

熊本地震の余震による見掛け放射特性の周波数・距離変化

武村俊介・齊藤竜彦・久保久彦・汐見勝彦（防災科学技術研究所）

1. 熊本地震の余震記録の見掛け放射特性

地震時に観測される最大振幅の方位角変化（以下、見掛け放射特性）は、低周波数・近距離では、ダブルカップル型の震源から予測される四象限型を保持しているが、周波数と距離の増大に伴い等方分布へ近づくことが知られている（例えば、Liu and Helmberger, 1985; Takenaka et al., 2003; Takemura et al., 2009, 2016）。Takemura et al. (2016) は中国地方で発生した地殻内地震の記録を用いて、(1) 見掛け放射は周波数・震源距離の増大に伴い崩れ、(2) 崩れ方 (kL 変化) は P 波と S 波で違いはなく、(3) 見掛け放射特性の崩れは規格化震源距離 kL (波数 k と震源距離 L の積) でモデル化可能であることを示した。

本研究では、Takemura et al. (2016) の手法を用いて、2016 年熊本地震後に日奈久断層周辺で発生した 15 個の余震 (図 1a) を用いて、熊本県周辺の見掛け放射特性の周波数・距離変化を調べた。図 1b に、観測された見掛け放射特性とダブルカップル型の点震源による理論予測の相関係数 (CCC) の規格化震源距離変化を示す。理論予測 (四象限型) と観測された見掛け放射特性が一致していれば、相関係数は 1 となる。P 波と S 波で見掛け放射特性の崩れ方に違いは見られなかったが、中国地方 (図 1b 青線) と比べ相関係数が低く、四象限型からの崩れが強いことが示唆された。

2. 一様な短波長構造を含んだ地震動シミュレーション

余震記録の解析で得られた特徴を地震動シミュレーションによりモデル化することを考える。204.8×204.8×128 km³ の領域を 0.05 km の格子で離散化し、8 Hz までの地震波動伝播を 3 次元差分法を用いて評価した。技術的な詳細は Takemura et al. (2015, 2017) と同様である。地震波速度構造モデルについては 1 次元速度構造 (鶴川他, 1984) を仮定し、その上に指数関数型で特徴づけられる短波長速度不均質構造を重ね合わせた。短波長速度不均質を地殻内に一様に分布させ、相関係数 a とゆらぎの強さ ε を様々に変えてシミュレーションを行ったが、1 次元地殻構造に短波長速度不均質を一様に分布させたモデルでは観測を再現できなかった。図 2 に観測とシミュレーションで得られた kL-CCC の比較の例を示す。

3. 断層近傍不均質の影響

震源断層周辺では、断層トラップ波を励起するような 0.1-1.5 km 程度の幅の低速度領域 (例えば、Lewis and Ben-Zion, 2010; Eccle et al., 2015) や強い散乱体の分布 (Asano and Hasegawa, 2004) が指摘されている。本研究では、計算領域中央に長さ 50 km、幅 5 km、深さ方向に 12 km の領域を設定し、領域内部に $a = 1$ km, $\varepsilon = 0.09$ の指数関数型で特徴づけられる強い散乱構造を仮定した地震動シミュレーションを行い、断層近傍の不均質構造が見掛け放射特性に与える影響を調べた。

図 3 にシミュレーションにより得られた 2-4 Hz の S 波最大振幅分布を示す。短波長速度不均質を含まない 1 次元速度構造モデル (図中青線) では四象限型を示すが、震源域周辺に短波長速度不均質を仮定することで、振幅分布が大きく崩れた。観測で得られた見掛け放射特性の周波数・距離変化を再現するには、従来までの地殻内に一様に分布した短波長速度不均質だけではなく、震源域に局在した強い不均質性を考慮する必要がある。

謝辞

防災科学技術研究所の Hi-net/F-net の波形データと F-net の MT 解を使用しました。また、地震動計算には防災科学技術研究所の大型計算機および海洋開発研究機構の地球シミュレータを使用しました。Hi-net の計器特性の補正には Maeda et al. (2011) によるプログラムを使用しました。図の描画には GMT (Wessel et al., 2013) を使用しました。

