

連続地震波形記録を用いた余震活動の把握と予測

澤崎 郁(防災科研)・中原 恒(東北大・理)・汐見 勝彦(防災科研)

はじめに

余震活動は本震の直後に最も活発であり、最大余震は本震後一日以内に発生することが多い。しかし、大地震発生直後には多くの余震からの波が地震波形記録上で重なり合い、P 波到達時刻などの震源決定に必要な情報を得ることが困難である。したがって、地震カタログを介さずリアルタイムに伝送される地震波形記録そのものの解析から、早く正確に余震活動の特徴を把握し、予測につなげる手法の開発が望まれる。本研究では、本震から余震にかけての一連の地震活動を連続的なエネルギー輻射過程として扱うことにより、連続地震波形記録から余震活動の推移を推定する手法を紹介する。

データ・手法

小地震からの地震波は相対的に高周波成分を多く含むため、一般に高周波帯域ほど高い S/N で収録される。本研究では、2016 年熊本地震を対象に、4/14 の $M_j6.5$ の地震発生から 4/16 の $M_j7.3$ の地震の 10 日後までの期間について、4-20Hz 帯域におけるエネルギー輻射の時空間変化を推定した。まず、震源域を取り囲む 15 か所での Hi-net 連続地震波形記録に 4-20Hz 帯域のバンドパスフィルタを施し、3 成分 2 乗和について 1 秒間隔でリサンプリングを行い、媒質の密度をかけてエネルギー密度の次元を持つエンベロープを作成した。次に、コーダ波規格化法 (Phillips and Aki, 1986) を用いて相対サイト増幅率を補正した。強震動により記録が飽和している観測点 (汐見他, 2005) については、Hi-net センサに併設されている KiK-net 強震記録が使える場合は、その記録を用いて補正した。

エンベロープグリーン関数には、Passchens(1997)による輻射伝達理論に基づく 3 次元等方散乱媒質中の理論エンベロープの近似式と、Shishov(1974)によるマルコフ近似に基づく 3 次元ガウス型ランダム媒質中のエンベロープの解析解を、Saito et al. (2003)によるハイブリッド法を用いて統合したものをを用いた。エンベロープ合成に必要な各種パラメータ(背景速度、散乱係数、不均質媒質を特徴づける統計量 ε 、 a 、内部減衰)は、Carcole and Sato(2010)などの既存研究と小地震記録の解析を基に決定した。

高周波エネルギー輻射量の時空間変化

図1は $M_j6.5$ の地震発生後 1000 秒間の Hi-net N.TYNH 観測点における地震波形エンベロープである。地震直後から非常に多くの地震が発生しているが、最初の 1000 秒間で決められた Hi-net 自動処理震源は 4 個のみ(図中白矢印)である。図2にはエネルギー輻射量分布のスナップショットを示す。強いエネルギー輻射域は余震活動の活発な領域に集中しており、 $M_j7.3$ の地震の直後には大分県にもエネルギー輻射域が広がっている。図3には積算エネルギー輻射量の時間変化の推移を $M_j7.3$ の地震前(黒)と後(赤)に分けて示す。積算エネルギー輻射量を $M_j6.5$ の地震(4/16 以前)と $M_j7.3$ の地震(4/16 以後)のエネルギー輻射量でそれぞれ割った値は、前者では 1.1 日後時点で約 60%に達するのに対し、後者では 10 日後時点で 13%に過ぎない。すなわち、 $M_j6.5$ の地震の方が、 $M_j7.3$ の地震よりも規模の割に活発な余震活動を伴っていたことが分かる。

考察・まとめ

本震のエネルギー輻射量に対する余震からの積算エネルギー輻射量の割合は、相対的な余震活動の活発さを表すと考えられる。最大余震のマグニチュードが本震のマグニチュードより 1 小さく、全ての余

震が b 値を1とする Gutenberg-Richter 式に従うと仮定すると、全ての余震からのエネルギー輻射の合計は本震からのエネルギー輻射量の 4.5%程度となる。これが典型的な本震-余震型の活動だとすれば、熊本地震の $M_J7.3$ の地震後には典型的な本震-余震型に近い活動が続いたが、 $M_J6.5$ の地震後にはより群発地震型に近い活動が生じていたと考えられる。

