

事業事前評価表

2009 年 10 月 22 日

国際協力機構 地球環境部

水資源・防災グループ 防災第二課

1. 案件名（国名）

国名：南アフリカ共和国

案件名：（科学技術）鉱山での地震被害低減のための観測研究プロジェクト

2. 事業の背景と必要性

(1) 南アフリカ共和国における鉱山安全分野の現状と課題

鉱物資源に恵まれている南アフリカ共和国（以下「南ア」国）には、金、プラチナ、石炭などの鉱山が多数あり、鉱業全体で約 50 万人が就業している。そのうち、約 60% にあたる 30 万人もの労働者が鉱石の採掘など坑内での労働に従事しており、鉱山災害の危険に晒されている。鉱山災害は、従来から南ア国において大きな社会問題となっているが、政府の指導及び鉱山会社の安全性向上への努力により、1980 年代後半には労働者 1,000 人あたりの年間犠牲者（死者）数が 1.00～1.20 人（犠牲総者数では 677～855 人／年）であったが、1990 年代を通じて犠牲者数は漸減し、2000 年代前半には同 0.56～0.75 人（犠牲者総数 246～290 人／年）にまで減少した。しかしながら、ここ数年は犠牲者数の減少傾向が停滞している。

これら鉱山災害犠牲者のうち約 4 割は、採掘活動によって岩盤が破壊され断層が生じることで発生する地震（以下、「鉱山地震」という）に起因する落盤事故によるものと言われている。また、鉱山地震は、採掘域や坑道などの落盤事故だけでなく地上にも建築物倒壊などの被害を及ぼすことがある。

鉱山地震のリスクは深度が深くなるほど高くなるため、採掘深度 3,000m を超える大深度鉱山が多い南ア国の金鉱山は特にリスクが高い。その原因は、地下 3,000m を超える大深度では、岩盤に巨大な圧力がかかっており、そこに採掘のための空隙を作ると岩石が圧力に耐えられず破壊し、断層を生じる可能性が高くなるためである。このような鉱山地震発生メカニズムが存在する中で安全に採掘するためには、鉱山地震のリスクをより正確に評価し、評価結果に基づく採掘計画の修正や採掘活動の制限などによって鉱山地震被害を減少させることが極めて重要である。

他方、南ア国の大深度金鉱山では、過去 16 年間にわたって日本の研究者によって鉱山地震の観測研究が行われ、その結果、地震の発生位置や大きさが事前にある程度予測可能になり、また震源となる断層の近くで観測することができることが分かってきた。大深度金鉱山は地震発生メカニズムの研究に絶好のフィールドを提供しており、ここで得られる科学的知見は、自然地震の発生メカニズムの理解促進に役立ち、地震の予知・予測研究に役立つことが期待される。

(2) 南アフリカ共和国における鉱山安全政策と本事業の位置づけ

南ア国政府は、1996 年に鉱山保健安全法を公布し、鉱山における保健・安全対策

の実施を義務付けている。また、南ア国政府、企業、労働者は、鉱山における死傷者をゼロにすることを最終目標に、そのマイルストーンとして金鉱山については 2013 年までに地下金属鉱山の国際的な安全水準と同等までの安全性向上を目指すことで合意し、その実現に向けて共同で取り組んでいる。本プロジェクトは、金鉱山における地震災害リスク管理体制の改善に寄与することを通じて、鉱山安全の向上に貢献することを目指しており、南ア国の鉱山安全政策と合致している。

(3) 南アフリカ共和国に対する我が国及び JICA の援助方針

南ア国に対する援助重点分野は、①「成長戦略のための人材育成」、②「貧困層の開発促進」、及び③「南アのリソースを活用した周辺国への支援」の 3 分野であるが、本プロジェクトは、鉱山地震災害リスクの低減を通じた南ア国鉱業セクターの持続的発展に資する人材育成を担うことから、「成長戦略のための人材育成」の下に位置づけられている。

日本政府は、政府開発援助を通じた防災分野における開発途上国支援の基本方針として 2005 年 1 月に「防災協カイニシアティブ」を発表しており、同イニシアティブでは、「具体的な取組」として、地震等の危険を観測・予測する技術、および災害リスク評価の技術等に係る人づくり支援などを挙げている。

