

氏名	にし 西	きよし 潔
学位(専攻分野)	博士(理学)	
学位記番号	論理博第1399号	
学位授与の日付	平成14年3月25日	
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当	
学位論文題目	A Method of Seismic Tomography for Volcanic Regions and Three-dimensional Seismic Velocity Structure beneath Unzen Volcano, Kyushu, Japan (火山地域におけるトモグラフィー手法と雲仙火山の3次元地震波速度構造)	
論文調査委員	(主査) 教授 石原和弘	教授 梅田康弘 助教授 須藤靖明

論文内容の要旨

Aki and Lee (1976) が地震波の走時を用いた3次元速度構造解析法を確立して以来、トモグラフィー手法は火山地域等の数10 kmのスケールから全地球規模のスケールまで、地殻やマンツルの3次元速度構造の研究に適用されている。この方法は、対象領域の速度構造を格子点又は直方体の集合で表現(パラメータ化)し、観測走時と理論走時の差から求められる走時残差が最小となるように、対象領域のパラメータの値(即ち速度構造)を決定する。従って、任意の3次元速度構造のもとでの地震波の走時と波線経路を正確に知るための波線追跡法が必要である。波線追跡法で求めた理論走時と観測走時から、逆問題により最適のパラメータの値を決定し、3次元速度構造を求める。現在、速度構造解析法として Thurber (1983) による SIMUL3 が多用される。波線追跡法にシュードーベンディング(pseudo bending)法が用いられている。この波線追跡法は、計算速度が速い利点がある反面、解に初期波線依存性があり、局所的に変化の大きい速度構造には適さない等の問題点がある。他方、波線の経路について初期値が不要で、また速度変化の大きい領域においても有効な波線追跡法として、任意の2点間の時間的な最短経路と走時を求める最短経路法がある。この方法は、速度構造に関する理論的研究としては行われてきたが、計算時間を要するため実データを用いたトモグラフィーにおいて実用的に用いられることはなかった。

申請者は、地震波速度の局所的大きな火山地域においても実用的に使用できる波線追跡法は最短経路法であると考え、最短経路法による3次元の地震波線追跡法を開発し、速度構造解析手法に組み込んだ。

第1部では、申請者は、4種類に大別される従来の波線追跡法のうち、Dijkstraのアルゴリズム(1959)を用い2点間の走時が最小となる経路を探索する最短経路法が、現存の波線追跡法の中では原理的に最もrobust性が高い(変化の大きい速度構造に対応できる)と考えた。特に、シュードーベンディング法と違い、初期波線依存性がないことに利点があると判断した。

多大な計算時間を要する最短経路法の難点を改善するため、申請者は、最短経路法の結果をシンプレックス法を用いて最適化する方法を用い計算時間を短縮した。また、波線の角度分解能を上げるため、波線が経由するnodeを、格子間の稜線にも任意の数だけ配置することが可能な条件を定式化した。これらにより最短経路法の場合と比較して、2~4桁の計算時間の短縮が達成された。数値速度構造モデルを用いてこの方法を評価して、走時誤差0.1%以下、波線誤差0.05 km未満で走時および波線経路が再現できることを示した。更に、数値速度構造モデルに対して、シュードーベンディング法によるトモグラフィー解析との比較を行い、最短経路法による方法が、速度構造の再現性がよいこと、走時誤差が小さくなることを示した。

第2部では、雲仙火山において実施された人工地震探査の観測データに、第1部で提案したトモグラフィー手法を適用し、雲仙火山の3次元速度構造を求めた。その結果、山体中央部の数kmの広がりの高速度領域の中に、1 km以下のより小規模な速度異常域をいくつか見出した。具体的には、地盤変動から推定された雲仙普賢岳のマグマ溜りに対応した低速度域を見出した。また、3 km以浅の火山性地震の多くは高速度領域と低速度領域の境界で発生し、低速度領域の地震活動は低い

傾向があることを指摘した。更に、最短経路法を用いたトモグラフィー結果とシュードーベンディング法を用いたトモグラフィー結果と比較し、前者で見出された1 km以下の局所的な低速度領域が後者では認められないことや、走時残差も前者が後者に比べて小さいことを示した。実データを用いた解析においても、申請者が開発した波線追跡法によるトモグラフィー手法が、従来の方法に比べて速度構造の空間分解能が優れていることを示した。

