

第2章 協力対象国・課題の現状

2-1 南アフリカ共和国における金鉱業

(1) 鉱山産業と金鉱山の分布

「南ア」国において金、白金、石炭などを含む鉱山産業は、2007年の国内総生産 GDP で7.7% (約192億USD) を占め、総売上高、輸出売上高はそれぞれ約317億USD、約229億USDと同国の経済発展に大きく貢献している。また、輸出売上高のうち、金が全体の22.2%で、白金や石炭と並んでその上位を占めている (DME: 2009a)。

同国では1886年に金が発見されて以来、これまでに約5万tの金が採掘されており、全世界で生産された金の約40%を占めている。現在、国内では45の金鉱山が稼働中であり、その大部分が、国土中央部のやや北東に位置するウィットウォーターズランド (Witwatersrand) 盆地に属している (図2-1-1)。2006年の統計では、この盆地から同国全体の約92.9%の金が生産されている (DME: 2008a)。

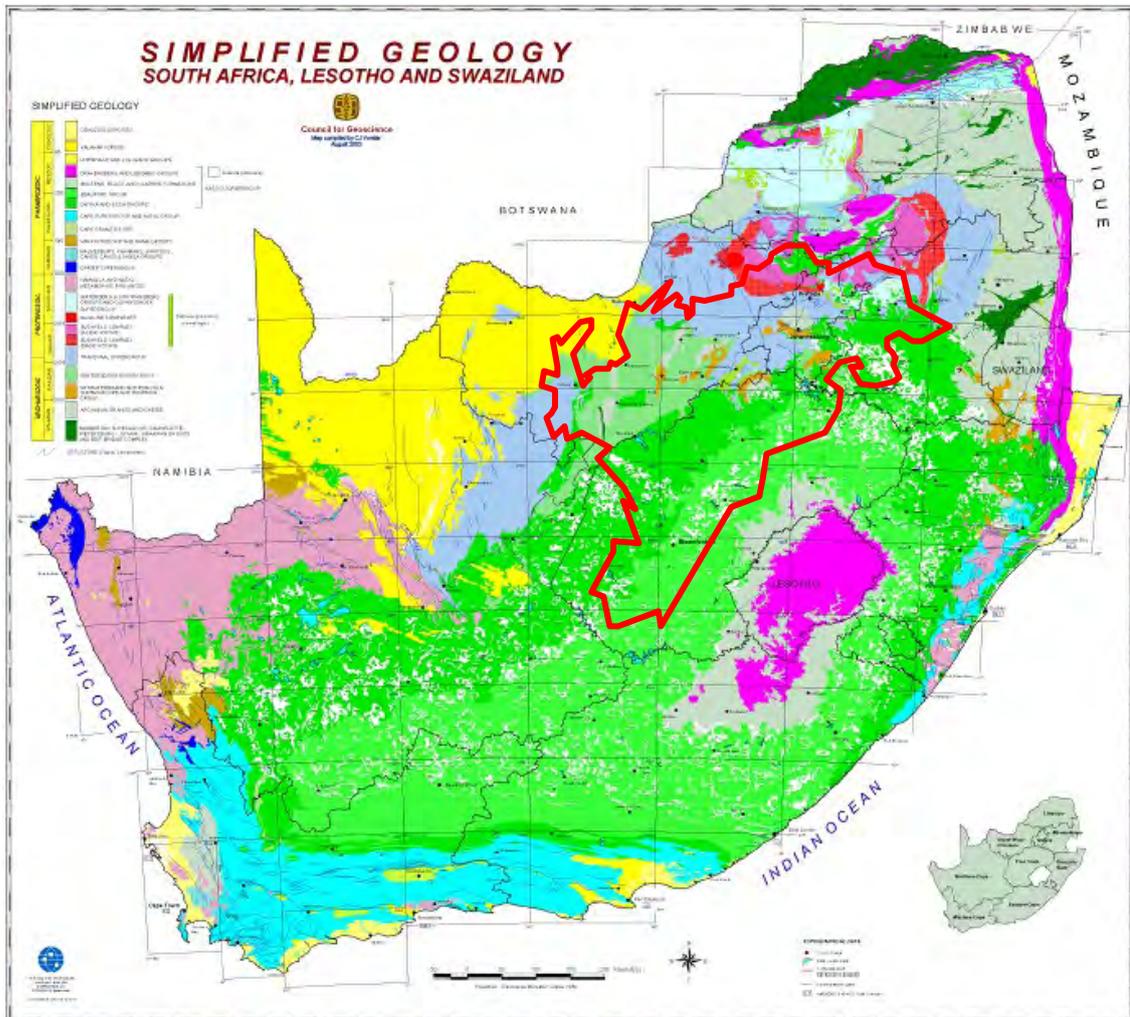


図 2-1-1 「南ア」国概略地質図 (赤枠はウィットウォーターズランド盆地) (CSIR 内部資料)

