

エネルギー等分配成立過程の小規模アレイによる観測 (序報)

山本 希・中原 恒・江本 賢太郎 (東北大・理)

はじめに

我々は、これまで活火山において人工地震稠密観測網によってとらえられたエネルギー伝播の時空間分布の解析や小規模3成分アレイ観測によるP/S波のモード変換の直接的観測により火山浅部における地震波伝播過程の様相を明らかにし、散乱パラメータの定量化を進めてきた(Yamamoto and Sato, 2010, 2009年度本研究集会など). これらの研究では、S波平均自由行程は8-16Hz帯において約1kmと推定され、不均質性の強い火山体における地震波動伝播において強いモード変換と多重散乱が重要な要素であることが示された. また、この通常の地殻に比べ桁で強い不均質性により、ローカルなP/S波エネルギー比が直達P波着信後たかだか数秒で平衡状態(等分配)に遷移していくこともモデリング・観測量側面から明らかとなった. 一方、このようなP/S波エネルギーの等分配は、地震波干渉法・H/V法の基礎となる概念であり、近年ではその仮定のもと観測3成分エネルギー比の周波数依存性から表層地盤構造を推定する手法も提唱されてきている(e.g., Margerin, 2010, Nakahara and Margerin, 2011). しかしながら、通常の地殻(非火山地域)における等分配成立過程の観測研究は、Shapiro et al, (2000)などの少数の例を除き、十分には行われてはいない.

そこで本研究では、2011年3月に愛知県・豊田市において3成分地震計アレイ観測を行い、火山における先行研究と同一の観測・解析方法を用いてP/Sモードの分離・波動伝播過程におけるエネルギー分配の定量化を行った結果を報告する.

データ

本研究では、P/Sモードの分離・波動伝播過程におけるエネルギー分配の定量化を目的に、産業技術総合研究所・豊田下山観測点(愛知県・豊田市下山保健福祉センター敷地内)において、3成分地震計アレイを設置し、2011年3月9日～3月30日の期間観測を行った(図1). 豊田下山観測点では産業技術研究所による3本のボアホール地震計(50, 200, 600m深)が既設されており、物理検層・コア試料等により地下構造が調べられている. また同敷地内には東濃地震科学研究所の短周期地震計・東京大学による広帯域地震計なども設置されており、各深度におけるH/V比との比較など今後の検討項目を念頭にこの観測点を選定した.

伝播エネルギーのモード分離を行うためには、波動場の発散・回転を得る必要があるため、本観測では3成分地震計(Mark Products/Sercel L-22D, 固有周期2Hz)を用いた4点からなる小スパンアレイを約10m間隔のT字状に設置した. 各地震計は手掘りによる埋設とし、その出力は増幅を行った後、計測技研 HKS-9550を用いて200Hzサンプリング連続収録を行なった. 地震計の特性差による誤差を最小限とするため、各地震計の特性は観測現地および回収後の二度 Signal-coil calibration法(Rogers et al, 1995)を用いて検定を行った. 各地震計の設置方位は、東北地方太平洋沖地震による誘発地震の表面波(10-40秒)到来方向を用いて補正を行った.

本観測期間中、東北地方太平洋沖地震の余震・誘発地震が多数記録されたが、地殻内多重反射・震源継続時間などを考慮し、本研究では震央距離150~250km, $2.5 < M < 3.5$ の地震を主に解析に用いた.

解析・結果

用いた地震記録は、明瞭なP波・S波直達波とともに数十秒にわたるP波・S波コーダを呈し、そのエンベロープは経過時間とともに3成分が同じ振幅減衰率を示し、P/S波エネルギーの平衡化を示唆する. この平衡化の様相を定量化するため、3成分アレイ観測によって得られた記録からShapiro et al., (2000)の手法を用いて波動場の発散・回転を計算し、P/S波エネルギー比の時間変化を調べた. その結果、用いた地震、アレイ観測点

ペア、平滑化時間窓に依らず以下の特徴が得られた (図 2): (1) P 波直達波着信とともに最小となったエネルギー比はゆるやかな増加を示すが、S 波直達波の着信までの約 20 秒弱の間では平衡比に達しない。この間の E_s/E_p エネルギー比の値の変化は平衡比の半分程度の約 3~4 である (2) エネルギー比は S 波コーダ部において 20~30 秒程度かけて平衡比に収束する。このような特徴は、初動後数秒で P/S 波のエネルギーが逆転し、時間とともにエネルギー比が平衡状態へ遷移した火山における人工地震の解析結果と対照的である。P 波コーダ波におけるエネルギー比の変化は主に PS 変換散乱係数に依存するため、等方散乱を仮定し輻射伝達理論に基づいて E_s/E_p エネルギー比の時間変化を求め観測結果と比較を行ったところ、4-8 Hz 帯における P-S 変換散乱係数は、約 $0.01\sim 0.02 \text{ km}^{-1}$ と推定された。この P-S 変換散乱係数は、ほぼ同一のアレイ観測条件・解析方法を用いて推定した火山における値(約 0.7 km^{-1})に比べ、数十倍小さい値である。