今後は、エネルギー輻射量比がどのような時間変化を経るか、前震と本震とで有意な違いがあるか、地域性に特徴が見られるかなどを、複数の事例について調査する予定である。また、今回は 4-20Hz の帯域に着目した解析を行ったが、今後は他の周波数帯域にも着目した解析を行いたい。

謝辞

本研究では防災科研の Hi-net および KiK-net の波形記録のほか、気象庁一元化震源を使用した。

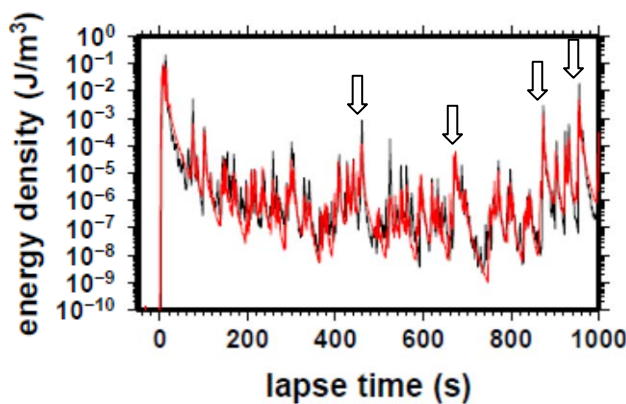


図1. Hi-netN.TYNH 観測点における $M_J6.5$ の地震後の 4-20Hz 帯域における観測エンベロープ(黒)およびフィッティングした理論エンベロープ(赤)。矢印は Hi-net 自動処理震源が得られた地震の発生時刻を表す。

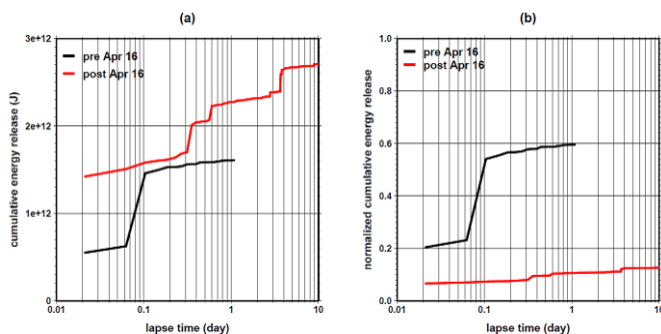


図3. (a) $M_J7.3$ の地震前(黒)および $M_J7.3$ 地震後(赤)の積算エネルギー輻射量の時間変化。(b)積算エネルギー輻射量を $M_J6.5$ の地震(黒)および $M_J7.3$ の地震(赤)によるエネルギー輻射量でそれぞれ規格化した値の推移。

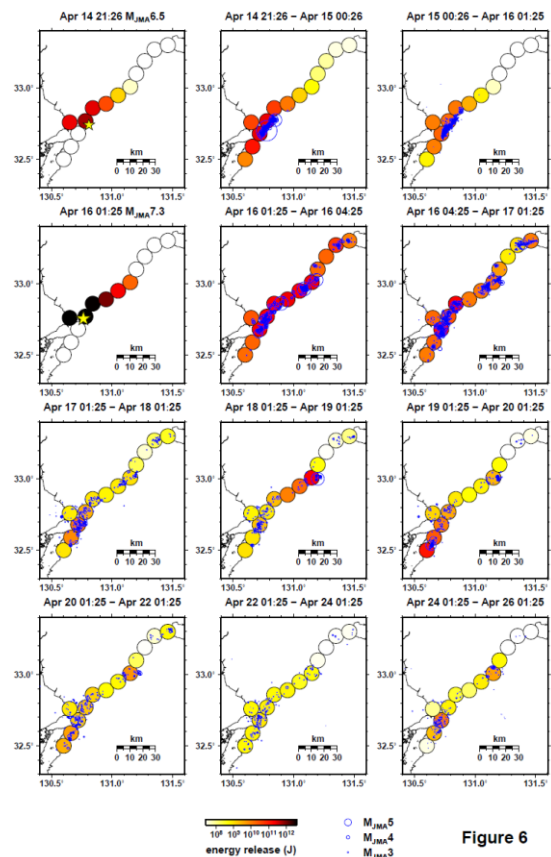


Figure 6

図2. 4/14 から 4/26 までの 4-20Hz 帯域におけるエネルギー輻射量分布のスナップショット。青丸は気象庁一元化震源の分布。星印は $M_J6.5$ の地震と $M_J7.3$ の地震の震央。