

震源スペクトルに見られる断層破壊指向性 Rupture Directivity Effect on Source Spectrum

○染井一寛・浅野公之・岩田知孝

○Kazuhiro Somei, Kimiyuki Asano, Tomotaka Iwata

Source, propagation path, and site effects are separated from observed ground motion records by using the spectral inversion method. Source spectrum for a specific station was obtained from an observed Fourier amplitude spectrum by removing the propagation path and site effects. We found the azimuth dependence of the source spectra at stations for an $M_w 5.3$ event in the 2016 Kumamoto earthquake sequence. The source spectra at stations in the south-west direction had higher corner frequencies than those in the opposite stations. Strong motion generation area (SMGA) for this event was estimated based on broadband strong motion waveform modeling using the empirical Green's function method. The rupture of SMGA propagated unilaterally from the hypocenter to south-west direction. This result shows the rupture directivity caused the azimuth dependence of the source spectra at stations.

1. はじめに

震源、伝播経路、サイト増幅の各特性を正確に把握することは、観測された地震動の生成メカニズムを理解する上で必要不可欠であるとともに、得られるそれぞれの特性は、将来起こりうる地震の強震動予測に活用される。スペクトルインバージョンは、複数観測点、複数地震の強震記録から上述の各特性を分離する基本的な手法として、岩田・入倉（1986）をはじめとして国内外で広く適用されている。スペクトルインバージョンでは、ある地震イベントの震源特性（震源スペクトル）はイベントにのみ依存し、観測点に因らない仮定でモデル化されているが、実際は、震源スペクトルに観測点毎のばらつきが生じている。

本研究では、このばらつきの要因を明らかにすることを目的として、染井・他（2019）によって2016年熊本地震系列の記録から分離された特性を用いて、震源スペクトルのばらつきの特徴を調べるとともに、断層破壊指向性の影響について議論を行った。

2. 震源スペクトルの方位依存性

各観測点の震源スペクトルは、観測記録からスペクトルインバージョンによって分離した伝播経路特性と各観測点のサイト増幅特性を除することで得た。ここでは、図1に示す2016年4月19日17時52分（ $M_{JMA} 5.5$ ）の地震（以降、M5.5地震と

称す）を対象として、各観測点の変位震源スペクトルを推定した。

震源スペクトルのばらつきの特徴を調べるために、各観測点の震源スペクトルを ω^{-2} 理論震源スペクトルによってモデル化することによって、それぞれのコーナー周波数を推定し、観測点方位との関係を見た。ここで、理論震源スペクトルのフラットレベルは、F-netのMT解による値で固定した。その結果、震央から南西側の観測点で得られたコーナー周波数は大きく、北東側の観測点で小さくなることが確認でき、震源スペクトルのばらつきには方位依存性があることがわかった（図2）。

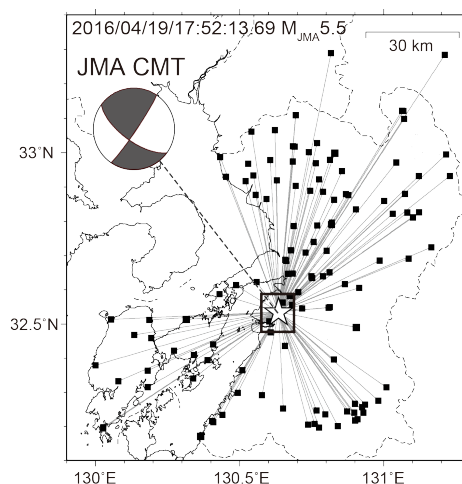


図1：M5.5地震の震央位置（星印）と気象庁によるCMT解。黒色四角印は、解析に使用した観測点。

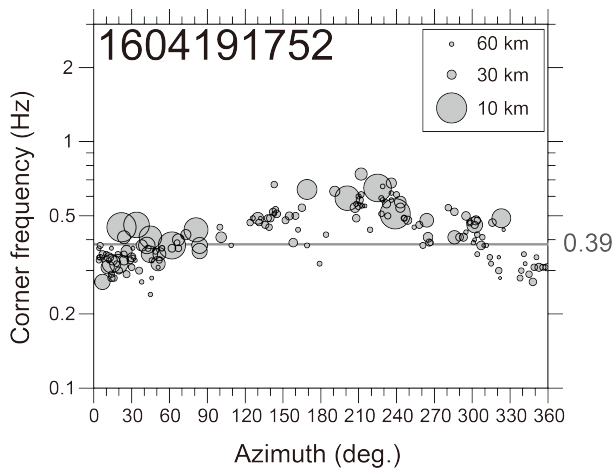


図 2：M5.5 地震の各観測点で得られた震源スペクトルから推定したコーナー周波数と震源－観測点方位との関係。灰色線は、全観測点から得られた震源スペクトルのコーナー周波数を表す。丸印の大きさは、震源－観測点の距離に対応する。