本観測のデータは、火山・非火山両地域を同一の尺度で捉えたということに加え、ボアホール記録を含む豊富な比較データや多数の余震・誘発地震記録といった面で稀有のものである。今後のさらなる解析によって、エネルギー等分配の基礎および応用手法の観測検証が行えると期待される。

謝辞: 本研究の観測にあたっては、産業技術総合研究所・今西和俊博士、東濃地震科学研究所・鈴木貞臣博士・大久保慎人博士、豊田市役所、豊田下山保健福祉センターのご協力を頂きました。また本観測は東北大学 GCOE プログラムからの支援を頂きました。関係各位に御礼申し上げます。

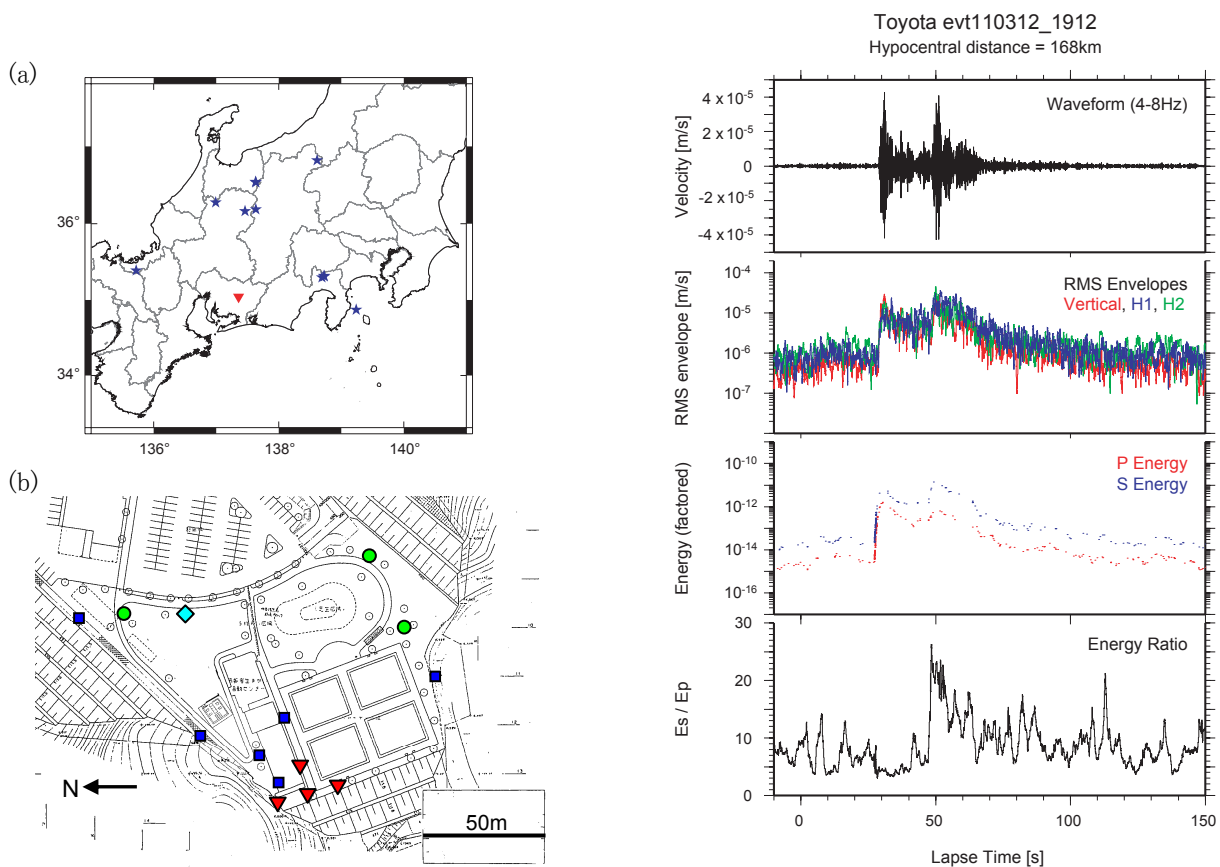


図1: 愛知県・豊田下山における観測:
 (a) 観測点の位置(赤)と解析に用いた地震(青).
 (b) 赤三角の4か所に3成分地震計を設置した。図中の緑丸は産業技術総合研究所のボアホール観測点、水色菱形は東京大学の広帯域地震観測点、青四角は東濃地震科学研究所の2Hz地震計観測点を示す。

図2: 小アレイによって観測された4-8Hz帯における波形・3成分RMSエンベロープ・P/Sエネルギー・ E_s/E_p 比の例:

2011年3月12日19時12分に発生したM 2.8の地震(震央距離 168km. P/Sエネルギーおよびエネルギー比の計算は表示時刻の前1秒・後2秒の計3秒間の時間窓を使用した。