

- (1) 実施機関名：
立命館大学
- (2) 研究課題(または観測項目)名：
透過弾性波を用いた岩石の破壊過程のイメージング
- (3) 最も関連の深い建議の項目：
2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進
(4) 地震発生・火山噴火素過程
ア. 岩石の変形・破壊の物理的・化学的素過程
- (4) その他関連する建議の項目：
2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進
(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程
(3-1) 地震発生先行過程
イ. 先行現象の発生機構の解明
- (5) 本課題の 5 か年の到達目標：
- (6) 本課題の 5 か年計画の概要：
- (7) 計画期間中(平成 21 年度～25 年度)の成果の概要：

内陸地震の破壊域における亀裂の生成と成長過程は、直接観察することはできないが、断層帯を透過する弾性波の時空間的な変化を用いて推定することができる。さまざまなサイズの断層帯に対して、透過した弾性波がどのようにふるまうかを検討するため、前半期の公募課題において研究を進めた断層長が数 cm の岩石試料の破壊試験に加えて、断層長が m スケールの大型岩石試料のせん断試験のデータを用いて解析をおこなった。また、南アフリカのイズルウィニ鉱山において数 10 m 程度の測線長で展開されている能動震源による弾性波透過試験のデータの解析をおこなうとともに、地殻スケールにおいても能動震源(アクロス)による透過弾性波が 1 - 100 km 程度の測線に対してどの程度安定して観測されるかを調べた。

平成 24 年度は、防災科学技術研究所の大型振動台を用いた大型二軸せん断試験機を用いて、一辺が数十 cm - 2 m の大型岩石試料を用いた二軸せん断試験を実施した。不安定滑りにともなうせん断面の状態を推定するために、試料上端の広帯域圧電トランスデューサに 60 kHz の連続正弦波を印加して弾性波を透過させ、試料下端の広帯域圧電トランスデューサ 8 点で 20 Msps の連続多点計測を実施した。同時に、半導体ひずみゲージや圧電素子によって、せん断にともなうひずみと AE を計測した。不安定滑りの発生時には、小さい音を伴った小滑りイベントに引き続いて、大きな音を伴う大滑りイベントが間欠的に発生し、それに同期するように大振幅の波動が記録された。低速(0.025 mm/sec)でせん断荷重を加えた試験の際に得られた受振波形の振幅と位相(60 kHz)の時刻歴を調べたところ、数十秒間隔で大きな音を伴いながら大滑りが発生し、位相と振幅に乱れがみられた。大滑りの発生した

時刻と同期するように、振幅の低下と位相の遅れおよびそれに引き続く振幅と位相の回復がみられた。位相の遅れはすべてのイベントで明瞭に見えるわけではなかった。

平成 25 年度は、地殻スケールにおいて透過波がどの程度安定して観測可能であるかを検討するために、南アフリカのイズルウィニ鉱山と日本の東濃地域の 2 つのサイトで能動震源から放射される弾性波を用いた解析を実施した。

まず、岐阜県東濃鉱山に設置されているアクロス震源から放射された信号を、1 km 程度はなれた観測点（東濃地震科学研究所の正馬様観測点）と 10 - 100 km 程度はなれた Hi-net 観測点（防災科学技術研究所）の連続速度波形記録を用いて解析した。送信に対応する 10 - 20 Hz の周波数帯において、正馬様観測点の 1 日分のスタック波形では、S/N 比が 10 倍以上の明瞭な信号が得られた。また、相関係数は 0.9 前後と高い値を示し、また、平日に比べて顕著に高い相関値が得られた日曜日のスタック波形のみを用いて、同じ期間のクロススペクトルを求めたところ、振幅は小さいものの lag に年周変化が見られることがわかった（図）。さらに、Hi-net の 6 つの観測点（震央距離約 10 - 110 km）において記録された波形を一定期間（最長 3 ヶ月）分スタックしたところ、アクロスからの受信信号が震央距離約 20 km までの観測点において明瞭に受信されていることがわかった。

