

コラム

人工地震を用いた火山体構造探査

東北大学大学院理学研究科 准教授 山本 希

1. はじめに

日本には世界中の活火山の約8%にあたる110の活火山があり、日本は世界でも有数の火山国です。これらの火山や火山活動によって形成された山麓の四季折々の豊かな風景は、古来多くの和歌に詠まれるなど日本の文化・生活に深く刻み込まれています。また、火山の熱エネルギーは温泉を生み、火山噴出物は肥沃な土壌をつくるなど、火山は我々の生活に多くの恩恵をもたらしています。しかしその一方で、ひとたび火山が活動を開始すると、近年の御嶽山・口永良部島の噴火のように大きな火山災害をもたらします。

そのため、1972年から国家事業として「火山噴火予知計画」が開始され、現在は「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」として噴火予知・火山災害軽減に向けた研究計画が実施されてきました。その結果、観測体制の整備と基礎研究の推進が行われ、地震活動や地殻変動などの諸現象と地下のマグマ・熱水活動との関連が明らかになりつつあります。本稿で紹介する人工地震による火山体構造探査は、このような研究計画の一環として、1994年以降継続的に行われてきた取り組みです。

2. 人工地震を用いた火山体構造探査

そもそも、なぜ火山活動の推移を理解するために内部構造を把握する必要があるのでしょうか。ここには大きく2つの側面があります。1つは、火山の状態変化把握の高度化です。火山活動の活発化に伴い、火山内部では火山性地震や火山性微動が発生しますが、その地震波の観測によって地下の応力や歪の変化といった状態の動的変化の情報を得ることができます。火山性地震の発生状況の変化からマグマの動きを推察し噴火が切迫していることを示した一例としては2000年の有珠山の噴火が挙げられます。しかし、もう一步踏み込んで、どのようなメカニズムの火山性地震がどこで発生しているかをより正確に推定するためには、震源と観測点の間の媒質、つ

まり地下構造をあらかじめ知る必要があります。もう1つの側面は、地下構造を明らかにすることによって、地下のマグマや熱水の位置・状態やそこから地表への輸送経路といった火山の形成史や今後の噴火ポテンシャルの解明につながる情報を得ることです。この静的な火山内部構造の把握は、噴火間隔が長く通常は静穏な状態にある火山に関する噴火予測の重要な基礎データとなります。

このような火山体内部構造の推定は、X線CTスキャンで人体の断面構造を推定するのと同様に、自然の地震や人工的な発震源からの地震波を火山周辺に配置した多数の地震計で捉えることによって行います。CTスキャンと少し異なるのは、CTスキャンはX線の吸収強度分布を推定するのに対し、地震波の解析は火山体内部の速度分布と吸収強度(地震波のエネルギー減衰)の分布を推定する点です。

自然の地震は地下深部で発生するため、火山の深部構造まで推定することに適していますが、その一方で震源分布に偏りがあり、いつ地震が発生するか前もって知ることができないため、長期間稠密な地震観測網を維持する必要がある等の難点もあります。また、火山の地表現象に直結する火山浅部の構造を詳細にイメージすることをやや不得意とします。一方で、人工地震を用いた場合は、発震源の数は限られるものの、発震のタイミング・位置を正確にコントロールできるため、探査目的に沿って稠密な地震計展開を行い、特に浅部のより詳細な構造推定を行うことができます。

このような観点から、我々は、気象庁等関係機関と協力し、全国大学の共同プロジェクトとして毎年1、2火山で人工地震火山体構造探査を実施してきました(図1)。それぞれの探査では、約150から330の臨時地震観測点が展開され、数十kgから数百kgのダイナマイトを用いた複数点の人工地震から発せられた地震波の観測を行います。