70%を占めており、2006年までは金生産量の世界シェア第1位を保持してきた。しかしながら、1970年以降は生産量が減少しており、2008年統計では年間生産量は約250t、世界シェアは10%程度となっている。図2-1-3に1930～2006年までの各国の金生産量と「南ア」国の世界シェアを示す。

反対に中国やインドネシアでは近年、金生産量が急激に増加しており（それぞれ2007年統計で、前年比13.5%、26.0%の増加）、2007年度以降は中国に世界シェア第1位の座を奪われ、また世界シェア第3位以下のオーストラリアやアメリカ合衆国とも僅差となっている（表2-1-1、USGS: 2009）。

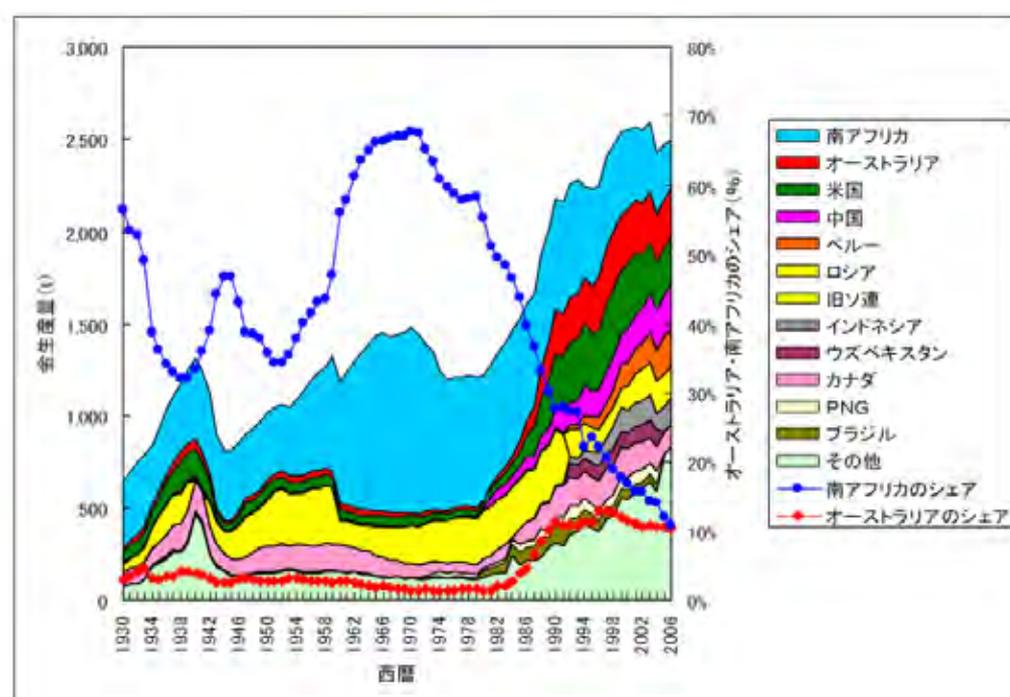


図 2-1-3 1930～2006 年における金生産量推移 (JOGMEC: 2007)

表 2-1-1 世界シェア上位 4 カ国における 2007・2008 年の金生産量推移 (USGS: 2009)

	年間生産量 (t)	
	2007 年	2008 年
中華人民共和国	275	295
南アフリカ共和国	252	250
オーストラリア	246	225
アメリカ合衆国	238	230

(3) 金生産量減少の要因

「南ア」国における金鉱山では、図 2-1-4 に示すように傾斜して薄板状に分布する金鉱脈周辺まで、Shaft と呼ばれる垂直昇降エレベーターを設置し、Shaft から金鉱脈までを数段階 (Level) で水平掘削孔に掘り進めることにより、金鉱脈を採掘している。1886年に同国で金が発見されて以来、比較的容易に採掘できる浅部の多くではすでに採取し尽くされており、近

