

# 微小地震の地震波放射効率と見かけ応力：南アフリカ金鉱山での至近距離高サンプリング地震観測から

## Radiation Efficiencies and Apparent Stresses of Small Earthquakes in a South African Gold Mine

# 山田 卓司[1]; Mori James[1]; 井出 哲[2]; 川方 裕則[3]; 飯尾 能久[4]; 小笠原 宏[5]; 南アフリカ金鉱山における半制御地震発生実験国際共同グループ 住友則彦[6]

# Takuji Yamada[1]; James Mori[1]; Satoshi Ide[2]; Hironori Kawakata[3]; Yoshihisa Iio[4]; Hiroshi Ogasawara[5]; Sumitomo Norihiko International Research Group for Semi-controlled Earthquake Generation Experiment at South African Gold Mine[6]

[1] 京大・防災研・地震予知; [2] 東大・理・地惑; [3] 京大・防災研・巨大災害; [4] 京大・防災研; [5] 立命大・理工; [6] -

[1] RCEP, DPRI, Kyoto Univ.; [2] Dept. EPS, Univ. of Tokyo; [3] DRS, DPRI, Kyoto Univ.; [4] DPRI; [5] Ritsumei Univ.; [6] -

### 1. はじめに

微小地震の解析は、大地震の dynamics との相違の有無を明らかにする上で非常に重要である。しかし、微小地震の震源過程を明らかにするためには、至近距離・高サンプリングデータが必要となるため、一般的には困難である。

南アフリカ Mponeng 鉱山（旧称 Western Deep Levels 南鉱山）の地下 2,650m には、3 成分加速度計 9 台が金鉱脈下約 50m の運搬坑道沿いのボアホール内に設置されており、採掘に伴って切羽の前面に発生する多数の微小地震を至近距離で観測している (Figure 1)。1996 年 2-10 月の間に、25,000 以上のイベント (M-2.7~M3.3) が約 15kHz という高いサンプリングレートで観測された。これらのイベントの中には震源距離が数十~数百 m のイベントが多数含まれているため、微小地震の震源過程解析に適している。本研究では特に、地震破壊の開始・停止過程や地震波放射効率を推定する上で重要となる破壊伝播速度に注目し、震源距離が 200m 以内のイベントのうち規模の大きな 6 イベント (M0.7~M1.4) について、kinematic 波形インバージョンを行った。

### 2. 解析手法および結果

まず、P, S 波の到達時刻を用いて P, S 波速度を求めたところ、それぞれ 6.00 km/s, 3.83 km/s と求められた。次に、これらの値を用いて、P, SV, SH 波の振幅を用いて決定したメカニズム解の 2 節面両方に関して、破壊伝播速度を変えてマルチタイムウィンドウによる波形インバージョンを行った。節面に関しては、解析した 6 イベントのうち 5 イベントに関して残差に明瞭な差がみられ、断層面と補助面を区別することができた (Figure 2)。一方、破壊伝播速度に関しては、波形インバージョンでは一般に、破壊伝播速度が速いほど残差が小さくなると考えられるため、明快には決定できないが、観測波形に特徴的な形状を説明できるかどうかによって少なくとも S 波速度の 50%以上であると判定できる。したがって、南アフリカ金鉱山内の微小地震の破壊伝播速度は、大規模自然地震のそれと比べて非常に遅いということはなく、ほぼ同程度であると考えられる。

また、これら 6 イベントに関して地震波放射エネルギーを計算したところ、見かけ応力、すなわち、放射エネルギーと地震モーメントの比は、中・大規模自然地震に比べてほぼ同じであった。

### 3. 考察

地震波放射効率は、破壊伝播速度の関数として記述でき (cf. Husseini and Randall (1976), Kanamori and Heaton(2000))、破壊伝播速度が速いほど放射効率が大きくなる。本研究の結果から、南アフリカ金鉱山内の微小地震の地震波放射効率は、中・大規模自然地震のそれと同程度であると考えられる。

また、見かけ応力が中・大規模自然地震のそれとほぼ同じであったこともあわせて考えると、地震時の応力の overshoot, undershoot がないと仮定すれば、南アフリカ金鉱山内の微小地震の応力降下量も、中・大規模自然地震のそれと同程度であると考えられる。

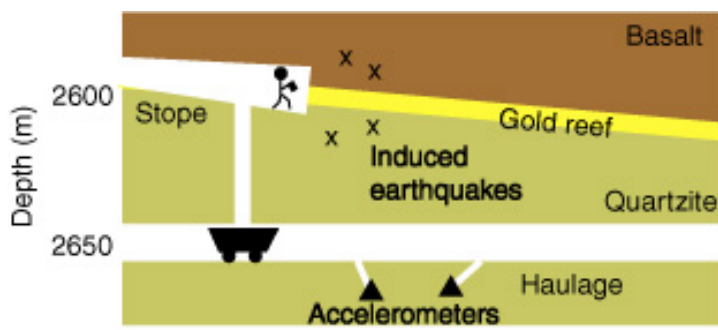


Fig. 1. Schematic view of observation system of induced earthquakes in the Mponeng mine

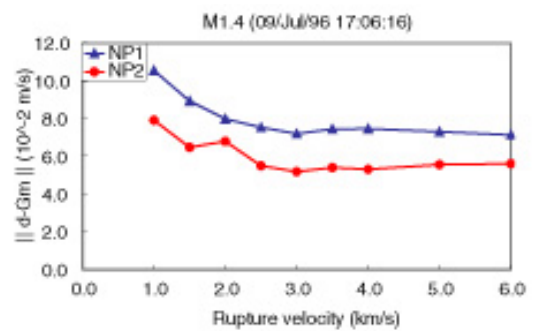


Fig. 2. Residuals of fits to the two nodal planes for various rupture velocities