

浅層反射法地震探査により明らかになった活断層の地下構造：最近10年の成果と今後の課題

Active faults explored by shallow seismic reflection profilings: A decade perspective and future research directions

石山 達也 [1]; 佐藤 比呂志 [2]

Tatsuya Ishiyama[1]; Hiroshi Sato[2]

[1] 活断層研究センター; [2] 東大・地震研

[1] Active Fault Research Center, AIST; [2] ERI, Univ. Tokyo

1. はじめに

全国の活断層においては数多くの浅層反射法地震探査が実施され、特に1995年兵庫県南部地震以降、活断層の地下構造に関するデータ量が飛躍的に増大した。これらは活断層の地下構造ひいては地形・地質構造の形成過程を明らかにする鍵である。本発表では、浅層反射法地震探査データから明らかになる活断層像と今後の課題について議論する。

2. 今まで明らかになったこと

最近10年間に実施された浅層反射法地震探査は、一般に発振点・受信点間隔が10m、共通反射点間隔は5mであり、同時に96チャンネル以上のアレーが採用されている。その結果、それ以前の探査よりもはるかに高い水平解像度を有する地下1-2kmの詳細な反射断面が得られた。これらは大縮尺の空中写真を利用して行われた活断層のマッピングとの対応関係を議論するに十分な精度を持っているといえる。

逆断層において実施されたこのような高精度反射法地震探査は、その地下構造の理解に多大な貢献をした。一連の探査で得られた最も重要な知見は以下の通りである：(1) 千屋断層（佐藤・平田, 2000）や呉羽山断層といった逆断層では、地下から低断層崖・撓曲崖地形の基部に到達したスラスト（emergent thrust ramp）が検出された。その一方、(2) 低断層崖や撓曲崖といった地表に変形の痕跡のある場合でも、断層面が地表まで到達していない場合が多いことがわかった。つまり、この場合、断層変位地形や反射断面にイメージング構造は逆断層によって形成されたと考えられる褶曲構造である。また、(3) 庄内平野東縁断層帯のように、丘陵東縁部の低断層崖地形を横断するトレンチ壁面で逆断層構造が認められているにもかかわらず、反射断面ではこれに連続するような逆断層が認められない場合（out-of-syncline thrust）もある。このように逆断層の地下構造は非常に複雑である。

一方、陸上の横ずれ断層の多くは山地に分布するため、逆断層に比べて反射法地震探査の数は少ない。従って、その地下構造は未解明の部分が多い。その中でも、中央構造線の探査（吉川ほか, 1993）は北傾斜する中央構造線の地質境界断層をイメージングしたものであり、新しい横ずれ断層像を提示したものと重要である。

3. 今後の課題

3.1 活断層の深部構造

活断層の地下構造を推定する場合、地表から地下2-3kmに比べて、それ以深の拘束条件の数が圧倒的に少ない。東北日本弧や北海道中軸部では、新生代の堆積物が10km内外の上部地殻セクションを構成するため、地表地質は地下深部の有効な拘束条件になる。しかし、西南日本弧のように基盤岩類と鮮新-更新統の間に大きな不整合があるような場所では地下2-3km以深の構造を直接把握することは困難である。このような場合、大深度反射法地震探査による活断層の深部構造の直接的なイメージングが必要であり、その試みは既に始まっている（例えば Sato et al., 2005）。また、活断層の起源を知るためには、まずその地殻構造を知ることが必要である。例えば、近畿地域内帯では中生代付加プリズムを切って鮮新世以降に形成された衝上断層帯が発達するが、その形成メカニズムは明らかではない。古期の沈み込み時に形成されたデュプレックス構造や白亜紀に貫入した花崗岩体など、基盤岩類の不均質構造にその起源を求める必要があるかもしれない。このように、上部地殻スケールの震源断層としての活断層の深部構造を理解するには、地殻浅部だけでなく反射・屈折法構造探査による地殻構造のデータを蓄積し、これらを構造発達・地史の視点から統合的に説明する試みが必要であろう。

3.2 3次元断層モデル

これまでの断層モデルは、たいていの場合2次元断面である。しかし、実際には断層は曲面であり、これを求めるには変動変形・地質構造の3次元取的取り扱いが必要である。Ishiyama et al. (2004) は反射断面と変動地形の構造的なつながりが断層の走向沿いに追跡できることを変動地形の空間的分布から示した。逆断層の走向に沿って断面と変動地形の対比を行い、変動地形・地質構造の空間的变化を把握することにより、走向方向の断層構造の変化を検討することができる。このように地表から推定される断層構造の不均質性は、褶曲衝上断層帯における地震の発生様式（セグメンテーション・グルーピング）を強く規制するものと考えられる。実際、2003年宮城県北部の地震や2004年新潟県中越地震では、変動地形・褶曲構造から推定される断層構造の変化が余震の発生位置を規制したように見える。これまで余り着目されてこなかったセグメント境界の地質学的実体を反射法地震探査から明らかにすることは、逆断層帯の地震発生様式を地形・地質構造の観点から理解する上で興味深い示唆を与えると期待される。