年では深度 3,500m を超える金鉱山がいくつか存在している。今後は深度 4,000m 程度までを採掘する案が計画されている。

同国では、前述した通り 1970 年代以降、金生産量の減少が顕著であり、その原因は次のように考えられている。

- ・ 採掘深度の深化による採掘コストの増大
- ・ 新鉱脈が発見されないこと
- ・ 停滞する経済状況

特に、採掘深度の深化が生産量減少の最も大きな要因である。採掘深度が深くなるにつれて、鉱山地震ならびに地震による落盤事故が誘発されるため、鉱夫の安全性の確保が最重要課題となってくる。安全を確保するために、各金鉱山では地震計や変位計を多数導入し、地震工学や岩盤工学の専門家が地震や落盤・山はねの観測・解析にあっている。

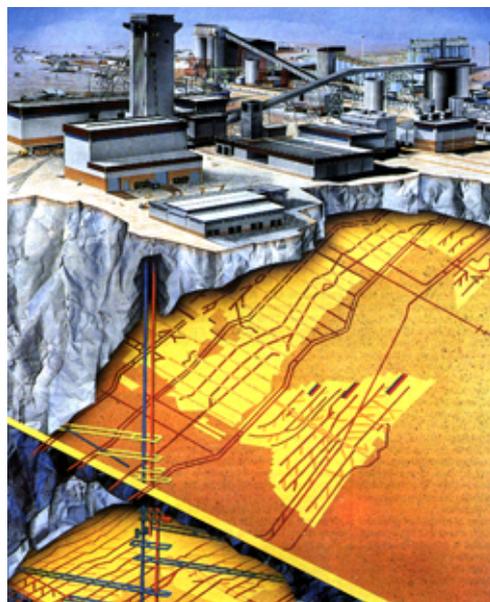


図 2-1-4 典型的な金鉱山の模式図
(ISS International 社内部資料)

坑内において落盤死亡事故などが発生した場合は、その金鉱山は操業停止処分となり、政府機関などによる詳細調査が行われることとなる。また、深度 3,500m 付近では地熱の影響および空気の圧縮により、坑内気温は 60 度前後に達するため、適切な採掘環境を保つために大容量の坑内換気が必要となる（「南ア」国法令により採掘現場では 28 度以下とすることとされている）。ムポネン（Mponeng）鉱山では換気（空冷）に際し、1 時間あたり約 80t の氷を使用しているとのことである。さらには、深部になるほど、岩盤内の高間隙水圧の逸水や大量の地下水処理などの問題が深刻になる。これらの問題に対応していくための経費は、金鉱山の採掘深度が深くなるにつれて増大していくこととなる。

また、地下 4~5,000m を越えるような大深度、または表層付近の薄層等で金鉱脈の存在が想定されているものの、技術的・経済的観点から現状では採掘ができない・しない箇所が多い。これらの箇所以外では、新規金鉱脈の発見はほとんどなく、生産量の増加につながっていない。さらに世界的に停滞する経済状況が金の需要を抑制しており、生産量の増加に結びついていない。

以上の要因により、同国では金生産量が減少の一途を辿っていると考えられる。

(4) 金の埋蔵量分布

「南ア」国における金埋蔵量は様々な推定値があるものの、2008 年に DME から公表された資料（DME: 2008a）によれば、現在稼動している金鉱山において存在がすでに証明されている埋蔵量、および推定されている埋蔵量を合計すると約 5,000t であると評価されている（表 2-1-2）。これは現在の年間採掘量である 250t 換算で、約 20 年分の埋蔵量に相当する。

表 2-1-2 現在稼働中の金鉱山における金埋蔵量 (DME: 2008a)

種類	金埋蔵量 (t)
現鉱山での存在証明済の金埋蔵量	1,147
現鉱山での推定金埋蔵量	3,838
合計	4,985

また CSIR 内部資料によると、同国内にはさらに 3 万～4 万 t の金が埋蔵されていると推定されているが、残された金鉱脈のほとんどは大深度もしくは薄層であり、現況の技術条件下では採掘に際して不経済となる場合が多いと考えられている。深度別の埋蔵量分布に関する統計的な資料はないものの、大深度での採掘割合が年々多くなり、2015 年には全採掘の 40% が地下 3,000m 以深で行われると予想されている (図 2-1-5、Willis: 1997)。