昨今、我が国の科学技術を活用した地球規模課題に関する国際協力の期待が高まるとともに、日本国内でも科学技術に関する外交の強化や科学技術協力における ODA 活用の必要性・重要性が謳われてきた。内閣府総合科学技術会議が取りまとめた「科学技術外交の強化に向けて」（2007 年 4 月、2008 年 5 月）や、2007 年 6 月に閣議決定された「イノベーション 25」において途上国との科学技術協力を強化する方針が打ち出されている。そのような中で環境・エネルギー、防災及び感染症を始めとする地球規模課題に対し、開発途上国と共同研究を実施するとともに、途上国側の能力向上を目指す、「地球規模課題に対応する科学技術協力」事業が 2008 年度に創設された。本プロジェクトはこの一つとして採択されていることから、我が国政府の援助方針・科学技術政策に合致している。

なお、「地球規模課題に対応する科学技術協力」事業は、文部科学省、独立行政法人科学技術振興機構（以下、JST）、外務省、JICA の 4 機関が連携するものであり、国内での研究支援は JST が行い、開発途上国に対する支援は JICA が行うこととなっている。

(4) 他の援助機関の対応

本プロジェクトに関連する他の援助機関の支援は少ないが、包括的核実験禁止条約機関（CTBTO）が、数次にわたって南ア国の地震観測・解析にかかる施設整備・人材育成に協力した。

3. 事業概要

(1) 事業の目的

本プロジェクトは、震源近くでの地震観測が可能な南ア国の大深度金鉱山において観測研究を行うことを通じ、地震の準備¹と発生についての理解を深めるとともに、その知見を活かして金鉱山地震の災害リスク管理体制を改善することを目標としている。この目標を達成するために、金鉱山内で地震、微小岩盤破壊、岩盤の歪などを観測し、地震のメカニズムに対する理解を深め、地震の発生と地震による被害の予測精度を高めるとともに、地上の地震観測網を拡充し、震源決定と地上被害予測の精度を向上させる。

本プロジェクトの直接的裨益対象者は、プロジェクト活動に参加する南ア国側カウンターパート機関の研究者約 20 名である。

間接的裨益対象者は、南ア国の鉱山地下労働者約 30 万人である。

(2) プロジェクトサイト/対象地域名

調査対象地域

ヨハネスブルグ近郊の Far West Rand、及び Klerksdorp などの金鉱区の大深度金鉱山

(3) 事業概要

1) プロジェクト目標

プロジェクト目標：地震の準備と発生についての理解が深まり、金鉱山地震の災害リスク管理体制が改善される。

2) 成果、想定される活動と指標

成果 1：震源の岩石の性質が明らかになる。

活動：1-1. 想定震源域で岩石試料を採取する。

1-2. 実験室で岩石試料の物性を調査する。

指標：1-1. 協力期間の終了までに、岩石試料の調査結果が研究論文としてまとめられる（発表は協力期間の終了後となる場合もあり得る）。

成果 2：鉱山地震の準備と前駆変化²への理解が深まる。

活動：2-1. 想定震源域の周辺で微小破壊観測システム、岩盤変形観測装置、及び高感度長周期地震計を設置する。

2-2. 想定震源域での微小破壊活動を観測する。

2-3. 想定震源域での応力³蓄積、緩和の兆候を観測する。

¹ 地震の「準備」とは、ここでは物理的な前駆変化として観測ができない応力集中などのプロセスを指す。

² 「前駆変化」とは、ここでは本震を引き起こす断層破壊が発生する前に現れる微小破壊や岩盤のひずみなどの前兆現象を指す。

³ 「応力」とは、物体の内部に作用する力。

2-4. 観測結果を解析し、本震発生前の前駆現象とその特性を明らかにする。

指標：2-1. 協力期間の終了までに、鉾山地震の観測・解析結果が研究論文としてまとめられる（発表は協力期間の終了後となる場合もあり得る）。

成果3：鉾山地震の発生を予測する精度が向上する。

活動：3-1. 微小破壊活動によって発生する多数の小さな地震のデータから想定震源域の詳細な応力の時空間分布や岩盤の安定度を評価する。

3-2. 上記3-1及び微小破壊・岩盤変形観測結果を用いて、南アフリカ金鉾山で用いられている地震危険度評価を較正し、リスク評価手法を改善する。

指標：3-1. 協力期間の終了までに、プロジェクトで開発する鉾山地震の予測技術が、鉾山の現場での鉾山地震リスク評価手法に取り入れられる。

成果4：鉾山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。

活動：4-1. 想定震源域の極近傍に、断層すべりと応力の急激な変化を観測する加速度計、低感度歪計を設置する。

4-2. 上記4-1による観測データを解析し、震源での岩盤の破壊と強震動の生成の過程を明らかにする。

4-3. 想定震源域付近の採掘域に強震計、地震計を設置し、採掘域での地震動を観測する。

4-4. 震源近傍と採掘域での地震動を比較して地震動の増幅特性を明らかにする。

4-5. 動的応力変化、断層変位の観測結果と既存の室内実験結果を比較し、動的破壊過程の相似則⁴を解明する。

指標：4-1. 協力期間の終了までに、鉾山内における地震動の生成、伝播、増幅・減衰過程の観測・解析結果が研究論文としてまとめられる（発表は協力期間の終了後となる場合もあり得る）。

