

地球規模課題対応国際科学技術協力

(防災研究分野「開発途上国のニーズを踏まえた防災科学技術」領域)

鉦山での地震被害低減のための観測研究

(南アフリカ共和国)

平成 22 年度実施報告書

代表者：小笠原 宏

立命館大学理工学部・教授

<平成 21年度採択>

1. プロジェクト全体の実施の概要

ねらいと概要： 自然大地震や、鉱山採掘などに伴って発生する誘発被害地震は、その発生予測の精度や強震動予測の精度を高めることが世界で強く望まれている。南アフリカ(以下南ア)の地下約 1~3kmの大深度金鉱山においては、今後 2~3 年の間に M2 級の地震(100m サイズの断層破壊)が発生する場所を特定することができる。そのため本研究では、震源の至近距離における微小破壊(AE)や歪の高感度・高精度観測や、強震観測などに基づいて、地震の準備と発生の様子を詳しく観察し、その理解を深める。また、鉱山地域の地表においては南ア国立地震観測網を増強する。これらに基づき、地震発生と強震動の予測を高度化する。

2011 年 3 月 31 日におけるプロジェクト進捗状況： 2010 年 2 月 26 日に JICA プレトリア所長と科学技術省(DST)大臣によって本事業の MoU が調印され、8 月 6 日の業務調整員宮良光一郎氏の着任をもって 5 ヶ年計画の本事業が始まった。10 月 1 日からは、坑内の計器設置技術者 6 名の雇用を始めた。新燃岳噴火や東日本大震災の影響などで当初計画からの変更があったが、延べ 11 名の短期専門家を派遣した。これまでに、50 台を超える供与機材を南アに届け、坑内地震観測のための計器設置と観測準備を行った。これらの結果、イズルウィニ鉱山では、十数台を超える観測器の設置が終わり、一部ではデータ収録も始まった。この観測網内のターゲット断層は、その構造が 10cm のオーダーの精度で 3 次元的に把握されている。各観測器の位置も同じ精度で決められた。

今後の見通し： 来年度の上期には供与機材の調達完了の見込みである。イズルウィニ鉱山の残りの機材の設置、ドリーフォンテイン鉱山やモアプ・コツオン鉱山、また、南ア国立地表地震観測網における機材設置も来年度中に完了する見込みである。

2010 年度の成果は、学術論文1、招待講演1、新聞報道1、テレビ報道1などで公表された。

2. 研究グループ別の実施内容

(1) 震源の岩盤変形グループ

① 研究のねらい

震源での応力蓄積・緩和を監視し、地震リスク評価の精度を向上させる。

② 研究実施方法

坑内の震源の近傍(数十m以内)での歪や傾斜などの観測を行い、このデータと採掘による応力変化の数値予測とを較正することによって、応力状態と地震活動の時間発展の予想精度を向上させる。

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

高感度歪計と埋設ロッドの国内調達が終わり、歪計3台を残し輸出が完了した。イズルウィニ鉱山では予定していた2台を設置。観測が始まり、鉱山による地震活動度ルーチン評価や、応力モデリングと比較するための準備も始まった。残る2つの鉱山は来年度上半期に観測を開始する予定である。

④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

CSIR、Anglogold Ashanti 岩盤工学応用研究部、Goldfields 地震部門・岩盤工学部門、および、イズルウィニ鉱山岩盤工学部門と、現有データの Back Analysis の結果や、各鉱山の計画の詳細を共有した。

⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

特になし。

(2) 震源の微小破壊グループ

① 研究のねらい

本震断層の詳細な形状を特定し、地震発生リスク評価精度を向上させる。

② 研究実施方法

想定震源を取り囲む領域に、高感度の微小破壊観測用のセンサーを三次元的に埋設し、監視を行う。同時に行われる岩盤変形や強震動の観測と比較し、研究のねらいを達成させる。

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

イズルウィニ鉱山において、微小破壊観測用のセンサーの半数以上が埋設され、観測を開始した。モアプ・コツオン鉱山において、微小破壊観測用のセンサーの埋設の準備がはじまった。