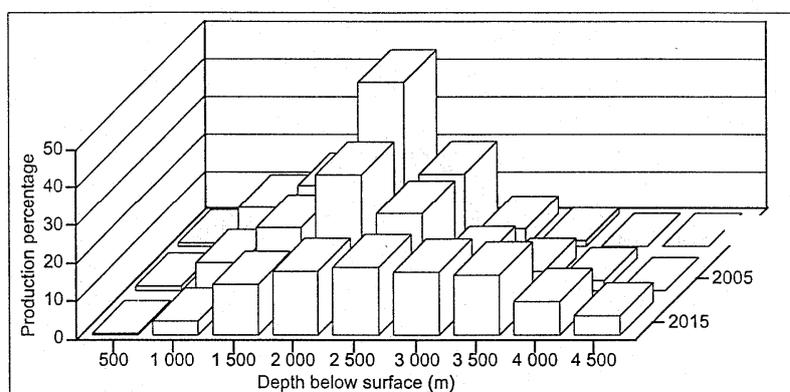


図 2-1-5 金生産量の深度分布の予測 (Willis: 1997)

(5) 金鉱山の労働者数と国籍

DME (DME: 2008b) によると、2007 年の「南ア」国鉱山産業に直接従事する総労働者は 485,900 人で、同国の労働人口の約 2.9% に相当する。さらに、それと同等数の労働者が鉱物加工業など間接的に鉱山産業に携わっていると推定されている。また、鉱山産業全体の総労働者の約 31.4% にあたる 152,587 人が金鉱山での労働者である。

図 2-1-6 に示す通り、鉱山産業全体の総労働者数は 1998 年より 40 万～50 万人程度で推移しており、大きく増減している傾向はない。しかしながら、金鉱山のみに着目した場合、1998 年当時は 25 万人程度 (鉱山産業全体の総労働者の約 54%) であった労働者が、近年の金生産量と並行して減少傾向にあり、2001 年以降 20 万人を下回り、2004 年以降は 15 万人前後 (鉱山産業全体の総労働者の約 30% 程度) となっている。

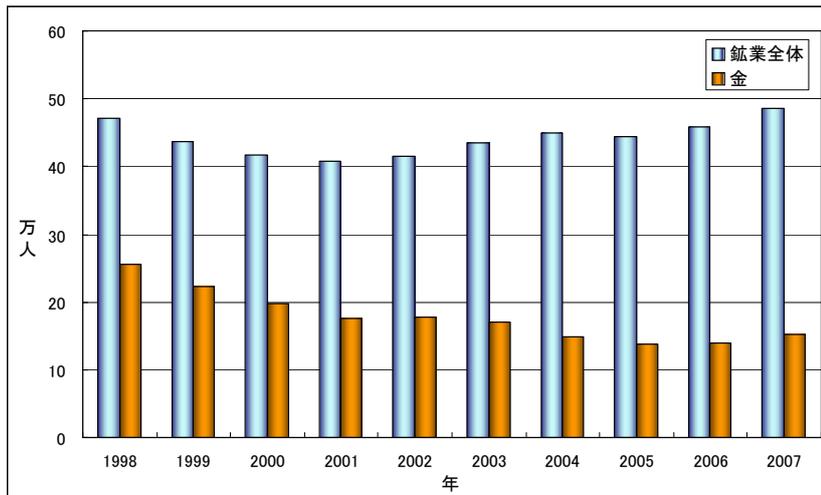


図 2-1-6 鉬山産業全体と金鉬山での総労働者 (CSIR 内部資料、DME: 2007、DME: 2008b)

また、図 2-1-7 に示す通り、2007 年において、鉬山産業全体の総労働者のうち、地下で作業を行う地下労働者は全体の約 60% (194,360 人) であるのに対し、金鉬山における地下労働者は全体の 84% (127,629 人) であり、鉬山産業全体の総労働者の約 4 人に 1 人 (約 26%) が、金鉬山での地下作業に従事している計算となる。このことから落盤等の発生が懸念される危険な金鉬山深部での地下労働者の割合が、同国では非常に高いことが分かる。

