

11 - 9 令和 6 年能登半島地震：近地強震波形を用いた震源過程（暫定）と余震による高周波エネルギー輻射量

2024 Noto Peninsula Earthquake: Source process estimated using strong-motion seismograms and high-frequency energy release by aftershocks

防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

2024 年 1 月 1 日 16 時 10 分頃に能登半島で発生した $M_j7.6$ の地震（本震）に対し、防災科学技術研究所（防災科研）の K-NET 15 点、KiK-net 11 点における強震加速度波形を積分して求めた速度波形及び F-net 4 観測点における強震速度波形の S 波部分を用いて震源過程を推定した。解析帯域は 0.025-0.25 Hz とした。本解析では、本震の 13 秒前に発生した $M_j5.9$ の地震を含めて一連のイベントとみなし、マルチタイムウィンドウ線形波形インバージョン法^{1),2)}に基づき断層破壊過程の時空間的離散化を行った。その後発生した余震の空間分布や発震機構解、地殻変動の記録等を参照しつつ 3 つの矩形断層を設定し、各断層を 6 km 四方の小断層に分割した。各小断層でのすべり時間関数は、時間幅 2.8 秒のウィンドウ 20 個を 1.4 秒ずつずらして並べることにより表現した。第 1 図に推定された断層破壊の時間進展過程を示す。破壊開始からしばらくは顕著な破壊が見られず、破壊開始から 15 秒後に破壊開始点より浅い領域で破壊が発生した。その後、破壊開始 30 秒後から破壊開始点の北東および南西側の大すべり領域において主たる破壊が生じた。推定された最大すべり量は 5.3 m、モーメントマグニチュードは $M_w7.6$ であった。

大地震発生後に引き続いて発生する余震活動の推移を予測するためには、余震の活動状況を迅速に把握する必要がある。しかし、大地震発生直後は様々な理由により地震の検知力が低下し、地震カタログは不完全なものとなる。ここでは、本震発生後の地震活動を迅速に把握することを目的として、連続地震波形エンベロープ解析から得られた高周波帯域（4-20 Hz）のエネルギー輻射量を推定した。解析には、震源域周辺の防災科研 Hi-net 観測点 10 点（第 2 図、赤三角）における本震発生から 10 日間の連続波形記録を用いた。強震動による波形の飽和が発生した時間帯においては、併設されている KiK-net の地中強震計による加速度記録を積分し、用いた。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法³⁾を適用し、高周波エネルギー輻射量の時間変化を求めた。この際、余震域の広がり参考に 7 か所のエネルギー輻射点を設定した（第 2 図、橙丸）。第 3 図 (a) に、4-20 Hz 帯域でのエネルギー輻射量の推移と Hi-net システムによるマグニチュード (M_{Hi}) に基づく M-T 図を示す。本震発生から 2-3 日まではエネルギー輻射の下限がそれ以降よりも高い位置にあり、余震活動が極めて活発であったことが分かる。第 3 図 (b), (c) には、余震による積算高周波エネルギー輻射量と同量を本震による高周波エネルギー輻射量で規格化した値 (NCER) 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 NCER は 5 % であった。同図には、石川県能登地方で 2022 年 6 月 ($M_j5.4$) 及び 2023 年 5 月 ($M_j6.5$) に発生した地震後の余震活動に対する解析結果も併せて示す。両地震とも 10 日間の余震による NCER は 42% に達しており、これらの地震では本震の規模と比して大きめの地震を含む余震活動が活発で、群発地震的な特徴を示していたのに対し、2024 年 1 月の地震後は本震-余震型に近い推移を示しているように見える。

(汐見勝彦・久保久彦・澤崎郁)

