

コーダ波を用いた坑道検出の試み  
- 南アフリカ Ezulwini 金鉱山観測サイト -

#今川祥太・川方裕則・土井一生・吉光奈奈・村上 理 (立命館大学)・  
中谷正生・直井 誠 (東京大学)・Joachim Philipp (GMuG)・  
Tony Ward・Gilbert Morema (Seismogen)・Vlok Visser・Sifiso Khambule・  
Thabang Masakale (OHMS)・Alex Milev・Ray Durrheim (CSIR)・  
Luiz Ribeiro (First Uranium)・Mike Ward (Seismogen)・小笠原 宏 (立命館大学)

**An Attempt to detect vacancies as strong scatterers using S-coda wave  
-the Ezulwini gold mine in South Africa-**

#S. Imagawa, H. Kawakata, I. Doi, N. Yoshimitsu, O. Murakami (Ritsumeikan Univ.),  
M. Nakatani, M. Naoi (Univ. Tokyo), J. Philipp (GMuG), T. Ward, G. Morema (Seismogen),  
V. Visser, S. Khambule, T. Masakale (OHMS), A. Milev, R. Durrheim (CSIR),  
L. Ribeiro (First Uranium), M. Ward (Seismogen), and H. Ogasawara (Ritsumeikan Univ.)

はじめに

資源探査、地球内部構造研究において、速度の不均質を伴う構造を調べる手法として、反射波解析、散乱波解析、走時トモグラフィーなどがある。実際に期待される不均質構造の特徴的なスケールや使用する地震波の波長、地震アレイ等に応じて最適な手法が適用されている。短波長不均質を考える手法としては、コーダ波を用いた散乱波解析が挙げられる。松本・他(1999)では一次散乱を仮定して、短波長不均質構造を推定し、散乱強度の高い場所が断層、微小地震頻発域と一致することを示唆した。しかしながら、発震時からある程度の時間が経過した後には、一次散乱よりも多重散乱の影響が卓越することが知られている(Sato *et al.*, 2012)。したがって一次散乱を仮定して推測される不均質構造が正しいかどうかを直接観察できる実構造と比較することが重要である。南アフリカの Ezulwini 金鉱山では採掘の影響で極微小地震が頻発しており、震源近傍まで坑道が掘られている為、近地観測ができる上、坑道配置図や地質図により直接的に実構造を把握することが可能である。そこで本研究では Ezulwini 金鉱山で収録される加速度波形を用いて、S コーダ波による解析を行うことで、散乱強度がどのような場所で高い値を示すのかを調べた。

データ・解析手法

本研究では南アフリカの Ezulwini 金鉱山の地表から深さ約 1024 m である 38 レベル(海拔 668-672 m)に設置された 6 点の 3 成分加速度波形記録を用いた。サンプリング周波数は 500 kHz、データ長は 66 ミリ秒である。2011 年 10 月 31 日に発生したイベントのうち、直井・他(2012)によって決定された 5,541 イベント (P 波の読み取り数  $\geq 10$ , RMS 残差  $\leq 0.2$  ms を満たす震源) のなかから、明瞭な S コーダ波が記録されている 561 イベント、1,137 トレースを使用した。坑道は配置が正確に分かっている空洞である為、検出能力を検討するのに適した強い不均質構造である

と考えられる。そこで坑道の幅(2-4 m)に対応する 800-1600 Hz の帯域通過フィルターを観測波形に施した。震源、観測点の分布とデータ長を考慮して、散乱体を検出する範囲を 300×300×260 m の空間に設定し、坑道の大きさに合わせて一辺 4 m の立方体ブロックに分割した。一般に S 波走時の 2 倍以降の時刻において、コーダ波の振幅は震源-観測点間の距離、初動の大きさによらず、同じような振幅で指数関数的に減衰する(Sato *et al.*, 2012)。地震の伝播経路上に強い散乱体があると、対応する時刻のところで大きな振幅が現れる。そこで S コーダ波のエンベロープを指数関数で近似し、コーダ波エンベロープを近似された指数関数で規格化した。規格化されたエンベロープが 1 を超えるものを強い散乱波の候補とみなし、その時刻に対応するブロックを散乱体の候補として、散乱体候補を空間スタックし、散乱強度の三次元分布のイメージを推定した。

## 結果・考察

図(a)は推定された 38 レベル付近の散乱強度のイメージである。図中の左下(四角で囲った範囲)に強い散乱体が発見された。図(b)に実際の坑道配置図を示す。発見された散乱体は堅坑や換気堅坑及びその周辺の坑道などの空洞部分に対応するものと考えられる。坑道の存在しない他の深さにおいても 38 レベルと同じ水平位置に同程度の散乱強度がみられたことから堅坑に相当する可能性がある。そこで 38 レベルにおいて散乱強度が高いと思われる位置に散乱体を置いたモデルを用いて散乱強度を推定した結果、散乱体を仮定しなかった深さにおいても高い散乱強度を示した。これは震源、観測点が狭い領域に集中して分布していることによる偽像であると考えられる。

## まとめ

深さ方向については分解できなかったが、二次元的には散乱強度が高いと推定された場所と空洞（速度の不均質が大きい場所）が対応したといえる。よって一次散乱による散乱強度分布は速度の不均質構造の分布であることが示唆された。

**謝辞:** 本研究の一部は JST/JICA,SATREPS ならびに科研費 MEXT/JSPS (21224012, 21246134)の助成を受けたものである。

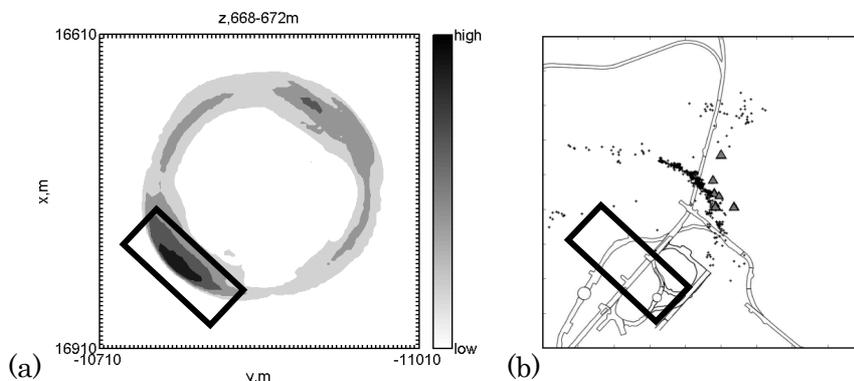


図 (a)38 レベルにおける散乱強度分布図。(b)(a)と同一場所における坑道配置図で△は 3 成分加速度計、・は震源を示す。