成果5：地震の震源決定及び被害予測の精度が向上する。

活動：5-1. Far West Rand鉾区に、新たな地表地震観測所を設置する。

5-2. 地球科学評議会（下記(6)を参照）Silverton事務所のデータ・センターの地震解析システムを改善する。

5-3. 鉾山地震による地表部の地震動を予測するモデルを開発・検証する。

指標：5-1. 協力期間の終了までに、地球科学評議会による震源決定の精度・速度がプロジェクト開始時点と比較して向上する（震源決定の精度が現状の1~10キロメートル程度から数百メートル程度に、また1日あた

⁴ 「相似則」とは、ここでは規模の異なる2つの現象の間に相似（大きさが異なるものの振る舞いが同様であること）が成り立つための条件を指す。

りに処理可能な地震イベント数が現状の 200~300 イベントから数千イベントにそれぞれ向上)。

- 5-2. 協力期間の終了までに、地球科学評議会が用いる地震動予測モデルが改善される(具体的な改善内容は、プロジェクト開始後に現在の地震動予測モデルを詳しく分析し、改善点を洗い出したうえで決定する)。

3) 投入の概要

日本側

- (a) 専門家：長期専門家 1 名 (業務調整)

短期専門家 7~8 名/年次×5 年次 (チーフ・アドバイザー、地殻物理学、岩石力学、破壊力学、地下情報計測工学、構造地質学、地殻変動学、計測工学、強震動地震学、計算機工学、データ処理等の各分野専門家を複数回派遣)

- (b) 本邦研修：日本で開催されるプロジェクトの会議への参加など

- (c) 供与機材：地震計、ひずみ計、アコースティック・エミッション・センサー、データ記録器、地震解析ソフト等

- (d) 在外事業強化費

南ア国側

- (a) カウンターパート：

プロジェクト・ダイレクター：1 名 (科学技術省)

プロジェクト・マネージャー：1 名 (科学産業研究評議会)

共同研究者 (カウンターパート)：約 20 名の研究者

- (b) 施設、機材等：専門家執務室の提供、及び観測機器の設置場所の確保

- (4) 総事業費/概算協力額

約 3.8 億円 (JICA 予算ベース)

- (5) 事業実施スケジュール (協力期間)

(予定) 平成 22 年 3 月~平成 27 年 3 月 (5 年間)

- (6) 事業実施体制 (実施機関/カウンターパート)

南ア国側

責任機関：科学技術省 (DST)

実施機関：科学産業研究評議会 (CSIR) (研究代表機関)

地球科学評議会 (CGS)

ウィット・ウォーターズ・ランド大学地球科学研究科

日本側

実施機関：JICA 及び立命館大学を研究代表機関とする研究チーム

(7) 環境社会配慮・貧困削減・社会開発

1) 環境社会配慮

① カテゴリ分類 C

② 影響と回避・軽減策

本プロジェクトは、鉱山内及び地上における地震、岩盤のひずみ等の観測を通じて研究を進めるプロジェクトであり、環境社会面で負の影響を及ぼす恐れはない。

2) 貧困削減促進

本プロジェクトは、比較的所得水準の低い鉱山労働者の鉱山地震被害リスクを軽減するものである。鉱山事故によって鉱山労働者やその家族が貧困に陥る、或いは貧困状態が悪化するリスクを軽減することに寄与する。

3) ジェンダー

本プロジェクトにおいては、関連が少ない。

(8) 他ドナー等との連携

関連する分野における他ドナーの支援がほとんどないため、連携は検討していない。

(9) その他特記事項

日本側研究グループは、本プロジェクトと並行し、日本学術振興会の科学研究費補助金を得て、南ア国金鉱山における地震の基礎的研究を実施する計画であり、研究成果の防災への応用を目指す本プロジェクトとの相乗効果が期待される。