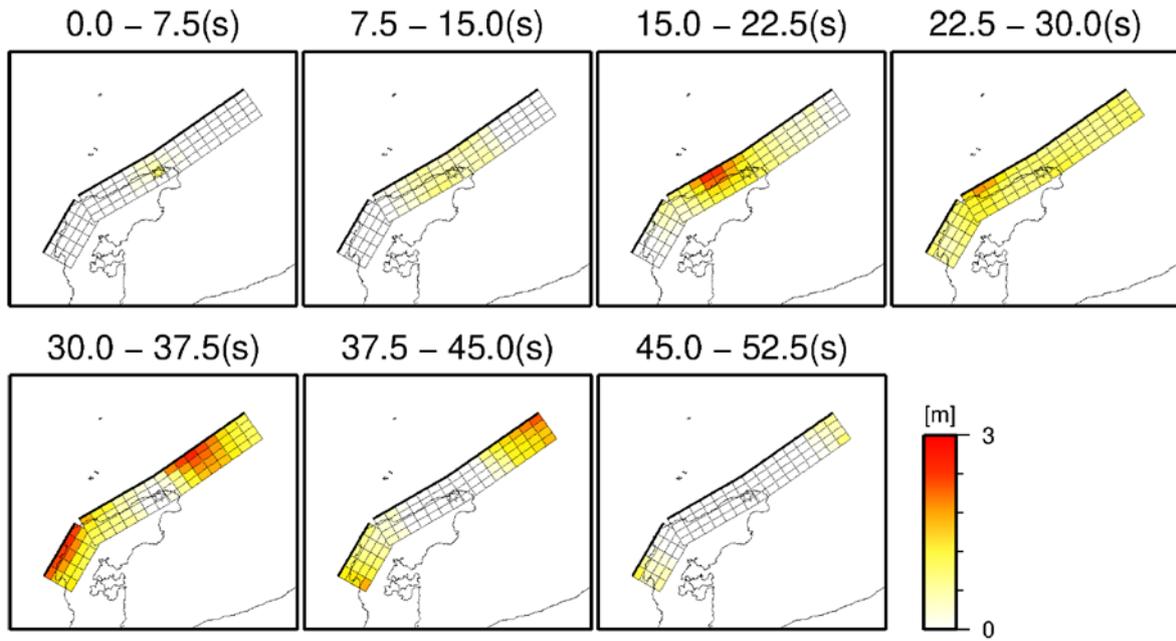
SHIOMI Katsuhiko, KUBO Hisahiko, and SAWAZAKI Kaoru

謝辞

関係機関が観測・収集した観測データに基づき、気象庁・文部科学省が協力してデータを処理することで構築した震源カタログ（気象庁一元化震源カタログ）を参照しました。記して感謝いたします。

