

南アフリカ Mponeng 金鉱山地下約 3km における M2-3 級地震活動域近傍において 2 台の歪計が捉えたゆっくりとした歪変化

Slow-strain-steps observed with two strainmeters at the proximity of M2-3 seismicity at Mponeng mine

安武 剛太 [1]; 森下 健 [2]; 小笠原 宏 [3]; 直井 誠 [4]; 山本 覚仁 [5]; 川方 裕則 [6]; 石井 紘 [7]; 加藤 愛太郎 [8]; 中谷 正生 [9]; 中尾 茂 [10]; 大槻 憲四郎 [11]; 山内 常生 [12]; 飯尾 能久 [13]; Ward Tony[14]; Carstens Riaan[15]; McGill Rob[16]; van Aswegen Gerrie[17]; Mendecki Aleksander[17]; 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 [18]

Gota Yasutake[1]; Ken Morishita[2]; Hiroshi Ogasawara[3]; Makoto Naoi[4]; Akihito Yamamoto[5]; Hironori Kawakata[6]; Hiroshi Ishii[7]; Aitaro Kato[8]; Masao Nakatani[9]; Shigeru Nakao[10]; Kenshiro Otsuki[11]; tsuneo yamauchi[12]; Yoshihisa Iio[13]; Tony Ward[14]; Riaan Carstens[15]; Rob McGill[16]; Gerrie van Aswegen[17]; Aleksander Mendecki[17]; Sumitomo Norihiko International Research Group for Semi-controlled Earthquake Generation Experiment at South African Gold Mine[18]

[1] 立命・理工・物理; [2] 立命・理工・物理; [3] 立命大・理工; [4] 立命館・理工; [5] 立命館大・理工; [6] 立命館大・理工; [7] 東濃地震科研; [8] 東大・地震研; [9] 東大地震研; [10] 鹿大理; [11] 東北大・理・地学; [12] 名大・環境・地震火山・防災研究センター; [13] 京大・防災研; [14] Seismogen; [15] AngloGold Ashanti Ltd.; [16] Mponeng mine; [17] ISSI; [18] -

[1] Physical, Ritsumeikan Univ.; [2] Physical Science, Ritsumeikan Univ.; [3] RitsumeiUniv.; [4] RitsumeiUniv.; [5] Ritsumeikan Univ.

; [6] Fac. Sci. Eng., Ritsumeikan Univ.; [7] TRIES; [8] ERI, Univ. Tokyo; [9] ERI; [10] Kagoshima Univ.; [11] Earth Sci., Tohoku Univ.; [12] RCSVDM; [13] DPRI, Kyoto Univ.; [14] Seismogen; [15] AngloGold Ashanti Ltd.; [16] Mponeng mine; [17] ISSI; [18] -

2 台の歪計が隣接して埋設されている南アフリカ Mponeng 金鉱山地下約 3km において、歪計から 30m 以内の距離で Mw が-1 前後と思われるゆっくりとした歪変化が発生していることがわかった。本発表ではその詳細を報告する。

我々、南アフリカ金鉱山半制御地震発生実験グループは、地震の一生の至近距離観測を試みてきた [飯尾・深尾 1992、住友 1998、Ogasawara et al. 2002]

観測サイトの一つである Bambanani 鉱山では、石井他 (2000) によって埋設された 4 成分石井式ボアホール歪計による約 3 年間の観測で、震源距離 100m 以内で発生した M2 級の地震に伴う $1e-4$ 級の歪解放を 25Hz24bit の分解能で完全収録することに成功したが、それらを含む数百個全ての地震に、先行した滑らかな歪加速は確認できなかった [竹内 2005 修論、Ogasawara et al. 2005]。また、通常地震に伴う歪ステップに比べて継続時間が長い歪変化 (LDR イベント) が発見され、そのうち特に継続時間の長いもの (Slow-strain-step) の中には前駆的歪加速があった [Naoi et al. 2006]。LDR イベントが記録された時刻に鉱山地震計で検知された地震は無いため、これらは小さなスロー地震の記録である可能性がある。しかし、歪計 1 台の観測であったため、歪源の規模と位置の大まかな拘束しかできなかった [直井 2007 修論]。