4. 外部条件・リスクコントロール

(1) 治安・安全

南ア国ではテロのリスクは高くないが、一般犯罪は特に都市部において深刻であり、十分な注意を要する。

鉱山内で活動を行う際には、鉱山会社が定める安全対策措置を遵守し、事故の防止に努める。

(2) 研究・技術開発を主体としたプロジェクトであることに起因する不確実性

本プロジェクトでは、これまでに前例の無い研究・技術開発の課題にも取り組むことから、目標達成までの全てのプロセスが予見できるわけではない。したがって、プロジェクトの実施中に活動計画、投入計画を柔軟に修正していくことにより、かかるプロセスの不確実性に対処する必要がある。

(3) 外部条件

特筆すべき外部条件は無い。

5. 過去の類似案件の評価結果と本事業への教訓

本プロジェクトに類似する過去のプロジェクトは無い。

6. 評価結果

(1) 妥当性

本プロジェクトは、以下の理由から妥当性が高いと判断される。

ア. 対象国の社会、裨益対象者のニーズとの整合性

南ア国では、2000年から2006年の間に鉱山の災害・事故で死亡した年平均約250人のうち、4割程度に相当する年平均約100人もの労働者が、鉱山地震に起因する災害で亡くなったと推計され、負傷者を含めると被害者はその数倍にのぼる。さらに、鉱山地震による人身事故は、本人やその家族だけでなく南ア国の社会や経済にも大きな損失をもたらしている。鉱山安全の問題は、南ア国の政府・社会にとって大きな懸案事項であり、2007年から2008年にかけて大統領の命令により鉱山安全に関する監査が行われた。本プロジェクトは、鉱山地震の観測研究を通じて得た知見を活かし、鉱山地震の予測とリスク評価の手法の精度を上げることによって、鉱山地震による人的被害の軽減に資するものであり、南ア国の社会ニーズに合致している。

また、本プロジェクトの直接的な裨益対象者である南ア国側共同研究者は、同国の地震学、岩盤工学分野の研究水準を高め、鉱山地震災害の軽減に研究成果を活用していくために、日本の先端的な地震観測・解析技術を修得することを必要としていることから、裨益対象者の支援ニーズと整合している。

イ. 相手国の開発政策及び日本の援助政策との整合性

南ア国では、1996年に鉱山保健安全法が公布され、その目標のひとつとして、鉱山の安全と保健にかかわる危険を特定し、リスクを排除・制御・軽減することを掲げている。また、南ア国政府、企業、労働者は、鉱山における死傷者をゼロにすることを最終目標に、そのマイルストーンとして金鉱山については2013年までに地下金属鉱山の国際的な安全水準と同等までの安全性向上を目指すことで合意し、その実現に向けて共同で取り組んでいる。本プロジェクトは、鉱山の安全を脅かす鉱山地震の危険をより正確に予測し、そのリスクを制御・軽減することに資するものであり、南ア国における上記の政策に整合している。

南ア国に対する援助重点分野は、①「成長戦略のための人材育成」、②「貧困層の開発促進」、及び③「南アのリソースを活用した周辺国への支援」の3分野であるが、本プロジェクトは、鉱山地震災害リスクの低減を通じた南ア国鉱業セクターの持続的発展に資する人材育成を担うことから、「成長戦略のための人材育成」の下に位置づけられており、南ア国に対する我が国の援助方針に合致している。

日本政府は、政府開発援助を通じた防災分野における開発途上国支援の基本方針として2005年1月に「防災協カイニシアティブ」を発表しており、同イニシアティブでは、「具体的な取組」として、地震等の危険を観測・予測する技術、および災害リスク評価の技術等に係る人づくり支援などを挙げていることから、本プロジェクトの

協力内容はこれに沿うものである。

(2) 有効性

本プロジェクトは、以下の理由から有効性が見込める。

プロジェクト目標と成果の間の因果関係

本プロジェクトの目標は、地震の準備と発生についての理解を深め、金鉱山地震の災害リスク管理体制を改善することである。この目標に対し、成果の1、2、3を通じて鉱山地震の準備と発生への理解を深めることで、鉱山地震の予測とリスク評価の精度を高めるとともに、より一般的な自然地震の準備と発生の理解を深めるための知見を提供する。また、成果4、5では、鉱山地震による鉱山内および地表で発生する被害の予測精度を高め、迅速な応急対応を可能にする。これらの成果が、鉱山地震の災害リスク管理体制の改善につながる。従って、プロジェクト目標と成果の間の因果関係は適切で、成果の達成がプロジェクト目標の達成につながると判断される。