④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

カウンターパート組織で微小観測データの解析の担当者が決定し、データの取扱いをはじめた。

⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)特になし。

(3) 震源の動的破壊過程グループ

① 研究のねらい

断層の動的破壊過程のスケール依存性を明らかにし、採掘現場での強震動予測精度を向上させる。

② 研究実施方法

震源断層極近傍(数 m 以内)で計測した破壊前線の通過に伴う動的応力変化と断層変位を、採掘現場や地表で観測される強震動記録と比較議論し、研究のねらいを達成する。

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

イズルウィニ鉱山において、加速度計と高容量歪計からなる動的応力変化計を3台埋設し、観測を開始した。もう一つの観測サイトであるドリーフォンテイン鉱山において、複数の候補があった計器設置場所を現地調査して、1カ所に絞り込んだ。

④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

ドリーフォンテイン鉱山での断層極近傍観測網の展開場所が決定したのに伴い、カウンターパートが強震動観測を行う採掘現場の候補を絞り込んだ。

⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)特になし。

(4) 坑内観測地震高度解析グループ

① 研究のねらい

現存の鉱山の地震観測データに基づく応力推定の精度を向上させ、地震活動推移の予測精度を向上させる。

② 研究実施方法

最近、日本などで行われている、高度な地震波解析手法を鉱山地震などのデータに適用し、現行の鉱山地震のリスク・アセスメント結果と比較・議論することによって、研究のねらいを達成させる。

③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

鉱山地震の波形記録だけではなく、雑微動や能動信号を用いて断層の状態をモニタリングするため

のシステム設計並びに構築をおこなった。イズルウィニ鉱山では一部の計器埋設が、モアプ・コツオン鉱山では計器埋設準備がおこなわれた。

種々の観測データを包括的に管理、共有するために必要となるデータサーバーの拡張内容について検討を進めた。

- ④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)
カウンターパートと計測技術を共有できるようにするために、開発したモニタリングシステムの英文仕様・マニュアルの整備をはじめた。
- ⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)特になし。

(5) 震源の岩石分析グループ

①研究のねらい

震源の岩石の性質を明らかにする。

②研究実施方法

震源域で採取した岩石コア試料の物性や破壊特性を室内実験によって計測し、研究のねらいを達成する。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

イズルウィニ鉱山、および、モアプ・コツオン鉱山において、観測のターゲットとなる断層の位置を特定するための探査ドリリングの岩石コア試料と孔内観察が行われ、ターゲットとする断層の位置決定や応力集中域の推定が行われた。

ムポネン鉱山において、2007年にM2.1の地震が発生した断層を貫通する掘削によりえられた岩石コア試料の物性解析のため、岩石コア試料を同鉱山から搬出するための手続きを開始した。

採取した岩石コア試料の室内実験において封圧を制御するためのシリンジポンプを導入し、来年度からの実験開始に向けて既存の実験システムに組み込み中である。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

カウンターパートが所有する試験機を用いて物性試験を行うための準備を開始した。

孔内観察のための基本技術や岩石コア試料観察のため写真撮影の基本技術、およびこれらからわかることについて現地の技術者に指導した。

- ⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)特になし。

(6) 地表地震観測グループ

①研究のねらい

地表に被害を与える規模の地震による地表の強震動評価精度を向上させる。

②研究実施方法

鉱山地域の国立地震観測網を增強し、観測される強震動記録と坑内の強震動記録を比較することによって、研究のねらいを達成する。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

南アフリカ政府の予算によって、閉山して水没した金鉱山地域の地震観測網がCGSによって展開さ

れつつあり、臨時観測も始まっている。さらなる予算でクラークストープ地区の地震観測が増強されることが決まった。この競争入札結果が2011年2月に決まった。これらのシステムと同じものを来年度の上期にJST-JICA予算で調達し、SATREPSの坑内観測も行われるファー・ウェスト地区に地表地震観測網を増強させる。

- ④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)特になし。
- ⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)上述した通り(国の予算による地震観測が増強の決定と、それに伴うSATREPS事業の遅れ)。

なお、上記の説明はJST暫定計画書のグループ構成に準拠したものである。上記のグループと、JICA-南アDSTのMoUに記載された成果(Output)との対応は下表の通りである。

JST 全体計画におけるグループ	対応する JICA-南ア DST MoU における成果
①震源の岩盤変形	成果2、3
②震源の微小破壊	成果2、3
③震源の動的破壊過程	成果4
④坑内観測地震高度解析	成果3
⑤震源の岩石分析	成果1
⑥地表地震観測	成果4、5

