

地震波干渉法によるニュージーランドアルパイン断層近傍の S 波異方性の推定

高木涼太・岡田知己（東北大学）・吉田圭佑（防災科研）

John Townend, Laura-May Baratin, Calum Chamberlain,

Martha Savage (Victoria University of Wellington), Carolin Boese (IESE)

はじめに

ニュージーランド南島を縦断するアルパイン断層はオーストラリアプレートと太平洋プレートの境界であり、逆断層成分を持つ右横ずれのトランスフォーム断層である。国際陸上科学掘削計画 (ICDP) の一環として行われたアルパイン断層深部掘削プロジェクト (Deep Fault Drilling Project (DFDP)) では、深部掘削によってアルパイン断層の構成岩石を直接観察し、断層運動に伴う岩石の変形過程を理解することを目的としている (Townend et al. 2009)。一方、地震波異方性は応力場や岩石の変形により作られるクラックや鉱物の選択配列が原因と考えられており、地震観測からも異方性を推定することで応力場や岩石の変形過程についての情報が得られる。本研究では、DFDP 掘削地点とその周辺においてアルパイン断層近傍の S 波異方性を推定した。

データと解析方法

使用した手法は地震波干渉法である。ボアホール地震計とその直上に設置した地表地震計との相互相関解析からボアホール底・地表間を伝播する S 波を抽出し、S 波到達時刻の振動方位依存性からボアホール底・地表間の S 波速度異方性を推定する (Nakata and Snieder, 2012)。上盤側 (太平洋プレート) の 2 つの掘削孔 DFDP1・2 に設置されたボアホール観測点 (深度 81 m・400 m) と下盤側 (オーストラリアプレート) の 2 つのボアホール観測点 WHAT・FRAN (深度 61 m・98 m) の計 4 点を使用した。上盤側の掘削孔直上においては、満点地震計・満点ロガーを用いて新たに地表地震観測を行った。下盤側の 2 点では地表地震計を併設した期間があるため、そのデータを使用した。GeoNet カタログに基づき、各観測点に対して震央距離約 400 km 以内における M1.8-6.2 の 23-89 個の地震を選択した。地震計設置方位・機器特性の補正後、800 Hz でアップサンプリングした。S 波走時の 1.5 倍から SN 比が 2 以下になるまでの最大 100 秒間の時間窓で相互相関関数を計算した。振動方位を 0 度から 180 度まで 5 度刻みで回転させ相互相関解析を行った。相互相関関数の時間微分からピークを読み取り、振動方位依存性から速い S 波方向と異方性強度を推定した。DFDP2 では 3-6 Hz、その他の観測点では 2-16 Hz 帯域を使用した。

結果と議論

上盤側の 2 観測点ではアルパイン断層走向に平行な速い S 波方向が得られた (図 1)。また、アルパイン断層から 100 m 程度の断層ごく近傍の DFDP1 では 21% という強い異方性が観測された。上盤はアルパイン断層に平行な面構造が発達した片岩やマイロナイトで構成されている。また、孔壁音響イメージングから、断層運動によるアルパイン断層に平行な亀裂が卓越することが示されている (Doan et al. 2015)。そのため、上盤側では、断層運動に伴う岩石の変形・亀裂を反映した構造異方性が卓越し、断層ごく近傍で強い異方性が観測されたと考えられる。

下盤側では速い S 波方向が東西方向を向き、アルパイン断層に 33-40 度の角度をなす。下盤は花こう岩で構成されており、応力によるクラックの選択的閉鎖が異方性を作っていると考えられる。観測された異方性が応力場を反映しているとする、最大水平圧縮軸方向は地震のメカニズムから推定した広域応力場 (Boese et al. 2012) に対して 25 度程度断層走向に近づく方向に回転していることになる。これは断層近傍において深さ方向に応力場が変化している可能性を示しているおり、同様の応力場の回転はサンアンドレアス断層でも報告されている (Hickman and Zoback, 2004)。対象領域は断層運動により特に起伏が激しい地域であるため、地形による重力の効果が地殻浅部の応力場を変化させている可能性が考えられる。