(3) 効率性

本プロジェクトは現時点において、効率性の高い計画内容となっていると判断される。

ア. 活動・投入計画の適切性

本プロジェクトの活動計画、投入計画は、期待される成果を達成するために必要と現時点で想定される全ての活動・投入が盛り込まれており、計画どおりに活動・投入が実施されれば、効率的な成果達成が可能となるよう設計されている。日本側と南ア国側の研究グループは、過去16年にわたる研究交流を通じ、相互理解と信頼関係を深め、共同研究を効率的に進める体制を構築してきた。本プロジェクトは、これらを基礎として実施することによって、高い効率性が期待される。

また、プロジェクト目標の前半部分である地震の準備と発生についての理解を深めるという目標に対して、本プロジェクトと同様の観測研究を大深度鉱山の無い日本国内で実施する場合と比較すると、遥かに少ないコストで達成することが可能であり、極めて高い効率性が期待できる。

ただし、本件のような研究・技術開発を主体としたプロジェクトでは、研究活動の進展に伴ってその後の活動の展開が変わっていく可能性が高く、活動計画及びそれに連動する投入計画の柔軟な修正が必要となる。

イ. サイト選択の適切性

本プロジェクトでは、南ア国側実施機関の所在地から地理的に近く、かつ採掘に伴う地震活動が活発で震源となる断層の発生位置が予測しやすく震源近くでの観測がしやすいヨハネスブルグ近郊の Far West Rand、及び Klerksdorp などの金鉱区の大深度金鉱山を観測対象サイトとして設定しており、期待される成果を達成するうえで効率的な選択であると判断される。

(4) インパクト

本プロジェクトでは、以下のようなインパクトが予測される。

考えられる正・負の影響・波及効果

本プロジェクトでは、鉱山保健安全評議会（鉱物資源省、鉱山労働者組合、鉱山会社協会が共同で運営する組織）と連携し、同評議会が主催する鉱山安全に関する研究会、同評議会のホームページや広報誌を通じてプロジェクトの成果を積極的に発信していくことで、南ア国内の鉱山に成果が普及し、鉱山地震災害の軽減に資することが期待される。さらに、鉱山安全は南ア国内外の鉱山関係者にとって共通の課題であることから、鉱山保健安全評議会が主催するもの以外にも、毎年さまざまな鉱山安全に関するセミナー、ワークショップ、シンポジウムが開かれ、鉱山安全の向上に資する新しい技術や取組に関する情報が交換されている。本プロジェクトの成果は、これらのイベントを通じて、南ア国内外に発信することにより、世界の鉱山地震災害の軽減に貢献することが期待される。

また、本プロジェクトは、地震の準備と発生に関する世界初の新知見を提供することが期待される。

現時点で、負の影響は想定されない。

(5) 自立発展性

本プロジェクトによる効果は、以下の理由によりプロジェクト終了後も継続・発展するものと見込まれる。

ア. 政策・制度面

南ア国にとって、鉱山安全が政府・社会の重要課題であり続けることは間違いなく、鉱山安全を促進する政策・制度が保持されることは確実と思われる。従って、政策・制度面の持続性は高い。

イ. 組織・財政面及び技術面

本プロジェクトの南ア国側の3つの実施機関は、いずれも南ア国を代表する研究機関であり、組織・財政面の持続性に懸念はない。技術面においても、南ア国は科学技術の水準が比較的に高いことから、本プロジェクトを通じた能力開発によって、南ア国側の実施機関は、本プロジェクトで得られた研究成果を、さらに発展させていくことが可能と考えられる。

(6) 実現可能性（リソース確保、前提条件）

ア. リソース確保

南ア国側の実施機関は、本プロジェクトに参加する研究者の人的費、国内出張旅費等を、それぞれの機関で負担することを了承し、必要なリソースを手配する姿勢を見

せている。また、日本側が供与する機材の維持管理コスト等についても負担を約束している。従って、リソース確保に関する懸念は少ない。

イ. 前提条件

懸案となる前提条件は無い。

上記の観点から、本プロジェクトの実現可能性は高いと判断される。

7. 今後の評価計画

(1) 今後の評価に用いる主な指標

【成果】

- 1-1. 調査・実験結果を取りまとめた研究論文
- 2-1. 観測・解析結果を取りまとめた研究論文
- 3-1. 鉱山会社の鉱山地震リスク評価手法の内容
- 4-1. 観測・解析結果を取りまとめた研究論文
- 5-1. 震源決定の精度・速度
- 5-2. 地震動予測モデルの内容

(2) 今後の評価のタイミング

- ・ 中間レビュー 平成 24 年 9 月頃
- ・ 終了時評価 平成 26 年 11 月頃

以 上