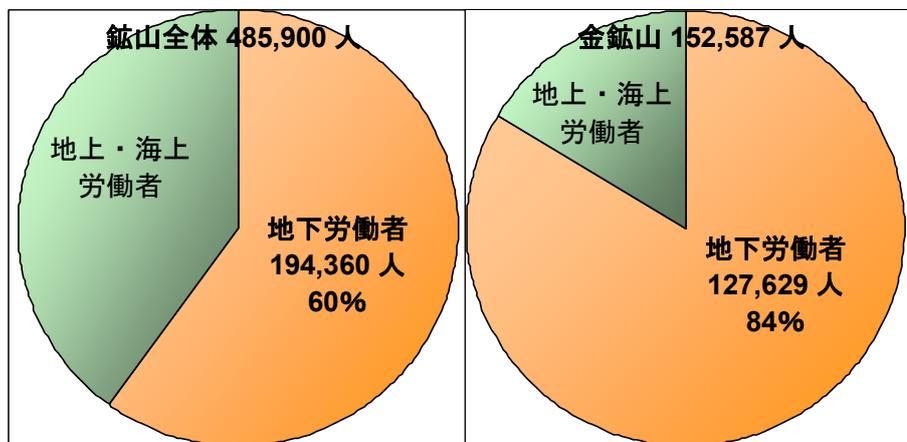


図 2-1-7 鉬山における地下労働者の割合 (DME: 2008b)

鉬山労働者の国籍に関する正確な統計資料はないものの、現地の聞き取り調査によると、1970 年頃の金鉬山最盛期には、モザンビーク、マラウイ、ボツワナ、レソトなどの近隣諸国からの労働者の割合が多かったが、近年は減少傾向にある。

2-2 鉱山事故・災害の現状・対策

(1) 鉱山事故の種類

鉱山における事故・災害は「南ア」国の大きな社会問題となっており、鉱山産業界だけでなく、政府の各機関も含めた総合的な対策を行ってきている。DME (DME: 2008b) によると、2007 年の鉱山全体における災害死者数は 220 人と報告されておりその種類と人数、割合は表 2-2-1 に示す通りである。

表 2-2-1 2007 年の鉱山における災害死者数 (DME: 2008b)

事故・災害種類	死者数	割合
落盤・山はね (地震に伴うものを含む)	76 人	35%
滑落・転倒	50 人	23%
輸送・採掘に伴う事故	47 人	21%
機械類操縦に伴う事故	19 人	9%
その他 (感電、火災、爆発、高温障害など)	28 人	13%
合計	220 人	

鉱山地震に起因する災害 (鉱山地震による落盤・山はね等) による死者数が最も多いが、負傷者も含めた事故・災害犠牲者は、中小規模の鉱山を含めた場合、1984~2002 年までの 19 年間で事故・災害犠牲者全体の 46.7%が鉱山地震に起因するという報告もある (SIMRAC: 2001、SIMRAC: 2002)。また採掘の深化に伴い、鉱山地震と、鉱山地震による落盤・山はねが増加傾向にあるため、特に金鉱山での落盤・山はねが顕著である。

落盤や山はね以外で最近発生した大きな事故としては坑内メタンガス爆発により 1999 年 7 月に 19 名、2001 年 5 月に 12 名が死亡している。また死者・重傷者は出なかったものの、2007 年 10 月にはエランズランド (Elandsrand) 金鉱山で、垂直昇降エレベーターが停止し約 3,200 人が 42 時間、坑内に閉じ込められる事故が発生した。

(2) 災害件数と被災者数

図 2-2-1 は 1984~2007 年までの過去 24 年間の「南ア」国全体の鉱山事故・災害の推移を示している (DME: 2008b)。鉱山事故・災害による死者数は、1980 年代には年間 700~800 人以上であったが、岩盤の支保技術の発達、地震活動の詳細観測、岩盤応力計算の適用といった技術的進展に加えて、鉱山安全研究諮問委員会 (SIMRAC) の設立 (1993)、鉱山保健安全法の制定 (1996)、大統領鉱山保健安全監査報告 (2008) など行政面からの安全保健管理に関する支援により、2005 年以降では年間 200 人程度に減少した。

しかしながら 2007 年では、前年と比較して死者数が約 10%増加 (220 人) しており、近年、被災死者数が下げ止まり傾向にあると懸念される。これは金鉱山における採掘深化や安全保健管理経験の少ない中小規模鉱山会社の参入などによるものと考えられている。

