

## 断層破砕帯の地震学的構造 - レビューと展望 -

### Seismological studies of fault zone structure -A review and future prospect-

# 西上 欽也[1]

# Kin'ya Nishigami[1]

[1] 京大・防災研

[1] Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.

<http://gemini.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/~rcep/nishigami/>

#### 1. はじめに

断層深部構造を知ることが地震発生場の構造と破壊過程を理解するうえで基本的に重要である。ここでは、地震学的手法による断層構造の研究について簡単にレビューし、今後の展望を試みる。

#### 2. 低速度の断層破砕帯の存在

断層破砕帯が周辺岩盤より低速度であることは、まず、地震波の走時解析から推定される。例えば、跡津川断層系の茂住・祐延断層において、地下 300m で断層を貫通する調査坑が掘削され、15m 間隔で多数の地震計を設置することにより、P 波および S 波の見かけ速度が周辺岩盤の約 30% に低下した破砕帯（幅は各々約 50m）が 2 力所存在することが推定された（Nishigami, 2002）。これは調査坑における岩石破砕度の観察結果とも良い対応を示した。高密度の観測網と多数の地震および複数の人工地震データを合わせ用いた速度構造トモグラフィーも行われている。例えば、サンアンドレアス断層において、地表から深さ約 6km まで約 70 度で傾斜した、低 P 波速度、高ポアソン比の断層構造（2 次元）が推定され、それに沿った微小地震分布が示された（Thurber et al., 1997）。また、断層破砕帯近傍の観測点では P 波、S 波の走時、振幅に複雑な変動パターン（三重合、増幅）を生じる場合があり、カラベラス断層ではそれらを説明するために、幅 1-2km の低速度層（深さ方向に幅が狭くなるくさび状）が推定された（Cormier and Spudich, 1984）。

#### 3. 断層トラップ波

低速度層としての断層破砕帯が存在すれば、その中で多重反射を繰り返して伝播する波動（断層トラップ波、ガイド波）が存在する。このような波動が自然地震に対して明瞭に観測されたのは 1992 年 Landers 地震（M7.4）の余震が最初であり（Li et al., 1994）その後、サンアンドレアス断層の数力所、1999 年 Hector Mine 地震（M7.1）の余震等に対して観測された。日本では、1995 年兵庫県南部地震（M7.3）の余震に対して、野島断層（平林、地上アレイ）において明瞭なトラップ波が観測され、破砕帯の幅：20m、S 波速度：周辺岩盤の 40%、Q 値：20 が推定された（Nishigami et al., 1996; Ito et al., 1996）。また、トラップ波を示す地震の分布から、野島断層は南東方向に約 85 度で傾斜していることが推定された。ここで推定された破砕帯幅と速度低下が、野島断層を貫通するポアホールにおける速度検層結果とおおむね一致したことは注目に値する。トラップ波は震源-観測点間の破砕帯の連続性とその平均的な構造を推定する上で、有力なアプローチと考えられる。現在、野島断層（富島）の破砕帯に達するポアホール地震計（深さ 1700m）記録を用いて、系統的な解析が行われている。断層周辺で発生する全地震の約 5% に対してトラップ波が観測され、その分散性・波形モデリングにより破砕帯構造の詳細な解析および時間変化（回復過程）が調べられつつある（水野・西上、2002）。Landers 地震および Hector Mine 地震の震源域では、ダイナマイト震源による人工地震実験が繰り返し実施され、破砕帯内の S 波速度が年間約 0.4-1.0% 増加しつつあることが検出されている（Li et al., 2002）。2000 年鳥取県西部地震（M7.3）については、震源アレイ法によるトラップ波検出の有効性、およびトラップ波解析により震源過程に関連した震源断層構造を推定可能なことが示された（西上・他、2001）。

#### 4. 今後の展望

断層トラップ波に関しては、確実な観測例が各地で報告されてきた。今後は、より客観的・系統的なトラップ波の同定・検出手法の確立、トレードオフの大きい破砕帯パラメータの推定アルゴリズム開発を行い、その後、トラップ波をどこまで応用できるか、例えば活断層の 2 次元破砕帯構造トモグラフィーまで可能か、等の検証が必要である。観測としては、良質のポアホール地震記録が重要であり、その場合（1 点観測であるため）震源アレイ解析法が有効と思われる。その他の手法に関しては、例えば、散乱波を用いた断層沿いの散乱強度分布の推定、断層にアクティブに働きかける実験（注水等）の利用、地下深部における繰り返し人工震源としての誘発地震の利用、等々あるだろう。