3. 震源モデルの推定

M5.5 地震の震源特性を把握するために、経験的グリーン関数法を用いた 0.2–10 Hz の広帯域地震動シミュレーションに基づいて、正方形の強震動生成域 (SMGA) から成る震源モデルを推定した。経験的グリーン関数とする要素地震は、2016 年 4 月 20 日 0 時 29 分の余震を採用した。波形合成に必要なスケーリングパラメタの N と C は、本震と要素地震のコーナー周波数を SSRF 法 (三宅・他, 1999) によって求めることによって決定した。SMGA の走向角と傾斜角は気象庁の CMT 解の幾何形状から設定し、SMGA の破壊開始点は気象庁一元化震源情報の震源位置によって固定した。SMGA の面積、ライズタイム、SMGA 内の破壊開始点、破壊伝播速度はグリッドサーチによって残差評価関数が最小となる最適なパラメタを決定した。ここで、残差評価関数は、震源周辺の 10 地点の変位波形と加速度エンベロープ (3 成分) を対象とした。

推定された SMGA は、その面積が 3.8 km^2 、応力降下量が 21.7 MPa となり、SMGA 内の破壊は、震源から南西方向に破壊伝播速度 3.2 km/s で進行するモデルとなった (図 3)。M5.5 地震は、左横ずれ型ではほぼ垂直 (傾斜角 88°) の断層のため、南西側に破壊が進行することによる断層破壊指向性が強く生じたと考えられる。各観測点の震源スペクトルに見られた方位依存性は、この破壊方向と対応し、M5.5 地震の各観測点の震源スペクトルのばらつき要因は、断層破壊指向性の影響と示唆される。

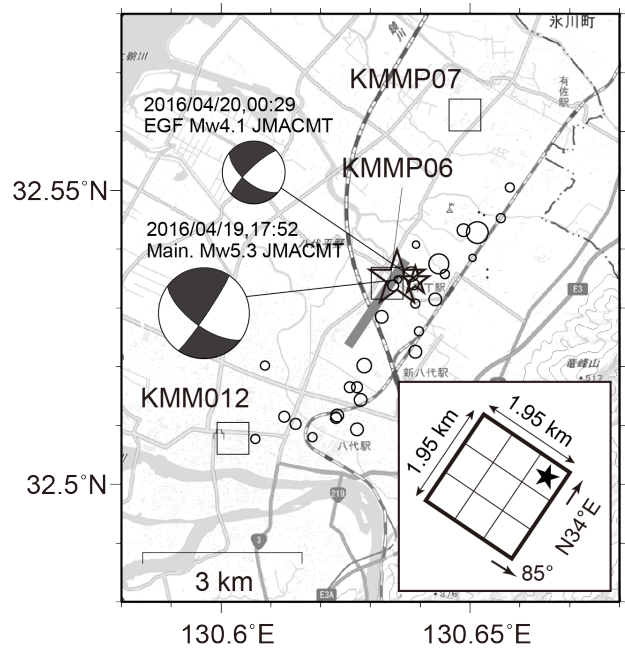


図 3：図 1 の矩形領域を拡大した地図。地図上の SMGA 位置を灰色線で示す。推定された SMGA モデルは右下に示す。星印は本震と要素地震の震央位置を表し、それぞれのメカニズム解は気象庁 CMT 解である。丸印は M5.5 地震発生後 1 時間の地震の震央分布を表す。四角印は強震観測点。基図は、国土地理院の地理院地図 (電子国土 Web) を使用した。

謝辞

国立研究開発法人防災科学技術研究所 K-NET、KiK-net、F-net 広帯域強震計、気象庁計測震度計、熊本県震度情報ネットワークシステムの強震波形記録を使用しました。

参考文献

- 岩田知孝・入倉孝次郎 (1986), 観測された地震波から、震源特性・伝播経路特性・及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み, 地震 2, 39(4), 579–593.
- 染井一寛・浅野公之・岩田知孝・宮腰 研・吉田 邦一・吉見雅行 (2019), 2016 年熊本地震系列の強震記録から分離した震源・伝播経路・サイト増幅特性, 日本地震工学会論文集, 19(6), 42–54.
- 三宅弘恵・岩田知孝・入倉孝次郎 (1999), 経験的グリーン関数法を用いた 1997 年 3 月 26 日 ($M_{\text{JMA}} 6.5$) 及び 5 月 13 日 ($M_{\text{JMA}} 6.3$) 鹿児島県北西部地震の強震動シミュレーションと震源モデル, 地震 2, 51, 431–44