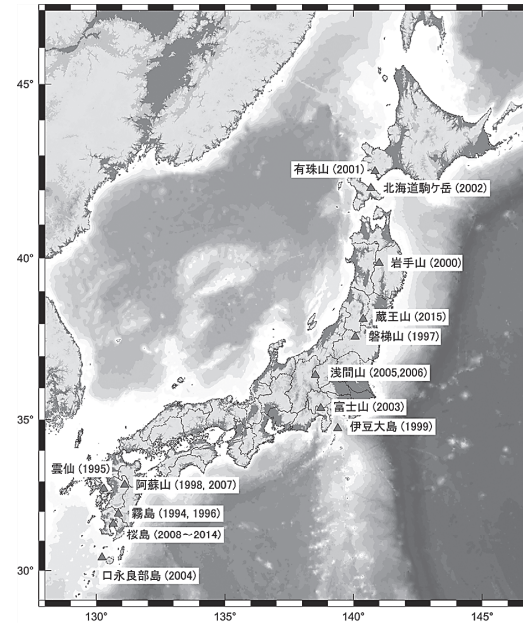


図1 人工地震を用いた火山体構造探査の実施履歴

3. 火山体構造探査の成果

では、人工地震を用いた構造探査ではどのようにして地下構造を調べ、どのようなことがわかってきたのでしょうか。人工地震探査の解析では、屈折波を用いた屈折法解析・走時インバージョン解析や、反射波を用いた反射法解析が主に用いられます。地表近くの人工震源から生じた地震波は、火山体内部の速度構造によって屈折・反射を起こしながら再び地表の観測点まで到達しますが、それらの屈折波・反射波の到達時刻や振幅を用いて、地下の構造を推定することができるわけです。

屈折波を用いた屈折法解析は、山体内の大局的な速度構造を推定することを得意とし、各火山の地質構造等や過去の活動域とも対応した固有の地下構造を明らかにしてきています。また、20年以上にわたって日本各地の火山を系統的に探査することによって、多くの活火山の山体中央部には周囲より地震波の伝播速度が速い高速度領域がやや深部(深さ数km)から連続的に存在することが明らかになりました。この高速度領域は、有珠山や岩手山では煙突状、阿蘇山や浅間山ではやや扁平な板状など多様な形状であるものの、概ね地表の火口の配置等の活動領域に対応しており、噴火活動の度に繰り返し貫入したマグマの固結領域あるいは高温・高压の火山性

流体の分布領域が活火山の多くに存在することを示唆します。一方で、火山浅部には低速度領域が検出される例も多くあり、こちらは浅部マグマ溜まりや熱水溜りであると解釈されています。最新の蔵王山の構造探査でも想定火口域浅部に低速度領域が認められ、その領域が強い地震波の減衰を呈することから熱水溜りの存在が強く示唆されます。

地表の発震源からほぼ鉛直に伝播し、地中の速度不連続等の反射面で反射し地表に戻ってくる地震波を用いた反射法解析では、解析できる空間範囲がやや限定されるものの、より詳細な火山体内部の不均質構造が解析できるため、地下のマグマの移動や蓄積を検出することができます。実際、桜島では2009年から2014年まで年1回、同一の地震観測点分布・人工震源位置で繰り返し反射法解析を行うことを主目的とした構造探査を実施し、桜島の火山活動と地下の反射体の反射強度等に対応は見られることが明らかになりました。

構造探査で地下構造が明らかになると、過去に発生した、また現在起きつつある火山性地震の震源決定をより精度良く行うこともできるようになります。その結果、例えば磐梯山では、1888年の山体崩壊を伴う噴火活動の際に見られた地表火口(噴気孔)の配列の直下に、現在でも火山性地震が群発する弱面が存在することが明らかになる等、過去の噴火活動の要因解明や今後の火山災害軽減に資する情報が得られています。また、地震学的手法で推定した構造と重力や電磁気等の観測手法で推定した構造を比較することによって、火山の形成史や地下水・熱水循環なども議論できるようになってきました。

4. 最後に

観測手法の進展やデータの蓄積によって火山体構造が明らかになりつつありますが、火山という複雑なシステムを十分に理解できていたわけではありません。また、火山研究は、火山という地球の営みを理解するというサイエンスであるとともに、火山災害を軽減することにも資する研究分野です。今後も多くの若い研究者達が加わり、更なる発展があることを望みます。