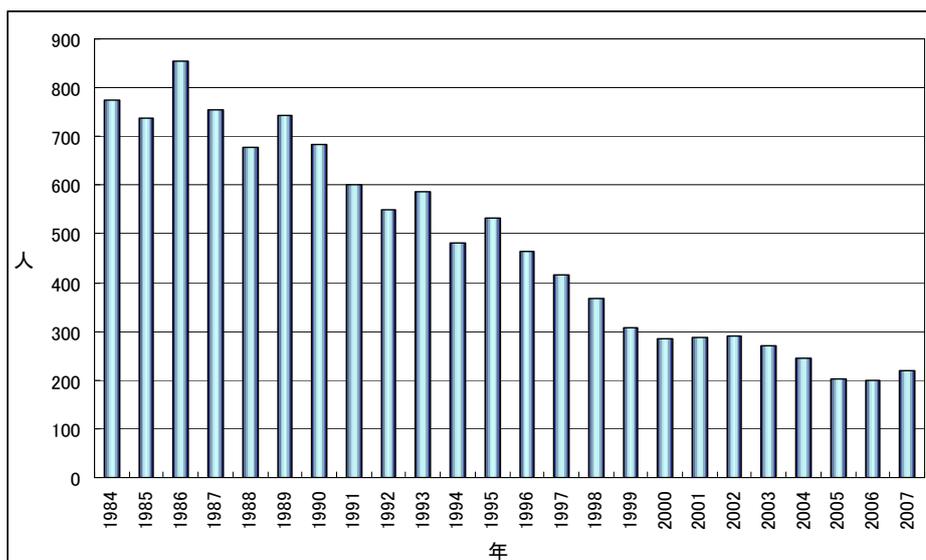


図 2-2-1 鉱山事故・災害による年間死者数の推移 (DME: 2008b)

なお、金鉱山のみにおける死者数は、鉱山産業全体の死者数 220 人の約 52%に相当する 115 人 (2007 年) である (DME: 2008b)。これは金鉱山における労働者数が鉱山産業全体の総労働者数の 3 割程度であることを勘案すると、金鉱山では特に突出して死亡事故の発生率が高いといえる。

また、「南ア」国鉱山産業全体における坑内労働者災害死亡率 (労働者千人あたりの死者数) は、20 世紀初頭には 5 程度であったが、1920 年頃には 2~3 程度、1950 年頃には 1.5 程度、1980 年には 1.2 程度と徐々に減少している (SIMRAC: 2002)。1980 年後半には 1.0 程度となり、1990 年代に入ってから 0.8~0.9 と 1.0 を下回るようになり、さらに近年では 0.4 程度まで低くなっている (DME: 2008b)。図 2-2-2 に 1997~2007 年まで過去 11 年間の鉱山産業全体ならびに金鉱山における労働者災害死亡率を示す。

図 2-2-2 に示す通り、金鉱山における労働者災害死亡率も同様に 1990 年代後半以降には、アメリカ合衆国並みの水準である 1.0 程度まで減少したものの、その後は 0.8~1.0 前後を推移し、鉱山産業全体の労働者災害死亡率ほど顕著な改善傾向は認められない (DME: 2007、SIMRAC: 2002)。これは、金鉱山において採掘深度が深くなるにつれて鉱山地震の発生が増加し、落盤等による死亡事故を誘発するからであると考えられる。例えば、深度 2,500m 以深では鉱山地震による死亡率が 0.8 を超えるという報告もある (Ryder and Jager, 2002)。

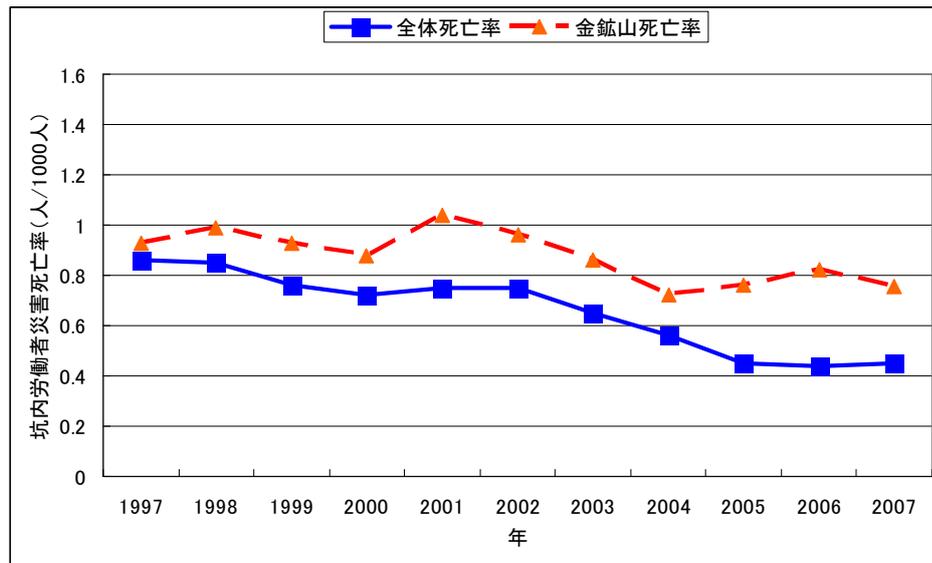


図 2-2-2 鉱山事故・災害による死亡率の推移 (DME: 2007, DME: 2008b, SIMRAC: 2002)

