

南アフリカ金鉱山におけるボアホール加速度計観測網の構築

東京大学地震研究所 宮川幸治

はじめに

南アフリカ金鉱山の地下 3,300m の坑道内に計 9 台からなるボアホール地震観測網を構築する為に、2008 年 3 月と 6 月の 2 度に渡って現地へ赴き設置作業に参加したので、その報告をする。

このプロジェクトは中谷正生准教授(地震研)がメインとなって推進しており、最大の目的は「M3 クラスの地震の動的破壊過程を、数 m 以内の極至近距離に設置した地震計で観測する」ことである。極至近距離での観測により、地下構造・媒質の影響を殆ど受けない地震波形を得ることができ、地震の動的破壊過程や強震動の生成要因などを解明するのに役立つと期待される。また断層面を取り囲むように 3 次元的に観測網を構築することにより、M-3 程度までの微小地震の震源位置の決定や、メカニズム解・応力場の同定が期待できる。

Mponeng 鉱山

観測網が構築された金鉱山は Mponeng 鉱山と呼ばれ、南アフリカ共和国で最大の都市であるヨハネスブルグの南西約 65km に位置する(図 1)。日本から行く場合は通常、空路によってシンガポール経由でヨハネスブルグに飛び(所要時間 20 時間弱)、その後空港でレンタカーを借りて 1 時間程運転して移動する。

Mponeng 鉱山は世界有数の金鉱山であり、年間 13ton の金を採掘している(2005 年時点)。金は厚さ 50cm ほどのシート状の鉱脈に濃集しており、その鉱脈が 20 度ほどの南傾斜で数 km 四方に広がり、それが何層にも重なっている(図 2)。鉱山ではこの鉱脈部分のみをダイナマイトで爆破して採掘しており、金の採取率はおよそ 8g/ton である。その採掘作業も現在では地下 4,000m に達する所まで来ている。

採掘に伴い鉱山では多くの地震が発生している。爆破・採掘に伴い地下に応力変化が生じ、過去の断層や、ダイクなどの地質構造境界といった、構造的な弱面で地震は発生し、大きいものでは M4 に達するものもある。断層や地質構造境界の存在は随時調査が行われていておおよそ把握されているので、鉱脈の掘削計画と照らし合わせることで、近い将来に地震を起こすと想定される場所がある程度予測できる。



図 1 : Mponeng 鉱山の位置

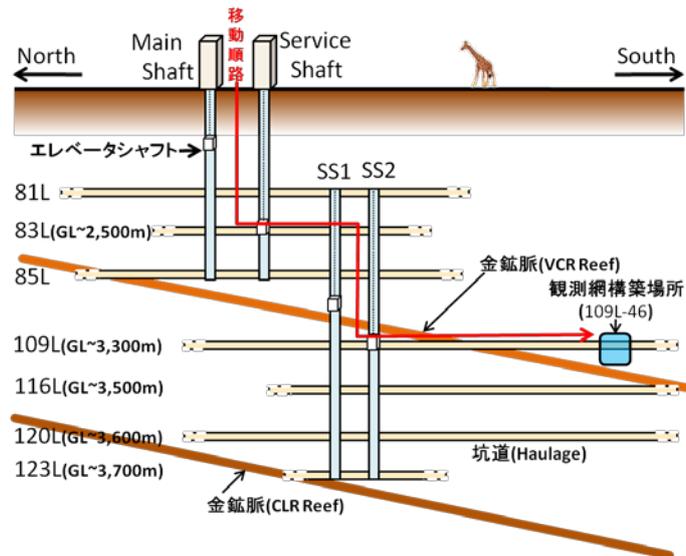


図 2 : Mponeng 鉱山の地下坑道の略図

このような予測を元に、観測網の構築場所は 109L-46 と決定された。109L は地下 109 階を意味する。Mponeng 鉱山では 1 階を 30m 間隔で設定しているため、109L は地表下約 3,270m となる。-46 の方は、109L にあるメインの坑道(Haulage)と交差する、鉱脈に通じる横道(Crosscut)の番号である。つまり地下 109 階の、46 番目の横道と Haulage との交差点付近に観測網を構築した(図 3)。この場所には Pink and Green Dyke(P&G Dyke)という厚さ約 30m の岩脈がほぼ垂直に貫入しており、その東側で採掘作業が進められているので、採掘に伴う応力変化により、この岩脈と基盤岩との境界が断層面となって M2~3 クラスの地震が観測網を通り抜けて発生する可能性が考えられる。

ボアホール加速度計観測網の構築

観測網は、4ヶ所のφ60mm ボアホールの中にインストールされた計9台の地震計から成り、センサー間隔は約20-30m、アレー範囲は水平50m・垂直70mに広がる(図3)。その内の4台が3軸加速度計で、4ヶ所のボアホールの底部(ダイクと断層面の境界付近)にそれぞれ設置されている。また3台は1軸加速度計で、2ヶ所のボアホールの中間部に設置されており、観測網に空間的な広がりを持たせる為に設置されている。残る2台は速度型地震計(Geophone)で、抱き合わせた形でボアホールの中間部に設置されており、鉱山側の地震観測網と時刻同期を取るために利用される。またセンサーを岩盤と確実にカップリングさせるために、ボアホールの中にはグラウト(セメントペースト)が流し込まれて、センサーは埋め殺しされている。なおボアホールの掘削作業は現地業者により行われたが、センサーの設置とグラウティングは我々の手で行われた(図4)。

加速度計・収録装置は、鉱山が持つ独自の地震観測網でも採用されている、南アフリカ ISS 社製のものを使用している。加速度計の測定周波数範囲は DC~25kHz で、最大加速度は ±50G となっており、一般的な地震観測の観点からすると、超高周波で巨大加速度の領域までカバーしている。収録装置は、48kHz サンプルングでイベントトリガ記録をしている。この収録装置は地上の ISS オフィスとオンラインで繋がっているので、データは定期的アップロードされている。

2008年6月の渡航時に観測網の構築作業はおおよそ終了し観測がスタートしたが、電気トラブル・通信トラブル・収録装置の設定ミスなど、色々トラブルが続出しており、海外観測の難しさを実感している。

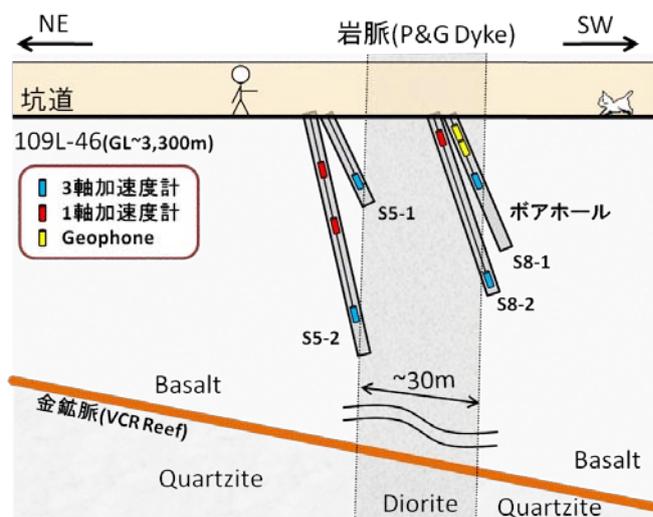


図 3 : 加速度計ネットワーク



図 4 : 加速度計設置作業シーン