

M2級鉦山地震群の中で観測された小さな Slow strain step と一部の Step に先行する歪加速

Some of the slow strain steps and infrequent forerunner observed during an M2 class earthquake sequence induced by mining

直井 誠 [1]; 小笠原 宏 [2]; 竹内 淳一 [3]; 山本 覚仁 [4]; 下田 直之 [1]; 森下 健 [5]; 石井 紘 [6]; 中尾 茂 [7]; van Aswegen Gerrie[8]; Mendecki Aleksander[8]; Lenegan Patrick[8]; Ebrahim-Trollope Shana[9]; 南アフリカ金鉦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 [10]

Makoto Naoi[1]; Hiroshi Ogasawara[2]; Jun'ichi Takeuchi[3]; Akihito Yamamoto[4]; Naoyuki Shimoda[1]; Ken Morishita[5]; Hiroshi Ishii[6]; Shigeru Nakao[7]; Gerrie van Aswegen[8]; Aleksander Mendecki[8]; Patrick Lenegan[8]; Shana Ebrahim-Trollope[9]; Sumitomo Norihiko International Research Group for Semi-controlled Earthquake Generation Experiment at South African Gold Mine[10]

[1] 立命館・理工; [2] 立命大・理工; [3] 立命館・理工; [4] 立命館大・理工; [5] 立命・理工・物理; [6] 東濃地震科研; [7] 鹿大理; [8] ISSI; [9] Geohydroseis CC; [10] -

[1] RitsumeiUniv.; [2] RitsumeiUniv.; [3] RitsumeiUniv.

; [4] Ritsumeikan Univ.

; [5] Physical Science, Ritsumeikan Univ; [6] TRIES; [7] Kagoshima Univ.; [8] ISSI; [9] Geohydroseis CC; [10] -

南アフリカ半制御地震発生実験国際共同研究グループ（飯尾・深尾 [1992]，Ogasawara et al.[2002]；以下南ア G）の実験サイトのひとつである Bambanani 金鉦山では、石井式 3 成分ボアホール歪計（石井・他 [2000a]）が M3 級予想震源断層から約 10 m，地下約 2.4km に埋設され、24bit25Hz 連続観測が行われている（石井・他 [2000b]）。この歪計からの距離 $R < 100$ m の範囲で、 $-1 < M < 2.6$ の地震が 3 年間で約 1000 個発生し、地震活動の準備から収束に至る 3 年間の歪変化が詳細に記録されてきた。これまでに、一断層長以内でしか観測できない 10 マイナス 4 乗級の歪ステップ（応力降下量約 7MPa に相当）が観測されたことや、その後に顕著な余効変動が見られたが、それに先立つ歪の加速は検出できなかったことなどが報告されている（竹内・他 [2004]）。今回、記録を精査した結果、歪変化量は小さいが、通常の地震ステップに比べて継続時間が非常に長い例を多数発見し、また、そのうちの少数のとりわけ遅いものだけに、ステップに先立つ顕著な前駆的歪加速が見られることがわかった（Figure (c)）。前駆は、大きいものでステップの数分の 1 におよんだ。本講演では、その現象とその性質の詳細を報告する。

今回は得られた歪の 25Hz 連続記録を 1 時間ごとにプロットし、2001 年 6 月から 2003 年 6 月まで、2 年間の歪記録を詳細に調べた。結果、百分の 1 秒間～千秒間に、歪の絶対値が 10 のマイナス 9 乗よりも大きく変化した例が 2030 見つかった（以下これらを総称して歪イベントと呼ぶ）。その中から、2 成分以上が同期した歪変化のみを選び、発破と思われる歪変化を除き、絶対値が 10 のマイナス 8 乗よりも大きな変化を示した 911 例について解析を行った。歪計およびその収録装置は、インパルスや急激なステップがあると、ダンピングがゆるい減衰振動が約 1 秒弱の間記録される特性を持つ（例、Figure (a)）。しかし、911 例の中には、通常の地震で記録される歪計・収録装置の Impulse Response（以下 IR）が、ほとんど記録されないもの（例、Figure (b)）が、約 30% 含まれていることがわかった（以下、これらを non-IR 歪イベントと呼ぶ）。これらの中には、通常の地震ステップに比べて、歪速度変化が 1 桁～4 桁遅い例も 19 例存在した（以下これらを Slow Step 歪イベントと呼ぶ；例 Figure(c,d)）。様々な Rise Time の緩やかな歪ステップの応答を理論的に計算し比較したところ、non-IR 歪イベントの Rise Time が 0.5 秒以上であることがわかった。これは、通常の地震（ $-1 < M < 2$ ）の継続時間が 1ms~50ms であるのに対し非常に遅い。

Slow Step 19 例の中には顕著な前駆的歪加速が記録されているものもあり、最大のもの（Figure (c)）では、step の約 6 分前から始まり、前駆変位量が step の約 1/3 にも達した（直井 2005）。しかし、このような前駆的加速は、他の継続時間の短い歪ステップ 892 例では確認されていない。

鉦山では、平均 500 m 間隔の地震計によって、 $M > -1$ の地震はもれなく検知され、カタログされている。そこで、10 のマイナス 7 乗より絶対値が大きい歪ステップを生じた 64 例（IR 無し 17 例、IR 有り 47 例）について、同時刻のカタログ地震の有無を調べた。その結果、IR の有るイベント（IR 歪イベント）は、47 例中 38 例が同時刻に地震がカタログされていた。しかし、Slow Step 2 例を含む、non-IR 歪イベント 17 例は、同時刻に地震がカタログされていなかった。また、変化が小さい他の Slow Step 歪イベント 19 例全てにおいても、同様であった。

non-IR 歪イベントと IR 歪イベントの規模別頻度分布は共にフラクタル分布を示し、その傾きもほぼ同じであった。そこで、Gutenberg-Richter 則の b 値 = 1 を満たし、ランダムな震源距離で発生する地震の規模別頻度分布をシミュレーションし比較した。この結果は観測された歪ステップの規模別頻度分布の傾きとは明らかに異なった。これは、歪イベントの規模別頻度分布、あるいは、発地点の集中度という点で、歪イベントが、 b 値 = 1 でランダムな距離で発生する地震と、明らかに異なることを示している。

講演では、これらの歪イベントの他の特徴についても報告する。

Bambanani 鉦山の計画は、鉦山および ISS International 社、Geohydroseis CC、科研費（代表者：安藤雅孝）と立命館大学によってサポートされている。ここに記して謝意を表する。