(3) 政府における災害対策

「南ア」国において鉱山の安全保健管理を管轄する機関は鉱物資源省 (Department of Mineral Resources; DMR、旧鉱物エネルギー省; Department of Minerals and Energy; DME) である。DMR は鉱山の管理に加えて、産業全体の発展・促進に資する機関であり、エネルギー部門、鉱業部門、鉱山安全保健部門の3つに大別される。鉱山における安全保健管理に係わる近年の法制定と政府の対応について、表 2-2-2 にまとめるとともに、以下にその概要を記載する。

表 2-2-2 「南ア」国における鉱山の安全保健管理に係わる法制定と組織

年	法令および組織		主な活動内容
1991	鉱物法	鉱山安全研究諮問委員会 (SIMRAC) (1993)	研究促進・ファンド機関
1996	鉱山保健安全法	鉱山保健安全監督局 (MHSI)	法令や基準の制定
		鉱山保健安全評議会 (MHSC)	法規、研究、安全保健の促進 (大臣の諮問機関)
		鉱山資格局 (MQA)	教育、訓練
2008	大統領鉱山保健安全監査		課題の整理と提言

1991年に鉱物法 (the Minerals Act) が制定され、それを受けて1993年に鉱山安全研究諮問委員会 (Safety in Mines Research Advisory Committee; SIMRAC) が設立されて、多くの予算が鉱山での災害防止・軽減の研究に投資され、関連研究が推進されることとなった。その結果を鉱山に反映することにより、安全管理がより厳しく行われるようになった。SIMRACでは具体的に、鉱山でのリスク軽減に係る研究プロジェクトの内容を検討し、その研究の必要性やコスト、優先順位を決定するとともに、研究プロジェクトの実施状況の監視、利害関係者へのプロジェクト成果の広報などにも対応しているほか、研究結果をまとめた年間レポートを作成し公表している。また、政府や産業界からの資金に基づいた、各関連研究に対するファンド機関としての位置づけもある。1995年頃からは鉱山会社、鉱山労働者 (労働組合)、州政府それぞれの代表者により重役メンバーが構成される三者構造となり、1996年以降は鉱山保健安全評

議会（Mine Health and Safety Council; MHSC）の下部組織となり、現在は研究促進に関する諮問機関としての役割を果たしている。

1996年には鉱山保健安全法（the Mine Health and Safety Act）が制定され、鉱山における安全と保健の向上をさらに促進させる目的で、以下の3つの機関を軸とした組織構造が構築されることとなった。

- ・ 鉱物資源省鉱山保健安全監督局（Mine Health and Safety Inspectorate; MHSI）
- ・ 鉱山保健安全評議会（Mine Health and Safety Council; MHSC）
- ・ 鉱山資格局（Mining Qualifications Authority; MQA）

これら機関は、それぞれの機関が連携、協力することにより、鉱山事故・災害の軽減、安全・保健の向上に取り組んでいる。ただし、各機関における役割分担は必ずしも明確に区分されていない部分があり、これらの機関が状況に応じて機能的、有機的に対応することとなる。さらに本プロジェクトのカウンターパート機関である CSIR、CGS、Wits 大学をはじめとして、鉱山会社や鉱山技術サービス会社、他の大学などにおいても、鉱山における安全性向上に係わる研究や技術開発が継続的に実施されており、その成果は鉱山における災害軽減に反映されている。これらの関係図を図 2-2-3 に示すとともに、各機関における役割の概要について以下に記載する。

