

論文内容要旨

(NO. 1)

氏名	内田 東	提出年	平成 25 年
学位論文の 題目	三宅島 B 型地震の発生領域と発生機構		

論文目次

謝辞

概要

第 1 章 序論

- 1.1 B 型地震に関する従来の研究
- 1.2 従来 of 震源決定手法
- 1.3 三宅島の地震活動
 - 1.3.1 1983 年三宅島噴火時の地震活動
 - 1.3.2 2000 年三宅島噴火時の地震活動
- 1.4 本研究の目的

第 2 章 B 型地震の波形特性

- 2.1 データ
- 2.2 観測波形の特徴
- 2.3 相互相関解析による B 型地震の分類
- 2.4 まとめ

第 3 章 三宅島 B 型地震の震源決定

- 3.1 実体波到達時の読み取りによる地震波速度構造の推定と震源決定
- 3.2 エンベロープ相関法 (Obara, 2002) による震源決定
 - 3.2.1 方法
 - 3.2.2 結果
 - 3.2.3 エンベロープ相関法を火山性地震に適用する際の課題
- 3.3 改良エンベロープ相関法による震源決定
 - 3.3.1 方法
 - 3.3.2 結果
- 3.4 議論
 - 3.4.1 推定された速度構造

(NO. 2)

- 3.4.2 エンベロープ相関法と実体波読み取りによる方法
- 3.4.3 改良エンベロープ相関法と実体波読み取りによる方法の比較
- 3.4.4 地震波振幅の空間分布を利用した震源決定

3.5 まとめ

第4章 三宅島 B 型地震の発生機構

4.1 低周波帯 (0.25 - 0.5 Hz) の地震波形から推定される B 型地震の発生機構

4.1.1 波形特性

4.1.2 モーメントテンソル・インバージョン

4.2 P 波と S 波の解析から推定される B 型地震の発生機構

4.3 議論

4.4 まとめ

第5章 議論

5.1 三宅島の火山性地震活動

5.1.1 規模別頻度分布の特徴

5.1.2 A 型地震と B 型地震のすみ分け

5.2 三宅島の火山活動に関する先行研究との比較

5.2.1 ガスの放出活動との関係

5.2.2 地震学的な先行研究との比較

5.3 今後の課題

第6章 結論

参考文献

要 旨

火山では多様な波形特性をもつ火山性地震が観測され、その発生には、マグマや火山ガスといった火山性流体が直接的、もしくは間接的に関与していることが指摘されている。特に、B 型地震とよばれる火山性地震は、観測記録において P 波と S 波の立ち上がりが不明瞭であり、同じマグニチュードの構造性地震よりも一般的には卓越周波数が低い。なお、構造性地震と同様の波形特性をもつ火山性地震を A 型地震と呼ぶ。三宅島火山も、B 型地震の活動が顕著な火山の一つである。三宅島では 2000 年の噴火活動の後、山頂カルデラ南端の主火口から大量の火山ガスの放出が続いている。この火山ガス放出期には多数の火山性地震が観測されており、その内およそ 9 割が B 型地震に分類される。しかし、その発生数が膨大であるにもかかわらず、実体波到達時刻の読みとりによる震源決定が困難なため、ほとんどの B 型地震の震源は推定されていない。また、発生機構もよく分かっていない。このような火山性地震に対しては、複数の観測点での地震波の相関を利用する方法や、地震波振幅の大きさの空間分布を利用する方法などによって、その震源の推定が試みられてきた。しかし、火山地域では構造の不均質性が強く、また稠密アレイ観測も定常的に実施するのは難しい。また、地震波振幅を利用する方法では、その精度の信頼性に課題が残っている。近年、Obara (2002) は、プレート境界面付近で発生する初動の不明瞭な深部低周

(NO. 3)

波微動の震源を推定するために、エンベロープ相関法を提案した。この手法では、観測点ごとに地震波形のエンベロープを合成し、それらの相互相関によって観測点間のS波到達時刻差を見積ることで震源を推定する。しかし、火山観測のような震源-観測点間距離が数キロメートルと短い場合にこの方法が適用された例はほとんどなく、火山観測に適用する際の問題点や手法の信頼性は十分に議論されていない。

三宅島火山では、2010年6月にボアホール型の高感度地震観測点が主火口の南西約1.5 kmの地点に新設され、観測体制が大幅に強化された。そこで本研究では、観測体制が強化された直後の2010年8月から2011年4月の9カ月間に気象庁によって観測されたB型地震1,049個をA型地震114個とともに解析し、B型地震の発生領域と発生機構を明らかにする。さらに、大量のB型地震の発生領域を精度よく推定するために、火山性地震の解析に適したエンベロープ波形を利用した震源決定法を開発し、適用する。また、B型地震の発生領域とともに発生機構を求め、火山ガスの放出が続く主火口の位置、2000年のカルデラ形成期前後に推定されたマグマだまりの位置と比較することにより、B型地震の発生場を議論する。

第1章では、B型地震とそれに類する低周波地震に関する従来の研究についてまとめ、これら複雑な波形特性をもつ地震の震源を推定するための従来の手法を述べた。また、三宅島の地震活動に関する従来の研究をまとめ、本研究の目的を示した。