この問題を解決するために、同国 Mponeng 金鉱山地下約 3km では、2 台の石井式 3 成分歪計を用いた観測が 2004 年度より開始され、約 2.5 年間の記録が得られている [Ogasawara et al. 2005、森下他 2005、安武他 2006]。両歪計は M3 級地震の発生が予想される弱面からそれぞれ 20m 以内 (歪計 Sa) と 10m 以内 (歪計 Sb) に埋設された。距離 100m 以内の Mw < 1 の歪源の挙動に関する情報が得られるよう、両歪計間の距離は約 14m とした。歪計 Sa および Sb は、坑道から採掘された 92mm のボアホールの、それぞれ深さ約 13 m および 25m の堅固な岩盤に埋設され、どちらも、坑道による応力集中や、坑壁の非弾性変形の影響は小さい。観測された地震に伴うステップのうち、歪計からの距離が 2-3 百 m 程度の地震の歪ステップは、2 台の歪計に大きな違いは見られなかった。また、地球潮汐の応答も 2 台の歪計に大きな違いは見られなかった。これらは、2 台の歪計の信頼性を示す結果である [Morishita et al. 2006AGU; 安武他 2006]。地震に伴う $1e-5$ 級の歪ステップも数例見られた。これらは Bambanani 鉱山で観測されたものに準ずる大きさのものであるが、前駆的歪加速はここでも確認できなかった。一方で、比較的震源距離に近い地震の中には、両歪計で異なるセンスのステップや余効変動も見られた [安武他 2006]。

Mponeng 鉱山のこのサイトにおいても、Bambanani 鉱山同様、地震計で検知されていない、継続時間の長い歪変化も数例発見した。これらの多くも 2 つの歪計で異なる変化が記録された。これらにはまた、Bambanani 鉱山の Slow step と類似した形状の変化もあれば、さらに継続時間が長いものもあった。図はそのうち最大の変化が記録されたものである。これは、2004 年 6 月 14 日 5 時 15 分前後に見られたものであるが、5 時 12 分 35 秒頃から約 37 秒間に渡る $1e-7$ 級の前駆的歪加速が生じており、その後歪速度が最大となった (図 b))。最終的に Ch.3 では $2e-6$ に達する変化となった。Ch.1 の変化は縮みだが相対的に小さく、Ch.2 は縮み、Ch.3 は伸びが記録された。歪計に近い弱面で鉛直ずれが発生した場合にこのような歪変化が記録されと考えられる。そして、収束直前には細かいステップが連続して発生した。例えば、図 c) の約 2 分間には十秒前後の間隔でステップが連続発生し、その間隔は時間と共に広がっている様子が見てとれる。これらの変化の概形は Bambanani 鉱山で発見された Slow step の形状と類似したものであるが、10 倍以上大きく記録されたため、このように変化の詳細を観察することができた。ところが、歪計 Sa の変化は小さく、生波形では $1e-8$ のノイズに埋もれるほどである。

歪変化の大きさは、歪源から歪計までの距離の 3 乗に比例して小さくなる。また、2 台の歪計から歪源までの距離を、それぞれ、Ra および Rb とすると、 $Ra+Rb > 14m$ かつ $|Ra-Rb| < 14m$ という幾何学的制約がある。これらに基づくと、

Mponeng 鉱山の Slow step のほとんどは歪計から 30 m 以内で発生した Mw-1 程度のイベントと考えられる。

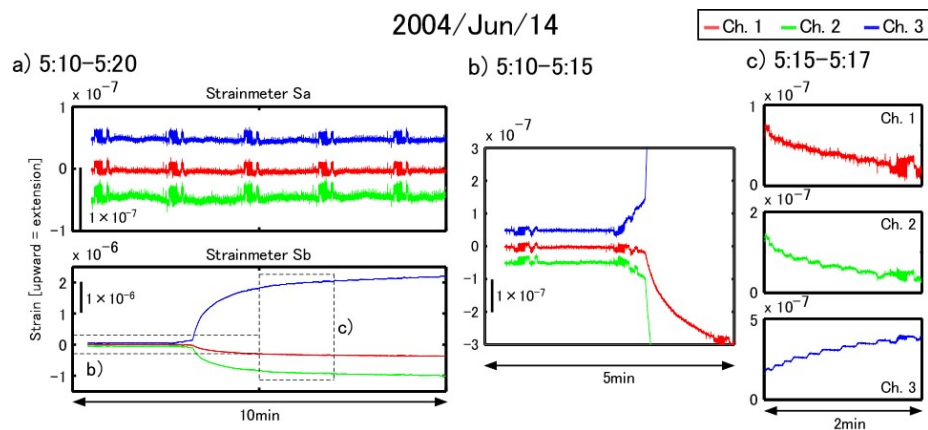


図 Mponeng 鉱山地下約3kmの観測サイトにおいて、2004年6月14日5時15分前後に観測されたゆっくりとしたイベント。この他にも発見された、ゆっくりとした変化のうち、最も大きいものである。2分間隔で全てのチャンネルに同時に現れているノイズは、デジタル・データ転送に伴う共通・モード・ノイズ。a) イベントを含む10分間の記録。推定弱面に近い歪計Sb(下)にのみ 10^{-6} クラスの顕著な変化が確認できる。b) イベントの立ち上がりを含む5分間の記録。約37秒の前駆変化の後に歪速度が最大になった。c) イベント後半の2分間の記録。細かいステップが連続して記録されている。