

## 南アフリカ金鉱山地下 1km 深における多点 AE 観測と 2 つの M0 級地震に関連する AE 活動

### AE measurements at 1 km depth in a deep South African gold mine and their activities related to two M0 earthquakes

直井 誠<sup>1\*</sup>, 中谷正生<sup>1</sup>, Joachim Philipp<sup>2</sup>, 堀内 茂木<sup>3</sup>, 大槻 憲四郎<sup>4</sup>, Thabang Kgarume<sup>5</sup>, Gilbert Morema<sup>6</sup>, Sifiso Khambule<sup>7</sup>, Thabang Masakale<sup>7</sup>, 宮川幸治<sup>1</sup>, 渡邊篤志<sup>1</sup>, 森谷祐一<sup>4</sup>, 村上理<sup>8</sup>, 矢部 康男<sup>4</sup>, 川方 裕則<sup>8</sup>, 吉光 奈奈<sup>8</sup>, 小笠原 宏<sup>8</sup>, NAOI, Makoto<sup>1\*</sup>, Masao Nakatani<sup>1</sup>, Joachim Philipp<sup>2</sup>, HORIUCHI, Shigeki<sup>3</sup>, OTSUKI, Kenshiro<sup>4</sup>, Thabang Kgarume<sup>5</sup>, Gilbert Morema<sup>6</sup>, Sifiso Khambule<sup>7</sup>, Thabang Masakale<sup>7</sup>, Koji Miyakawa<sup>1</sup>, Atsushi Watanabe<sup>1</sup>, Moriya Hirokazu<sup>4</sup>, Osamu Murakami<sup>8</sup>, YABE, Yasuo<sup>4</sup>, KAWAKATA, Hironori<sup>8</sup>, YOSHIMITSU, Nana<sup>8</sup>, OGASAWARA, Hiroshi<sup>8</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> GMuG, <sup>3</sup> (株) ホームサイスマメータ, <sup>4</sup> 東北大学, <sup>5</sup> CSIR, <sup>6</sup> Seismogen, <sup>7</sup> OHMS, <sup>8</sup> 立命館大学

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

南アフリカ Eziwini 金鉱山の地下 1km 深に AE センサ 28 台, 加速度計 6 台 (25kHz 加速度計 3 台, 10kHz 加速度計 3 台) を埋設し,  $M_w > -5$  の微小破壊 (AE) をターゲットにした観測 (500 kHz sampling トリガ収録) を行っている。2011 年の 7 月にはセンサ埋設がほぼ終了し, 本格的な観測がスタートした。2010 年の観測開始から 2011 年 10 月末時点まで, 約 640 万トリガ分の波形が収録されており, 鉱山内のドリリングをはじめとする Working noise を除いても, 100 万個のオーダーのイベント波形が存在する。このうち, 2011 年 8 月 17 日から 9 月 23 日のデータに対して, 走時自動検出処理プログラム (堀内・他・日本地球惑星科学連合 2011 年大会) で走時読み取り・震源決定を行い, P 波の走時読み取り数が 10 個以上, RMS 走時残差が 0.2ms 以内の基準を満たした 22 万個の AE イベントについて震源分布を確認した。AE イベントの 90% 以上は鉱脈採掘によって形成される薄板状空洞の前線に集中しており, 採掘による応力集中によって大量の AE が発生していることが確認された。また, 採掘前線から離れた場所でも数百個?数千個の AE によって構成される, 20m ~ 100m の広がりを持つ面状のクラスタが複数観測された。このうち 3 つは, 我々, あるいは鉱山の調査によって存在が知られている地質断層と調和的な震源の並びを示しており, 既存弱面に関連した活動であることは確実である。他の面状分布もこれまで知られていなかった既存弱面を描き出していると思われる。一方, 採掘前線とこれら複数の面状分布を構成する AE 活動以外の場所で, 独立して発生する AE はほとんどみられなかった。

鉱山の地質調査で見つかった断層と調和的な走向を持つあるクラスタでは, 9/21 日にイベントレートが急増し, 大森公式に従う AE 活動の減衰が確認された。この面状分布を構成する 4645 個の AE 震源に対して,  $-square$  モデルを観測スペクトルにフィッティングして  $M_w$  を推定したところ, 午前 6 時 50 分に  $M_w$  0.0, 7 時 1 分に  $M_w$  -0.2 の比較的大きな地震が発生していることがわかった。 $M_w$  0.0 以前の AE 活動 (2955 個) の時空間分布からは,  $M_w$  0.0 破壊開始点周辺への AE 活動の集中やイベントレートの明白な上昇は確認できず, むしろやや AE 活動が低調なところで  $M_w$  0.0 が発生したように見えた。 $M_w$  0.0 発生から 5 分間の余震域と  $M_w$  -0.2 の発生から 5 分間の余震域・ $M_w$  0.0 以前の AE 活動域を比較したところ,  $M_w$  0.0 前の活動は走行方向に 90m, 傾斜方向に 60m の広がりを持っていたのに対し,  $M_w$  0.0,  $M_w$  -0.2 の余震域は直径 10~15m 程度の広がりしか持っていなかった。二つの M0 級地震は既存弱面の AE 活動域の一部のみを壊したように見える。また, 7 時 1 分の  $M_w$  -0.2 の破壊開始点は, 6 時 50 分の  $M_w$  0.0 の余震域の端に位置していた。最初の  $M_w$  0.0 の破壊によってその破壊域の端に応力集中が生じ, 2 つ目の  $M_w$  -0.2 が誘発されたと考えられる。Rubin and Gillard (2000) はサンアンドレアス断層上で発生する M0.5-M3.5 の地震を調べ, 極めて近距離で連続して発生する地震の震源間距離の下限が, 最初のイベントの想定破壊半径に対応することから, 地震の破壊端の応力集中でトリガーされるイベントの存在を指摘したが, それを直接観察できたと考えられる。

キーワード: 南アフリカ金鉱山, アコースティックエミッション, 余震, トリガリング

Keywords: South African gold mines, Acoustic Emission, aftershocks, triggering