広い周波数帯域で安定して異方性を推定できた上盤側 (DFDP1) と下盤側 (FRAN) の2点について周波数依存性を調べた結果、2つの観測点で異なる特徴が得られた (図2)。DFDP1では周波数が大きくなるにつれて異方性強度が減少するのに対し、FRANでは異方性強度の周波数依存性は小さい。波長に対して十分小さな不均質のみが異方性に寄与するため、異方性強度の周波数依存性は亀裂などの不均質のスケールを反映すると考えられる。断層ごく近傍のDFDP1では、断層運動による破碎によって、下盤側の観測点よりも大きなスケールの亀裂を含んでいると解釈できる。

本研究では、地震波干渉法によりアルプイン断層近傍のS波異方性を推定し、上盤側と下盤側で異なる特徴の異方性が得られた。今後の課題として、自然地震を用いた地殻内S波スプリッティングとの比較、応力場の地形効果などの定量評価があげられる。また、地質学的観測と比較し、スケールの異なる地質学と地震学の観測結果を融合した解釈をしていきたい。

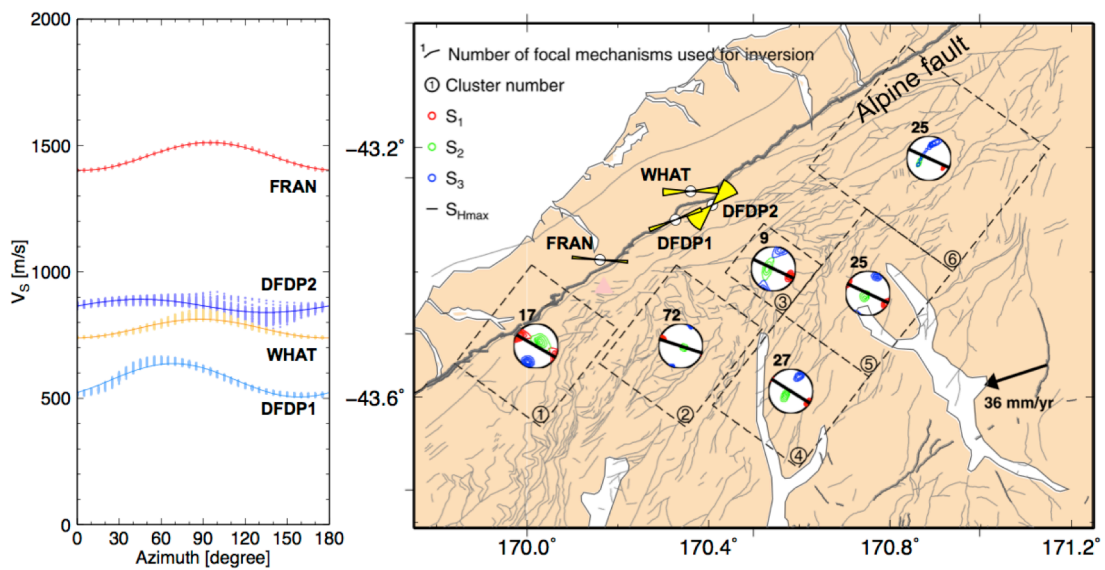


図1. S波速度の振動方位依存性 (左) と速いS波方向の空間分布 (右). 右図は, Boese et al. (2012) による地震メカニズム解から得られた広域応力場に加筆, 扇型で速いS波方向の誤差を示す.

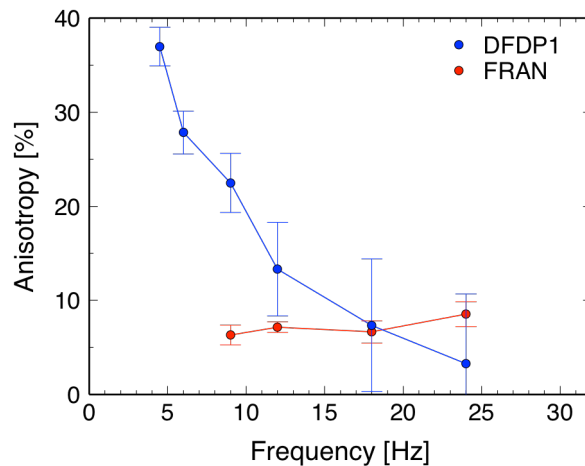


図2. 異方性強度の周波数依存性. 観測点間距離が半波長以上になる周波数帯域のみで推定.