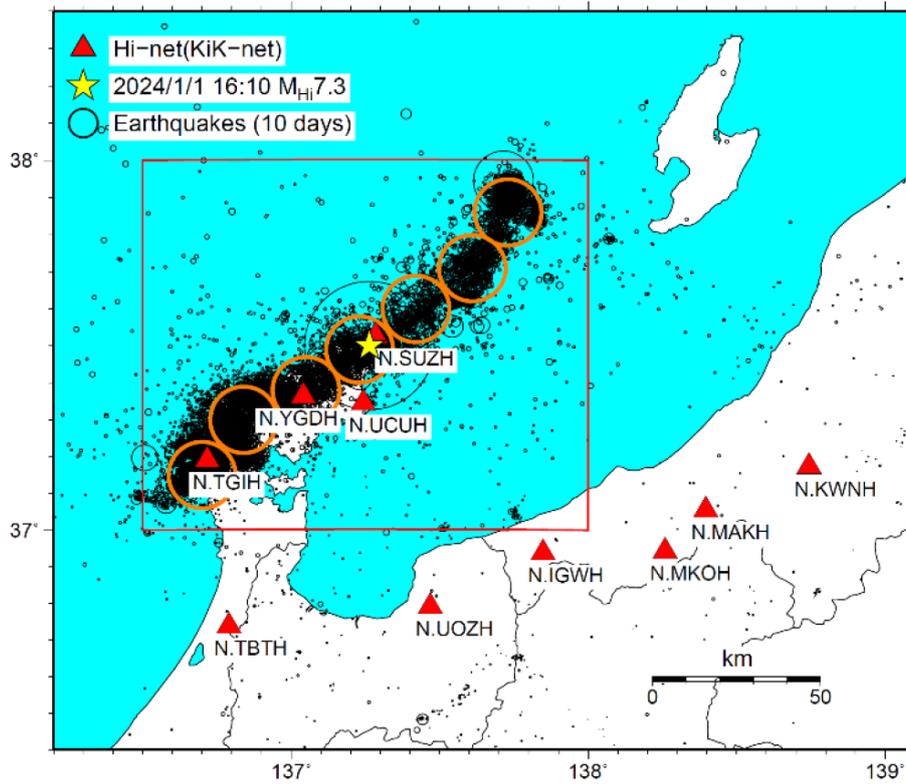
参考文献

- 1) Olson, A. H. and R. J. Apsel (1982), *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **72**, 1969-2001. Finite faults and inverse theory with applications to the 1979 Imperial Valley earthquake.
- 2) Hartzell, S. H. and T. H. Heaton (1983), *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **73**, 1553-1583. Inversion of strong ground motion and teleseismic waveform data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake.
- 3) Sawazaki et al. (2016), *Earth Planets and Space*, **68**, 183. Preliminary estimation of high-frequency (4-20 Hz) energy released from the 2016 Kumamoto, Japan, earthquake sequence.



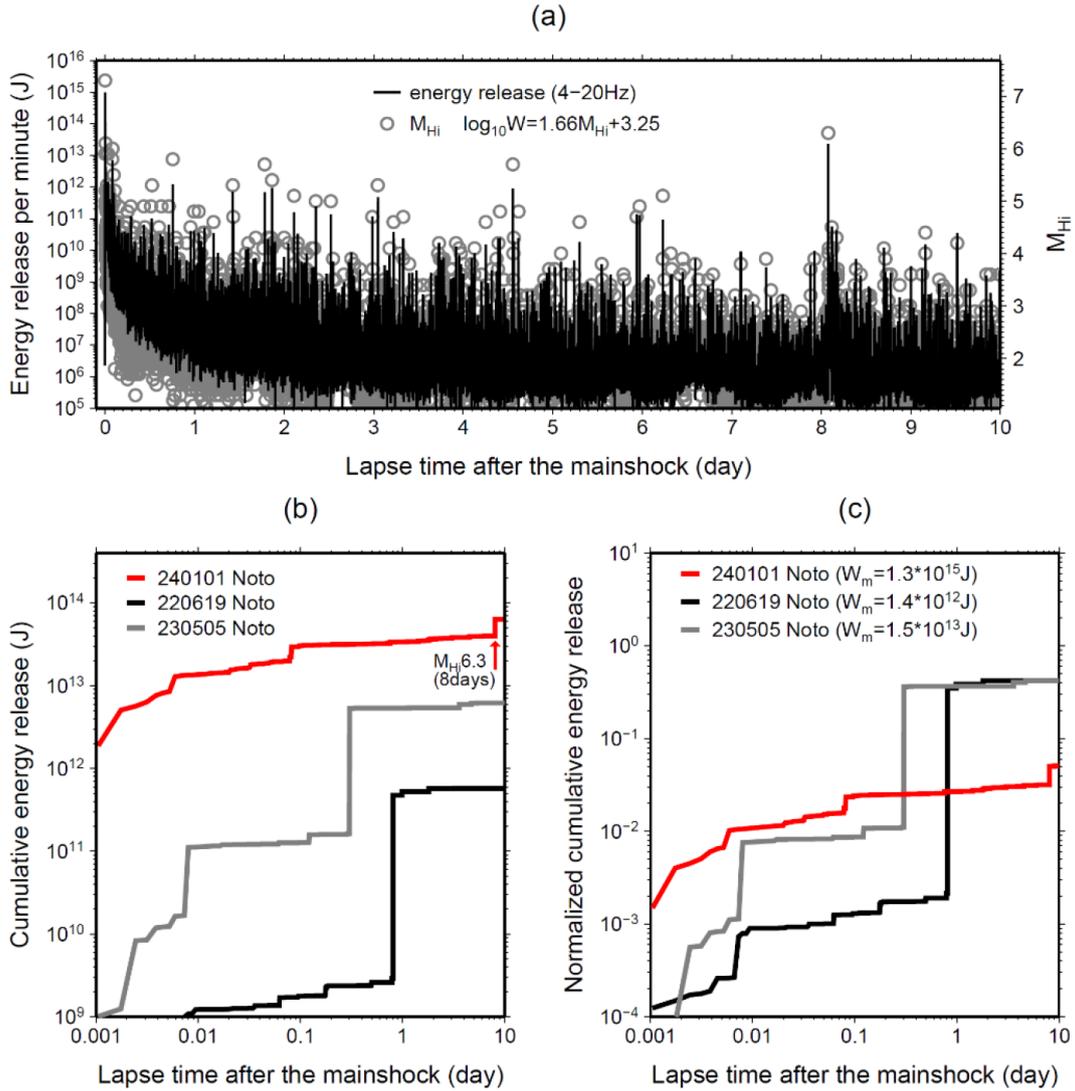
第 1 図 令和 6 年能登半島地震 (MW7.6) のすべり分布の時間進展過程 (暫定値). 7.5 秒ごとのすべり分布を地表投影した.

