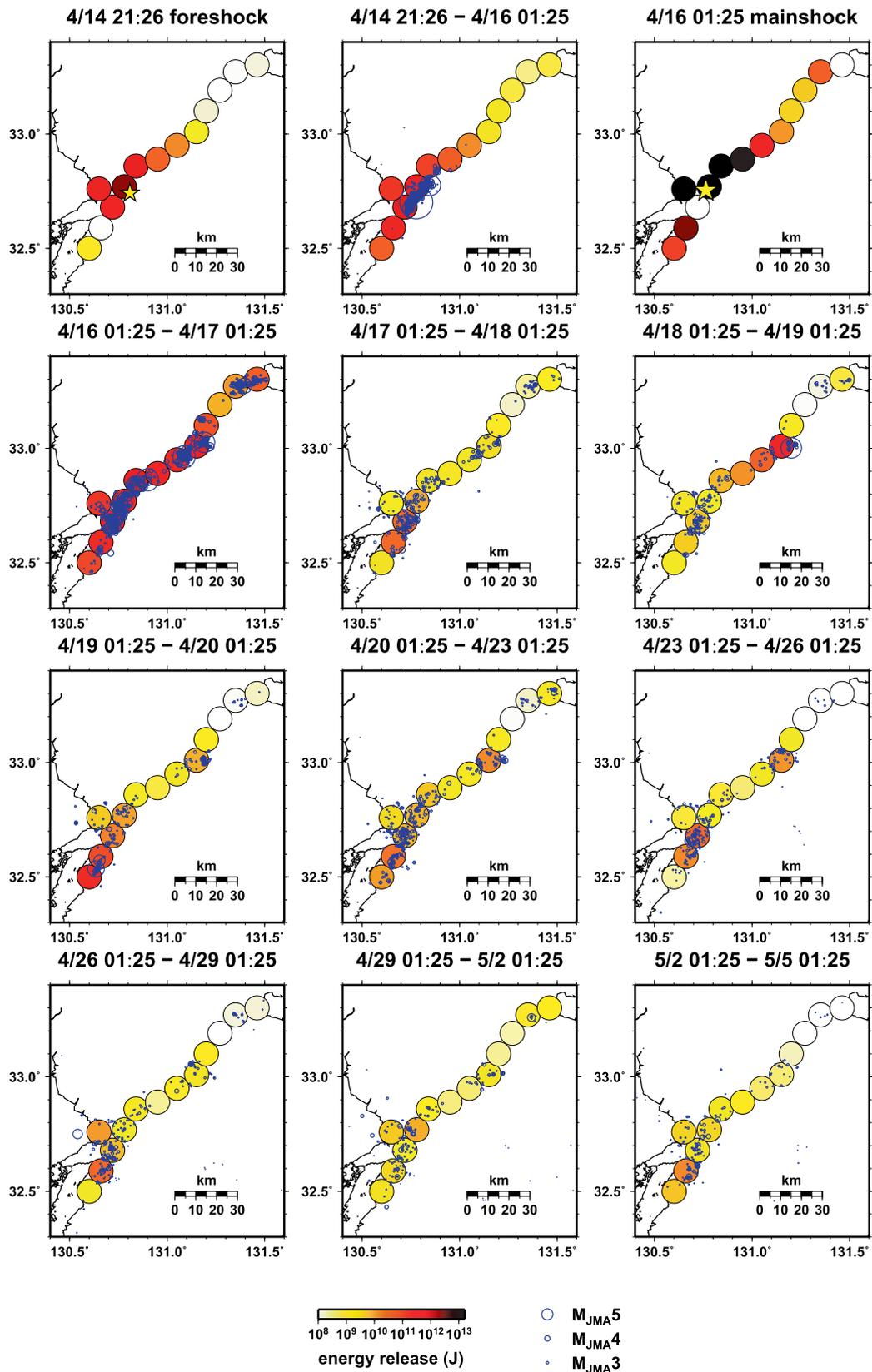
謝辞

解析には、防災科研 Hi-net の観測データ、および気象庁一元化震源を使用しました。記して感謝いたします。



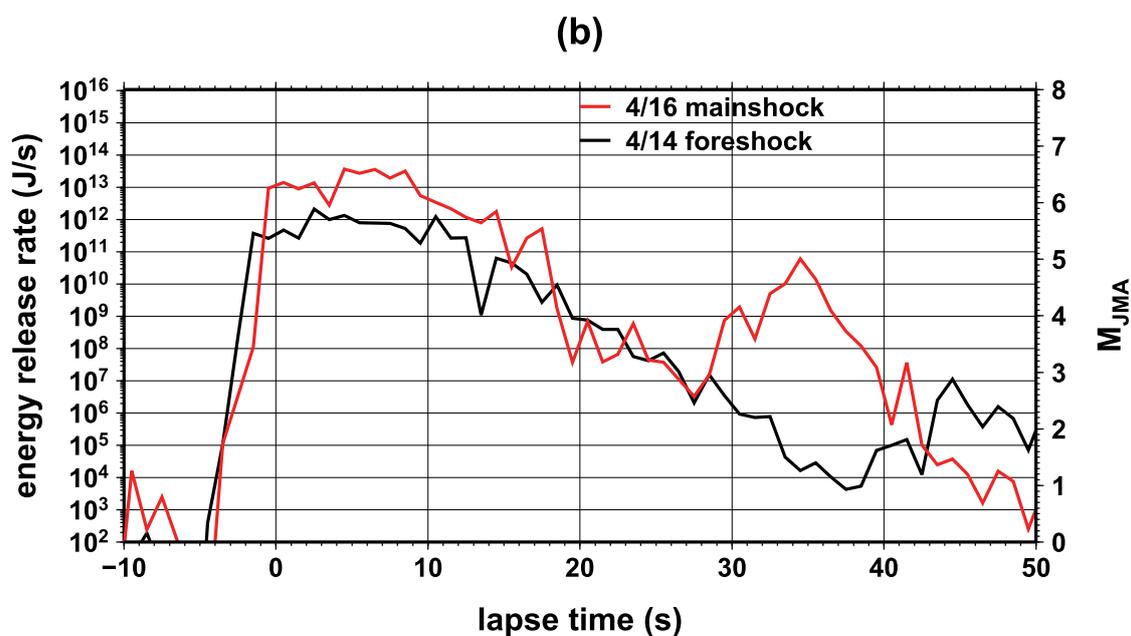
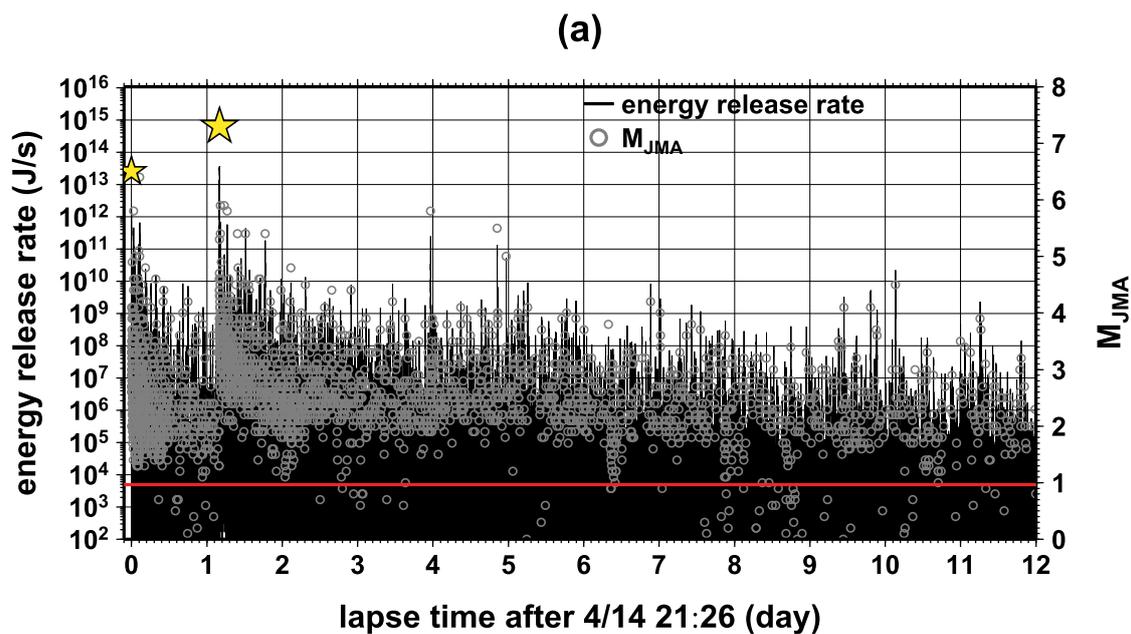
第1図 気象庁一元化処理震源に基づく4/14の前震と4/16の本震の位置(星),および5/5までに発生した地震(灰色丸および黒丸)の震央分布. 三角および赤丸は,高周波エネルギー輻射量推定に使用したHi-net観測点,および設定したエネルギー輻射点の位置を示す.

Fig. 1 Location of the JMA unified hypocenters of the April 14 foreshock and the April 16 mainshock (stars), and the associated earthquakes occurring by May 5 (gray and black circles). Triangles and red circles represent the Hi-net stations and the energy release points used for the analysis of high-frequency energy release.



第2図 4/14の前震発生時から5/5までの4-20Hz帯域のエネルギー輻射量分布（カラスケール）および気象庁一元化震源（青丸）の分布。

Fig. 2 Distribution of the 4 – 20 Hz energy release (colored circles) and the JMA unified hypocenters (blue circles) from April 14 to May 5.



第3図 (a) 前震発生後12日間の4-20Hz帯域のエネルギー輻射率の推移(黒線, 左縦軸), および気象庁マグニチュードに基づくM-T図(灰色丸, 右縦軸)の推移. 赤線は地震によるエネルギー輻射量と判断できる下限を示す. エネルギー輻射率と M_{JMA} とのスケールは任意である. (b) 4/14の前震(黒)および4/16の本震(赤)発生時のエネルギー輻射率の推移を拡大.

Fig. 3 (a) Time-lapse change in the 4 – 20 Hz energy release rate (black curve, left ordinate) and the M-T plot on the basis of the JMA magnitude (gray circles, right ordinates). The red line indicates the minimum threshold above which the energy is considered to be released by earthquakes. The scaling between the energy release rate and M_{JMA} is arbitrary. (b) Magnified energy release rate during the April 14 foreshock (black) and the April 16 mainshock.