参考論文15編の内、8編は火山性地震、1編は九州の地震活動、2編は雲仙岳の地殻変動、4編は火山地域の地震波速度構造に関するものである。

論文審査の結果の要旨

火山の地下構造に関する研究は、マグマ供給系や火山噴火など様々な火山現象の発生機構を解明する上で貴重な情報を提供する。近年、雲仙岳、桜島などで、火山性地震の震源分布や地殻変動観測データ解析などから、マグマ溜りや火道などの存在が明らかになりつつある。一方、地震波速度などからマグマ溜りの存在を推定する研究もなされてきた。阿蘇山等では、自然地震の地震波の走時データを用い、地震学の分野で多大な成果を挙げたトモグラフィー手法を適用した3次元速度構造の推定がなされ、マグマ溜りの存在に対応すると考えられる低速度域が見出されている。しかし、観測点密度の不足等から、マグマ溜りの大きさやその構造を把握することはできていない。近年、火山地域の浅部マグマ溜りや火道の存在を実証することを目的に、霧島山、雲仙岳等で、人工震源を用いた稠密な観測網による構造探査が実施されてきた。この多量のデータを用いて、微細な構造を明らかにするためのデータ解析手法の開発が緊急の課題となっている。

申請者は、人工震源を用いた稠密観測データに対する屈折法による構造解析に関する研究や、申請者自身も行った従来のトモグラフィー手法による3次元速度構造解析に関する研究結果から、不均質性が強い火山地域の速度構造の決定に有効なトモグラフィー手法の開発の必要性を認識した。従来多用された、シュードーベンディング(pseudo bending)法を波線追跡に用いたトモグラフィーは、初期値依存性が高く、構造の複雑な火山地帯の構造解析には不向きであると判断した。

第1部では、申請者は、多大な時間を要するものの、理論上もっとも適切と考えられる、2点間の最短経路を求めるDijkstraのアルゴリズムを波線追跡法として採用したトモグラフィー手法を提案した。最短経路法の結果をシンプレックス法により最適化する方法を用い計算時間の短縮を図り、波線が経路するノードを格子間の稜線に任意の数だけ配置することが可能な条件を定式化して、波線経路の高精度化を実現した。その結果、最短経路法のみによる計算と比較して、計算時間の2~4桁の短縮が達成され、実用に供することができることを示した。また、数値速度構造モデルにより、走時や波線経路の精度を確認するとともに、従来のシュードーベンディング法を用いたトモグラフィーと比較して、速度構造の再現性が優れていること、走時誤差が小さくなることを示した。

第2部では、雲仙火山で実施された構造探査データに第一部で提案した方法を適用し、浅部3次元速度構造を求めた。また、従来のシュードーベンディング法を用いたトモグラフィーの結果と比較して、その有効性を検証した。申請者の開発した手法による解析結果により、雲仙岳の地下1~2 km付近では、平均的地震波速度から最大約25%の幅で変化していること、また、雲仙岳の中央部では、1~2 km間隔で局所的な高速度と低速度の領域が混在していることを明らかにした。特に注目される結果は、マグマ溜りが存在すると考えられている場所に局所的な低速度域を見出した点である。従来の方法では、この局所的な低速度域は検出できていない。申請者が新たに提案したトモグラフィー手法が、従来の方法に比べて速度構造の空間分解能が高いことを、実データでもって示した。

以上のように、申請者は、理論上もっとも妥当と考えられるが、膨大な計算時間を要するため、実用に不向きであった最短経路法を波線追跡法にとりいれたトモグラフィー手法の開発に取り組み、申請者の工夫により、計算時間の大幅な短縮と速度構造の空間分解能の向上を実現し、実データの解析にも供せる段階に到達した。更に、従来のトモグラフィー手法に比べて、再現性および空間分解能が高いことを、数値速度構造モデルおよび実際の観測データを用いて実証した。特に、高々数百 mの広がりと考えられる雲仙普賢岳のマグマ溜りに対応する局所的な低速度域を見出したことは特筆される。このことは、申請者が開発した手法は、他の火山における構造探査データによる浅部マグマ供給系の解明、自然地震の走時データを用いた火山深部マグマ溜りの研究にとって、強力な解析ツールとなることを示している。また、実体的なマグマ供給系のイメージ構築に寄与することが期待され、火山噴火予知および火山学の観点からも高く評価される。

よって、本論文は、博士（理学）の学位論文として価値あるものと認められる。なお、主論文および参考論文にある研究業績に関連した分野、および外国語について試問した結果、合格と認めた。