

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)

鉱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21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

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、その発生予測や強震動被害の制御・軽減が世界で強く望まれている。本研究では、南アフリカの大深度金鉱山において震源の至近距離における高感度・高精度の微小破壊（AE）、歪、強震観測などに基づいて、地震の準備と発生の理解を深める。また、鉱山地域の地表の南ア国立地震観測網を根本的に増強する。これらに基づき、地震発生と被害の予測を高度化する。

進捗状況： 平成 21 年 9 月までに、日本人コアメンバーが数度渡航し、南アフリカ・コアメンバーを 2 度招聘し、計画の具体像について議論を深めた。それを受けて行われた 10 月の詳細計画策定調査では、それまでの議論の結果が、JICA と南ア科学技術省との間の討議議事録（M/M）に盛り込まれ、10 月 7 日にスムーズに調印されるに至った。その後も日本人コアメンバーの数度の渡航によって、いくつかの鉱山では本計画の観測計器埋設工事を開始する準備が完了している。また、鉱山で発生した地震の諸情報や観測データ、地質情報などを包括的に管理するためのデータベースの開発が進められ、データのカタログ化のスキームと検索システムのプロトタイプが完成した。

一方、詳細計画策定調査後、南アフリカ側では大統領府を含めた諸関連機関での承認手続きが進み、平成 22 年 2 月 26 日に MoU（南アフリカでは他国の R/D と同等に扱われる上位の外交合意文書）が小野 JICA プレトリア所長と南ア科学技術省大臣によって調印された。大臣による調印は南ア大統領に承認されたものである。これを受け、3 月 15 日付けで JST と立命館の暫定契約が本契約に変更され、同日付で JICA と立命館の取極めが交わされた。さらに、3 月 26 日付けで CSIR と立命館の Collaborative Research Agreement が調印された。また、4 月 1 日付けで JST と東大・産総研との事業契約が結ばれ、4 月 10 日付けで JICA と立命館の事業契約が結ばれる運びとなった。4 月から使用できる国内予算で研究を先導できるように計画を微調整し、業務調整員が平成 22 年 7 月（予定）に南アに赴任した後から、南アフリカ国内での JICA 予算執行も始まり、計画全体が動き始める。

成果： 学術論文 4（うち招待論文 1）、学会発表 8（うち招待講演 1）、新聞報道 2、テレビ報道 2 など。

2. 研究グループ別の実施内容

2. 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

坑内の震源の極近傍（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

計画に関わるすべての鉱山で、基本構想に関する議論がほぼ終了し、いくつかの鉱山では観測レイアウトも具体的に決まり、MoU 調印前の暫定期間の目標よりも準備を少し先まで進めることができた。

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)
観測現場事前調査に南アフリカ側の技術者や若手を帯同し、サイト設計作業・議論を共同で行うことによって、計画の全体像と今後の進め方を理解させることができた。

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. 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

岩盤変形グループに同じ。

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)

岩盤変形グループに同じ。

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. 3. 震源の動的破壊過程グループ

①研究のねらい

断層破壊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、破壊前線の通過に伴う動的応力変化と断層変位を計測し、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させる。

③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

岩盤変形グループに同じ。

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)

岩盤変形グループに同じ。

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. 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

断層の近傍で記録された既存の観測データを用いて解析が進められた。

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)岩盤変形グループに同じ。

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. 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

観測レイアウトを決定するためにパイロットホールが試掘され、採取された岩石コアからターゲットとする断層の位置の推定が行われた。

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)岩盤変形グループに同じ。

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. 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

鉦山地域の国立地震観測網を増強し、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

CGS の別予算によって、閉山して水没した金鉦山地域の地震観測網が展開されつつある。2月8日現在、予定の約半数で臨時観測が始まっている。JST-JICA 予算で、採掘が盛んな金鉦山地域に、さらに10点の地震観測が始まり、自動処理システムが導入されれば、南アフリカ共和国の鉦山地震観測能力が劇的に向上すると期待される。

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）

岩盤変形グループに同じ。

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。

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：金鉦山内地震の準備と前駆変化への理解が深まる、

成果3：金鉦山内地震の発生を予測する精度が向上する、

成果4：金鉦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：金鉦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、鉦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：国内 1 件（招待論文）、国際 3 件

- ・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. Ogawasara, 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.

(2) 特許出願 : 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・助教)

② 研究項目

断層破壊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