

## 南アフリカ金鉱山地下 1km 深で観察された既存弱面に密集する高 b 値の微小破壊 Microruptures concentrating on pre-existing planes at 1 km depth in a South African gold mine and their high b-values

直井 誠<sup>1\*</sup>, 中谷正生<sup>1</sup>, 大槻 憲四郎<sup>2</sup>, 矢部 康男<sup>2</sup>, Thabang Kgarume<sup>3</sup>, Gilbert Morema<sup>4</sup>, Joachim Philipp<sup>5</sup>, Sifiso Khambule<sup>6</sup>, Thabang Masakale<sup>6</sup>, Luiz Ribeiro<sup>4</sup>, 森谷祐一<sup>2</sup>, 村上 理<sup>7</sup>, 堀内 茂木<sup>8</sup>, 川方 裕則<sup>7</sup>, 吉光 奈奈<sup>7</sup>, 宮川幸治<sup>1</sup>, 渡邊篤志<sup>1</sup>, Tony Ward<sup>4</sup>, Ray Durrheim<sup>3</sup>, 小笠原 宏<sup>7</sup>

Makoto Naoi<sup>1\*</sup>, Masao Nakatani<sup>1</sup>, Kenshiro Otsuki<sup>2</sup>, Yasuo Yabe<sup>2</sup>, Thabang Kgarume<sup>3</sup>, Gilbert Morema<sup>4</sup>, Joachim Philipp<sup>5</sup>, Sifiso Khambule<sup>6</sup>, Thabang Masakale<sup>6</sup>, Luiz Ribeiro<sup>4</sup>, Hirokazu Moriya<sup>2</sup>, Osamu Murakami<sup>7</sup>, Shigeki Horiuchi<sup>8</sup>, Hironori Kawakata<sup>7</sup>, Nana Yoshimitsu<sup>7</sup>, Koji Miyakawa<sup>1</sup>, Atsushi Watanabe<sup>1</sup>, Tony Ward<sup>4</sup>, Ray Durrheim<sup>3</sup>, Hiroshi Ogasawara<sup>7</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> 東北大学, <sup>3</sup> CSIR, <sup>4</sup> Seismogen, <sup>5</sup> GMuG, <sup>6</sup> OHMS, <sup>7</sup> Ritsumeikan Univ., <sup>8</sup> Home seismometer corp.

<sup>1</sup> Univ. of Tokyo, <sup>2</sup> Tohoku Univ., <sup>3</sup> CSIR, <sup>4</sup> Seismogen, <sup>5</sup> GMuG, <sup>6</sup> OHMS, <sup>7</sup> Ritsumeikan Univ., <sup>8</sup> Home seismometer corp.

平板状鉱脈の採掘による応力集中で最大 M3 級程度の地震が誘発される, 南アフリカ Cooke 4 shaft (旧 Ezulwini 鉱山) の地表下 1 km に, Mw -5 以下の破壊まで検知可能な Acoustic Emission (AE) 観測網を展開し, 観測を行なっている. 直井・他 (2012; 地震学会ポスター発表) では, 約 2 ヶ月間に収録された波形データに対して, 自動震源決定処理 (堀内・他, 2011) と, Mw の推定を行い, 365,237 イベントからなる AE カタログを作成し, このうち約 90% が採掘空洞直近で発生 (以下, stope cluster) しているのに対して, 残りの 10% のほとんどは複数の平面状クラスタ (以下 planar cluster) に属していることを示した. また, stope cluster の AE については, そのサイズ分布が, 採掘発破直後 1 分間であっても, 1 日以上経過した後であっても, b 値がおよそ 1.3 の GR 則に従うことを示された. 我々の AE 観測網 (検知限界 Mw -1 程度) の記録からは Mw -3.7 から 0 の範囲で, また, 解析領域・期間を広げた, 鉱山がルーチ的に運用している地震観測網データの解析からは Mw -1.2 から 1 の範囲で b=1.3 の GR 則に従っていた. このことは, Stope cluster のイベントは, Mw -3.7 から 1 の範囲で b=1.3 の単一の GR 則に従うサイズ分布をもつポピュレーションであることを示唆する.

本発表では, Planar cluster の AE 活動とそのサイズ分布について報告する. Planar cluster の中からその広がり大きいものを選び出し, 10 m から 80 m の広がりを持つものを 7 つ同定した. それぞれのクラスタは, 採掘前線から 20 m ~ 70 m の位置に存在し, 314 個から 8667 個の AE からなる. 7 つのクラスタのうち, 1 つは観測網を貫くように走っている既知の地質断層 (Zebra 断層) に重なっており, 別の 2 つについては, AE の震源分布から同定されたクラスタと我々がアクセス可能な坑道との交点で, Joint と思われる弱面が観察された. 残りのクラスタも既存弱面に関連した活動と思われる. これらは本研究で観察した 2 ヶ月の間は定期的に活動しており, また, 観測網周辺の採掘が始まった 2009 年以降, 鉱山地震観測では各 planar cluster 付近でクラスタの広がりと同程度の破壊サイズをもつようなイベントの発生は検知されていないので, planar cluster の活動は大きなイベントの余震ではなく定期的なものと考えられる. これら 7 つの planar cluster に対して Double Difference 法による相対震源決定を行い, その震源分布を観察したところ, 薄いところでは 50 cm 程度の厚みの中にほとんどの震源が集まる, 強く密集した面状分布を示していることがわかった. 分布は非常にハイコントラストで, ステップオーバー, ブランチなどに対応すると思われる震源の並びを示すものもみられた. 7 つの planar cluster を構成する AE の 99.8% は, Mw -2 以下のイベントであり, 非常に小さな AE まで観測しないと存在が確認できないクラスタである. 特に先述した Zebra 断層を描き出すように発生している AE については, その最大 Mw が -3.0 であった. また, Planar cluster のサイズ分布はどのクラスタでもべき乗則に従うが, その傾き (b 値) は 1.38 から 2.19 という, 先述した stope cluster に対する b 値の典型的な値 (1.3) に比べて高い値を示す事がわかった.

Planar cluster の特徴である極端な面的集中は, 活断層周辺の定期的微小地震活動の特徴 (e.g., Liu et al. 2003; Hauksson 2010) とは必ずしも一致しない. Stope cluster に対しては自然地震に対して典型的に観察される b 値 ( $b \sim 1$ ) に比較的近い値が観察されたのに対して, Planar cluster が異なる b 値を示したことは, stope cluster・自然地震に対する b 値がどちらも三次元体積中の様々な弱面のサイズ分布を反映しているのに対し, planar cluster の AE はひとつの巨視的弱面のもつ下位不規則構造 (例えば面の粗さ) を反映する微小破壊, すなわち, 通常の微小地震とは別のポピュレーションとみることが適切かもしれない.

キーワード: 微小破壊, 地震活動, 南アフリカ金鉱山

Keywords: Acoustic Emission, seismicity, South African deep gold mine