次に、イズルウィニ鉱山で展開している能動震源を用いた透過弾性波解析をおこなった。2011 年 4 月からこの鉱山において、断層を透過する弾性波のモニタリングをおこなっている（川方・他、2011）。現在までに、数ヶ月間に渡る幾度かの欠測を含みつつも、2012 年 11 月までの 1.5 年に渡るモニタリングが実施され、その後も欠測を含みつつも観測は継続されている。一日分のデータからは、10 μ 秒程度の lag のばらつきが認められるものの、安定したモニタリングがおこなえていることがわかった。また、2012 年 4 月から 5 月にかけて、最大相関を示す lag に変化が認められた。

透過弾性波は、地下の断層をモニターするための有力な候補となることが示されたが、能動震源のような安定した弾性波源が必要であり、年周変化などの地震に関係しない変化の素性を明らかにする必要性も同時に示された。

- (8) 平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
Kawakata, H., N. Yoshimitsu, E. Fukuyama, K. Mizoguchi, F. Yamashita, T. Togo, M. Sato, I. Doi, Characteristics of Transmitting Waves across a Fault Plane during Stick Slip Tests Using a Large Shaking-Table, Proc. 6th Int. Symp. on In-Situ Rock Stress, Sendai, 1156-1161.

川方裕則, 吉光奈奈, 中谷正生, J. Philipp, 土井一生, 直井誠, 村上理, A. Ward, G. Morema, V. Visser, S. Khambule, T. Masakale, A. Milev, R. Durrheim, L. Ribeiro, M. Ward, 小笠原宏, 2013, 断層透過弾性波のモニタリング - 南アフリカ Cooke4 金鉱山, 日本地震学会 2013 年秋季大会, A11-08, 神奈川県民ホール, 横浜。

村上理, 川方裕則, 吉光奈奈, 中谷正生, 直井誠, J. Philipp, T. Masakale, T. Kgarume, L. Ribeiro, 森谷祐一, 矢部康男, A. Ward, R. Durrheim, 小笠原宏, 2013, 能動震源を用いた南アフリカ金鉱山微小破壊観測網のセンサー特性の時間変化の推定, 日本地震学会 2013 年秋季大会, P1-04, 神奈川県民ホール, 横浜。

- (9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

他機関との共同研究の有無：無

- (10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：

電話：

e-mail：

URL：

(11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 川方裕則

所属 :

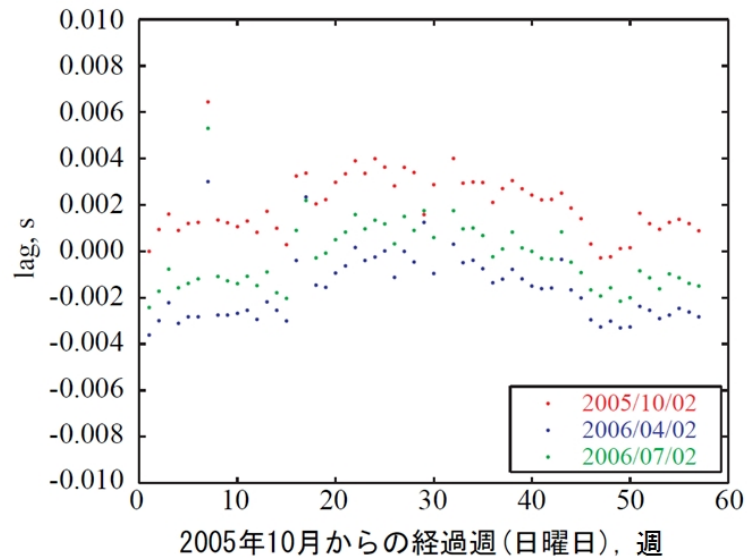


図 . 正馬様観測点における 2005 年 10 月 1 日から 2006 年 10 月 31 日までの lag の年周変化 .
平日に比べて高い S/N 比を示した日曜日のデータのみを用いてクロススペクトルから推定された値 . 色ごとに基準波形とした日付が異なっている .