Fig. 1 Time evolution of the slip distribution of the 2024 Noto Peninsula earthquake (MW7.6), projected onto the ground surface every 7.5 seconds.



第 2 図 防災科研 Hi-net 震源に基づく令和 6 年能登半島地震本震の震央（黄星印）及び本震後 10 日間に発生した地震（黒丸）の震央分布。赤三角及び橙丸印は、高周波エネルギー輻射量推定に使用した防災科研 Hi-net (KiK-net) 観測点及び設定したエネルギー輻射点の位置を表す。

Fig. 2 Location of the epicenter of the mainshock of the 2024 Noto Peninsula earthquake (yellow star). Black circles denote the aftershocks occurring within ten days after the mainshock. The red triangles and the orange circles represent the NIED Hi-net/KiK-net station locations and the assigned energy release points, respectively.



第 3 図 (a) 本震発生後 10 日間における 4-20 Hz 帯域のエネルギー輻射量の推移 (黒線, 左軸) 及び Hi-net システムにより求めたマグニチュード M_{Hi} に基づく M-T 図 (灰丸, 右軸). エネルギー輻射量 W と M_{Hi} との関係は, 第 2 図の赤枠領域内で発生した $1.5 \leq M_{Hi} < 4.5$ の地震について最小二乗法により推定した. (b) 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. 赤線, 黒線, 灰線はそれぞれ 2024 年 1 月 1 日 ($M_j 7.6$), 2022 年 6 月 19 日 ($M_j 5.4$) 並びに 2023 年 5 月 5 日 ($M_j 6.5$) の地震後の推移を表す. (c) 図 (b) 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. 3 (a) Time-lapse change in the 4-20 Hz energy release rate (black curve, left axis) and the M-T plot using the NIED Hi-net magnitude (gray circles, right axis). The relationship between the energy release W and M_{Hi} was estimated using earthquakes within the magnitude range from 1.5 to 4.5 that occurred inside the red rectangle in Fig. 2. (b) Cumulative 4-20 Hz energy release by the aftershocks. Red, black, and gray lines correspond to the earthquakes occurring on January 1, 2024 ($M_j 7.6$), June 19, 2022 ($M_j 5.4$), and May 5, 2023 ($M_j 6.5$), respectively. (c) Same as (b) except that the cumulative energy releases are normalized by the energy released by their “mainshock” (Normalized Cumulative Energy Release; NCER).