第2章では、三宅島のB型地震の観測波形の特徴を、ともに観測されるA型地震の特徴とともに述べた。さらに、多くのB型地震に共通する特徴を見出すために、観測波形を相互相関によって分類した。その結果、4つの主要な相似地震グループL1、L2およびH1、H2が抽出された。これら4つのグループのいずれかに分類されるB型地震の数は、観測されたB型地震全体の18%であった。グループL1およびL2では1 Hz以下に信号が認められ、特にグループL2では0.25 - 0.5 Hzの顕著な低周波成分を含むという特徴があった。

第3章では、三宅島で観測されたB型地震の発生領域を推定した。まず、B型地震のほとんどは実体波到達時刻の読み取りが困難であることから、第2章で抽出された相似地震の波形をスタックすることでP波とS波の立ち上がりを明瞭にし、到達時刻を読みとった。まず、三宅島の地震波速度を、和達ダイヤグラムと震源決定での走時残差をもとに推定した。その結果、P波速度2100 m/s、S波速度1308 m/sと求められた。この速度構造を用いて決定したB型地震の震源は、主火口直下の半径0.5 kmの円筒状の領域の海面下0 - 2 kmに推定された。また、A型地震の震央分布は、B型地震のそれに比べて全体的に北西へ約0.5 kmずれた。次に、エンベロープ相関法(Obara, 2002)で震源分布を推定した。実体波到達時刻読み取りによる結果と比べると、エンベロープ相関法ではA型地震の分布が南東へ約0.5 - 1 kmずれた。これは、エンベロープ相関法では、すべての観測点でエンベロープ形状が同じだと仮定していること、散乱などによるエンベロープ拡大を考慮していないこと、さらにエンベロープ形状のサイト特性を考慮していないことに問題があると考えられた。そこで本研究では、目視によるS波到達時刻の読み取りが可能な一部の地震を利用して、この問題点を解決する改良エンベロープ相関法を開発した。この手法では、S波到達時刻の不明な地震波形のエンベロープとS波到達時刻が対応付けられたエンベロープの

(NO. 4)

相互相関を計算することで、不明な S 波到達時刻を推定する。そして、この S 波到達時刻をデータとして震源を推定する。この手法を適用した結果、実体波到達時刻の読み取りによる震源分布はそのまま、観測された B 型地震の 71 % の震源を推定できた。これら B 型地震は、主火口の直下の海面下 0 - 2 km の円筒状の領域に分布すると考えられた。

第 4 章では、三宅島で観測された B 型地震の発生機構を推定した。第 2 章で発見された主要な 4 つの相似地震は、その波形特性から、同じ場所、同じ発震機構で発生していると考えられることから、本研究では、これら相似地震の発震機構を推定した。まず、グループ L2 の低周波帯域 (0.25 - 0.5 Hz) の地震波を励起する震源を、モーメントテンソル・インバージョンによって推定した。その結果、対角成分がほぼ同位相かつ等振幅の解が求められ、収縮が卓越する発震機構が推定された。一方で、4 つの相似地震グループでは、それぞれ周波数 1 Hz 以上の信号が卓越する。そこで、この卓越周波数帯における発震機構を、P 波と S 波の振幅比、および初動の押し引き分布から調べた。その結果、その発震機構はダブルカップル成分を十分含むものであると考えられた。特に、グループ L2 では、震源のほぼ直上の観測点の波形を調べると、低周波成分の収縮がダブルカップル型の破壊よりも 0.5 秒ほど先行していることが分かった。震源は火山ガスの放出が続く主火口の直下の海面下 1 km 付近に位置することから、地下の岩盤に囲まれて閉塞され高压下にあるガスが、何らかのきっかけで流出することで一時的な急減圧と収縮が起こったと推察された。そして、この収縮運動によって周辺の応力場が変化し、周囲の岩盤のせん断破壊が引き起こされたと考えた。また、グループ L2 のイベントで共通してみられる相似な波群の前には、P 波初動の約 1 - 5 秒前から前駆相の継続が認められ、収縮運動に先行して地下で何らかの流体運動が起きている可能性が示唆された。

第 5 章では、本研究で推定された三宅島の B 型地震の震源分布と発生機構を踏まえ、その発生場を議論した。まず、他の火山でよく認められる B 型地震と A 型地震の発生領域のすみ分けが見られないことについて、観測される波形特性や規模別頻度分布に注目して考察した。次に、B 型地震は火山ガス放出を続ける主火口の直下の円筒状の領域で発生していることを踏まえ、主火口からのガス放出活動や、2000 年噴火時に推定されたマグマだまりの位置とともに議論した。

本研究では、2000 年噴火後のガス放出期における三宅島の B 型地震に、新たに開発した改良エンベロープ相関法を適用することで、その震源を主火口の直下の海面下 0 - 2 km の円筒状の領域に推定した。さらに、一部の B 型地震の震源は体積変化を伴うことを明らかにした。B 型地震が、火山ガスの放出を続ける主火口の直下で発生していることを考えると、これらは、脱ガスに伴う地下の岩盤の破壊過程を反映したものと推定された。本研究で開発したエンベロープ波形を利用した震源決定法は、主に固有周期 1 秒の短周期地震計からなる標準的な火山観測網に適用できる。この手法によって、より多くの B 型地震の震源の推定が可能になることで、火山活動の監視や火山性地震の発生過程の解明に役立つことが期待される。