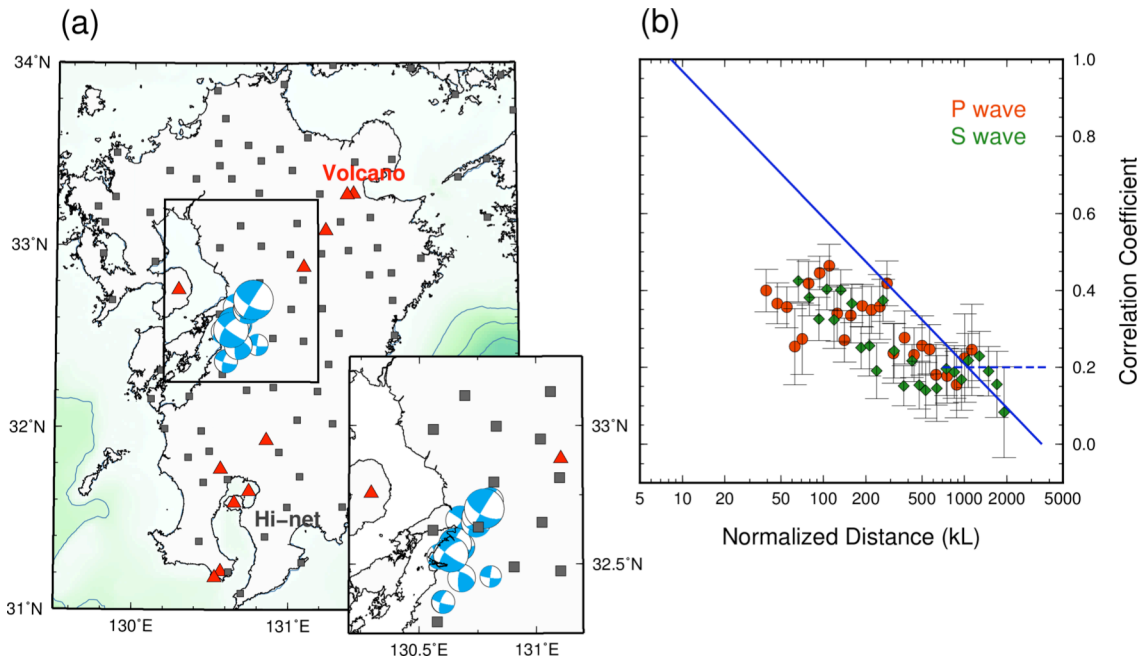


図 1. (a) 使用した 15 個の地震の F-net MT 解の分布. 図中の赤三角は火山, 灰色の四角は Hi-net の観測点位置を示す. (b) 観測された見掛け輻射特性とダブルカップル型の点震源から予測される理論予測の相関係数の規格化震源距離 (kL) 変化. P 波を赤い丸, S 波を緑の菱形で示している. 図中の青線は, 中国地方の地殻内地震の解析で得られた kL-CCC (Takemura et al., 2016).

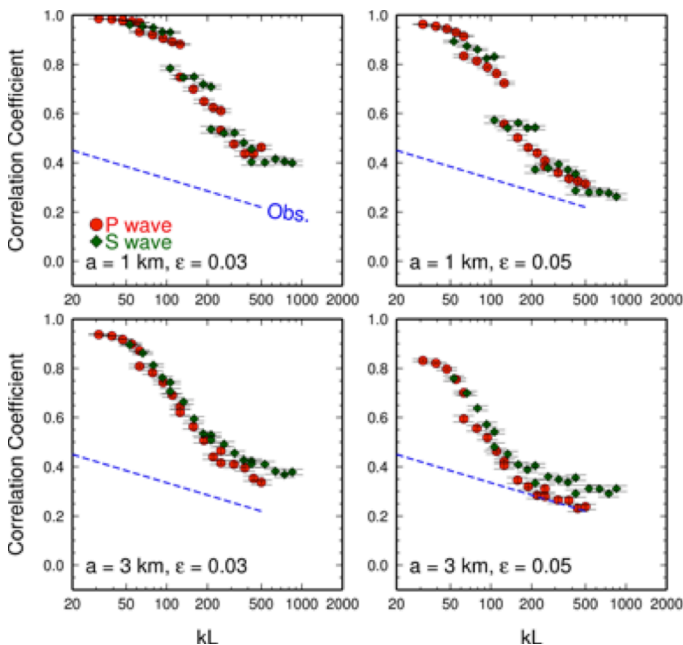


図 2. 地震動シミュレーションで得られた見掛け輻射特性と観測 (青破線) の kL 変化の比較. 図中左下に仮定した短波長速度不均質の相関距離とゆらぎの強さを示す.

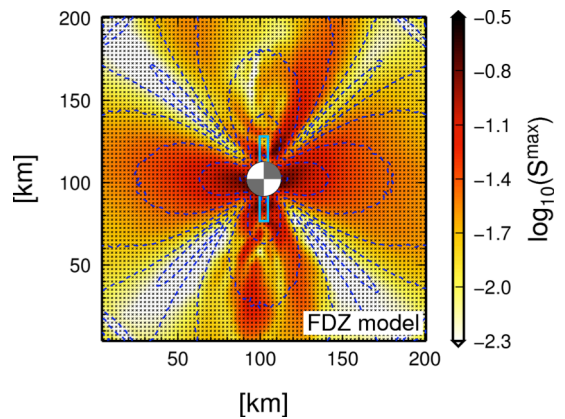


図 3. 震源域近傍 (図中水色四角の内部) に $a = 1 \text{ km}$, $\epsilon = 0.09$ の指数関数型で特徴づけられる短波長速度不均質を仮定した場合の 2-4 Hz の S 波最大振幅の分布. 図中の青破線の等値線は 1 次元地殻構造モデル (鶴川・他, 1984) の場合の S 波最大振幅の分布.