成果1:震源の岩石の性質が明らかになる、

成果2:金鉱山内地震の準備と前駆変化への理解が深まる、

成果3:金鉱山内地震の発生を予測する精度が向上する、

成果4:金鉱山内地震による採掘坑内での地震被害を予測する精度が向上する、

成果5:金鉱山周辺の地表部における地震情報が公的機関によって迅速に発信され、鉱山地震による地表被害予測の精度が高まる。

3. 成果発表等

(1) 原著論文発表

- ① 本年度発表総数(国内 0件、国際 1件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 2件、海外3件)
- ③ 論文詳細情報

【招待論文】小笠原宏, 川方裕則, 石井 紘, 中谷正生, 矢部康男, 飯尾能久, 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研究グループ, 南アフリカ金鉱山における半制御地震発生実験—至近距離観測による地震発生過程の解明に向けて—, 地震 2(日本地震学会 60 周年記念特集号), 第 61 巻, S563-S573, 2009.

Ogasawara, H., R.J. Durrheim, M. Nakatani, Y. Yabe, A. Milev, A. Cichowicz, H. Kawakata, H. Moriya, JST-JICA SA research group, a Japanese - South African collaboration to mitigate seismic risks in deep gold mines, *Proceedings of 1st Hard Rock Safe Safety Conference*, South African Institute of Mining and Metallurgy, 115-134, 2009.

Durrheim, R.J., H. Ogasawara, M. Nakatani, Y. Yabe, A. Milev, A. Cichowicz, H. Kawakata, H. Moriya and the JST-JICA SA research group, Observational study to mitigate seismic risks in mines: a new Japanese -South African collaborative project, *Proceedings of South African Geophysical Association Biennial*

Technical Meeting and Exhibition, 73-79, 2009.

Yabe, Y., J. Philipp, M. Nakatani, G. Morema, M. Naoi, H. Kawakata, T. Igarashi, G. Dresen, H. Ogasawara, and JAGUARS, Observation of numerous aftershocks of an Mw 1.9 earthquake with an AE network installed in a deep gold mine in South Africa, *Earth Planets Space*, 61, e49-e52, 2009.

Durrheim, R.J., H. Ogasawara, M. Nakatani, Y. Yabe, A.M. Milev, A. Cichowicz, H. Kawakata, H. Moriya, and SATREPS Research Group, *The proceedings of the fifth International Seminar on Deep and High Stress Mining, 6-8 October 2010, Santiago, Chile*, Australian Centre for Geomechanics, 215-226, 2010.

(2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳(国内 0件、海外 0件、特許出願した発明数 0件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0件、海外 0件)

4. プロジェクト実施体制

(1) 「震源の岩盤変形」グループ

- ① 研究グループリーダー： 小笠原 宏 (立命館大学・教授)
- ② 研究項目
震源での応力蓄積・緩和を監視し、地震リスク評価の精度を向上させる。

(2) 「震源の微小破壊」グループ

- ① 研究グループリーダー：中谷 正生 (東京大学・准教授)
- ② 研究項目
本震断層の詳細な形状を特定し、地震発生リスク評価精度を向上させる。

(3) 「震源の動的破壊過程」グループ

- ① 研究グループリーダー： 矢部 康男 (東北大学・准教授)
- ② 研究項目
断層の動的破壊過程のスケール依存性を明らかにし、採掘現場での強震動予測精度を向上させる。

(4) 坑内観測地震高度解析グループ

- ① 研究グループリーダー： 川方 裕則 (立命館大学・准教授)
- ② 研究項目
現存の鉱山の地震観測データに基づく応力推定の精度を向上させ、地震活動推移の予測精度を向上させる。

(5) 震源の岩石分析グループ

- ① 研究グループリーダー： 佐藤 隆司 ((独) 産業技術総合研究所・主任研究員)
- ② 研究項目

震源域で採取した岩石試料の物性や破壊特性を室内実験によって計測し、研究のねらいを達成する。

(6) 地表地震観測グループ

① 研究グループリーダー： 小笠原 宏 (立命館大学・教授)

② 研究項目

地表に被害を与える規模の地震による地表の強震動評価精度を向上させる。

以上