

氏 名	みず の たか し 水 野 高 志
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2616 号
学位授与の日付	平 成 15 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
学位論文題目	Deep Structure of Active Faults Estimated from Subsurface Observation of Fault-Zone Trapped Waves—the Nojima and the Mozumi-Sukenobu faults, Japan— (断層トラップ波の地中における観測から推定される活断層の深部構造—野島断層, 茂住祐延断層—)
論文調査委員	(主 査) 助教授 西 上 欽 也 教 授 Mori, James J. 教 授 岡 田 篤 正

論 文 内 容 の 要 旨

断層破砕帯の深部構造を調べることは、地震破壊と断層構造との関係、あるいは活断層の成長プロセス等を解明する上で重要である。従来の速度構造トモグラフィー等の手法では、幅が数10m～数100mと推定される断層破砕帯の内部構造を推定することは難しく、最近、いくつかの活断層で観測されている、低速度の断層破砕帯にトラップされて伝播する波動、いわゆるトラップ波の解析が有力なアプローチと考えられる。しかしながら従来のトラップ波研究では地上に設置された地震計で観測されており、地表付近浅部の構造不均質の影響が大きく、ボアホール観測等の良質なデータの解析が必要と考えられる。そこで本研究では、野島断層の破砕帯に達する深さ1800mのボアホール地震計、および茂住祐延断層の深さ300mにおいて断層を貫通する調査坑道での地震計アレイの記録を用いて解析を行った。

本研究ではまず、野島断層の1800mボアホール記録について解析を行った。1999年1月～2000年5月、淡路島北部から神戸付近に発生した462個の地震データから、できるだけ客観的にトラップ波を検出するために、波動の分散性、波動の振動特性、振幅スペクトルの形状をもとにlove波型のトラップ波を示す地震31個を選んだ。さらにこの中から、波動の分散性が5-12Hz範囲で特に明瞭に認められる6個の地震を、典型的なトラップ波として選択した。このトラップ波6例についてまず、分散曲線のモデリングを行い、phase recursion algorithm法による理論的な分散曲線と観測される分散曲線の残差が最小となる破砕帯のS波速度(2.8-3.1km/s)と幅(190-360m)を推定した。また1例のトラップ波には1次の高次モード波と解釈できる分散性波動が見られ、これから破砕帯内部の減衰パラメータQ値を50以上と推定した。次に、二次元の破砕帯構造モデルにおけるトラップ波の理論波形をBen-Zion and Aki (1990)の方法を用いて計算し、観測波形との相関係数が最大となる破砕帯の構造モデルを推定し、S波速度(2.5-3.0km/s)、幅(150-290m)、およびQ値(40-60)を得た。このようにして得られた野島断層の破砕帯構造モデルは、従来の地上観測による結果(幅20-40m)と比べて、破砕帯の幅が広いことを示した。その他、確実なトラップ波を示す6個の地震分布から野島断層が約70°で南東方向に傾斜すること、および明石海峡付近に破砕帯(低速度層)の不連続が存在すること等を示した。

次に、茂住祐延断層の地下観測坑におけるアレイ観測データについて解析を行った。1997年5月～2001年6月の期間中、断層周辺に発生した154個の地震に対して、トラップ波の同定を行った。ここでは野島断層での解析と同様の判断基準に、アレイ観測における波動振幅の空間分布、および波動の見かけ速度の2点を加えてトラップ波の同定を行い、9例のトラップ波を検出した。このトラップ波に対して、分散曲線および波形のモデリングを行い、S波速度(2.9-3.1km/s)、幅(160-400m)、およびQ値(60-90)を得た。地下観測坑では、岩盤中に2カ所の破砕帯の存在が観察されており、両者を含む破砕帯全体の幅は約200mと見積もられている。本研究でトラップ波の解析から推定された破砕帯の幅は、ばらつきの範囲が大きいものの、この観察の結果とおおむね一致することを示した。

以上、野島断層と茂住祐延断層での地中における観測データから客観的な判断基準に従ってトラップ波を検出した。その

割合は、野島断層で約1-7%、茂住祐延断層で約6%である。トラップ波のモデリングにより各々の断層破碎帯の構造を推定した。本論文では、この結果に基づき、活断層の成長モデルに関する考察も行った。

論文審査の結果の要旨

最近（約10年間）、断層破碎帯の低速度層にトラップされて伝わる波動、いわゆるトラップ波がアメリカ、日本のいくつかの内陸活断層や地震断層において観測されるようになり、この波動の断層深部構造調査への適用が期待されている。しかしながら、トラップ波の研究手法はまだ十分に確立されたものではなく、トラップ波の解析手法はもとより、トラップ波を検出するための観測、トラップ波の同定手順といった基礎的な部分にもまだまだ改善の余地は大きい。

申請者は、地表付近の構造不均質による影響を除去するために、地下深部で観測されたデータを用いた。断層における1800m ボアホール記録および地下アレイ記録は世界的にも類を見ないオリジナリティの高い貴重な観測データであり、まずこの点において、本論文のトラップ波研究における意義は大きい。申請者はトラップ波の持つ特性をできる限り客観的に評価して、トラップ波を同定・検出することを試みた。その結果、野島断層では約1-7%、茂住祐延断層では約6%の地震に対してトラップ波を検出した。分散曲線、波形のモデリングについてはパラメータ間のトレードオフが存在するものの、観測結果を比較的良好に説明するモデルを得ており、このことも観測された波動がトラップ波であることを支持している。トラップ波が1800m 深度で検出されたのは世界で初めてであり、深部起源の波動であることを示した点において、貴重な成果とすることができる。今後、トラップ波の研究ではボアホール記録を用いることが重要になると予想され、本論文におけるトラップ波検出手順は十分参照されるべきものと思われる。

茂住祐延断層において、トラップ波から推定された破碎帯の幅は、坑道内で実際に観察される破碎領域の広がりと同様であった。これは地震学的解析の結果と地質学的観察の一致を示す、注目すべき成果である。野島断層においては、従来の地上観測に基づく研究よりも破碎帯の幅をかなり広く推定した。本論文ではこの結果について、ボアホール観測の優位性で確かに野島断層の幅は広いのか、あるいは観測場所が違ふことによる地域性なのか、解釈の可能性を示すにとどまった。茂住祐延断層でも野島断層と同程度の破碎帯幅が推定され、これは上述のように坑道内の破碎領域の広がりと同様であることから、野島断層においても幅の広い破碎帯モデルが正しい可能性を示唆する。今後さらに検討すべき問題を提起したと言える。

波形解析に使用した破碎帯の二次元構造モデルについては、申請者も述べているように、茂住祐延断層において断層外側での観測波形（振幅）を十分に表現できず、単純なモデルの適用限界も示すこととなった。また、本論文では活断層の成長モデルについても言及しているが、十分なものではない。この点に関してはトラップ波の解析による破碎帯構造をさらに多くの活断層に対して推定した後に議論すべきものと考えられる。

以上、本論文は従来にない地中での観測データに基づき、トラップ波の客観的な検出手法を提案するとともに、野島断層および茂住祐延断層の深部構造について新しい知見を加えた。このような観点より、本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値があるものと認める。論文内容とそれに関連した試問の結果、合格と認めた。