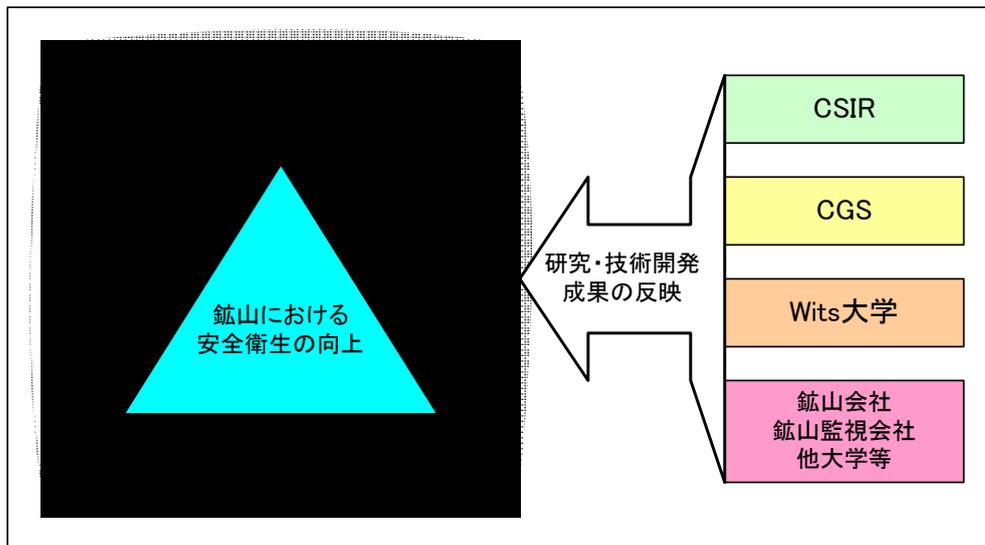


図 2-2-3 「南ア」国の鉱山安全保健管理に関わる組織の関係図

【鉱山保健安全監督局：MHSI】

DME: 2009b および MHSI: 2008 によると、鉱山保健安全法の中で、鉱山で働く人々の安全と保健を監理する部局の設立が規定されており、これを受けて MHSI が設立された。また、MHSI 局長は MHSC と MQA の長を兼ねており、MHSI 局長が年間レポートを作成し政府に提出することとなっている。

MHSI は鉱山における労働環境、資機材管理、健康管理に係る政策や法令、基準を制定することにより、鉱山産業における死者や負傷者の軽減を図る目的で設立された機関であり、主な

活動内容は次の通りである。

- ・ 労働災害の軽減
- ・ 関連政策・法令の制定
- ・ 情報管理の改善
- ・ 経済発展、人材育成、労働環境改善、貧困削減、エイズ対策に関わる横断的支援

MHSI では労働災害の軽減に向けた活動の一環として、各鉱山会社に向けて鉱山内での落盤防止に向けたルール作成のためのガイドライン (MHSI: 2006) などを発行している。また鉱山において大きな被害が出た場合は、鉱山会社は操業停止となり、MHSI による査察、詳細調査が実施される。これらの経験が蓄積されて、鉱山の安全に繋がっている。

本機関の活動により、1996 年以降の鉱山の安全性が確実に向上しているが、金鉱山における地下労働者の被災率が依然高いままであることが現状の課題であるとされている。

【鉱山保健安全評議会：MHSC】

MHSC: 2007 および MHSC: 2009 によると、MHSC は鉱山保健安全法に基づいて設立された、鉱山に関する安全保健の促進と課題に関する大臣の諮問機関であり、主な活動内容は次の通りである。

- ・ 各諮問委員会の監督
- ・ 鉱山産業における安全保健文化の促進
- ・ 労働安全保健管理を目的としたレビュー委員会（2年に1回）の実施
- ・ MQA や他機関との連絡調整

MHSC は図 2-2-4 に示す通り、次の3つの諮問委員会から構成されている。

① 鉱山法規諮問委員会 (Mining Regulations Advisory Committee; MRAC)

鉱山における法規やガイドライン、基準の制定や変更に関わる諮問を実施している。

② 鉱山安全研究諮問委員会 (Safety in Mines Research Advisory Committee; SIMRAC)

前述した通り、政府や産業界からの資金を得て鉱山安全管理や事故の研究の企画と運営を行っている。さらに Occupational Health Technical Advisory Committee、Rock Engineering Technical Advisory Committee、Engineering And Machinery Technical Advisory Committee、Human Factors Advisory Committee の各分野に分類される。1999年には研究成果を取りまとめた A Handbook on Rock Engineering Practice for Tabular Hard Rock Mines (Jager and Ryder: 1999) を発行している。

③ 鉱山労働保健諮問委員会 (Mining Occupational Health Advisory Committee; MOHAC)

鉱山内における保健に関する政策や基準、研究、データ管理に関わる諮問を実施している。

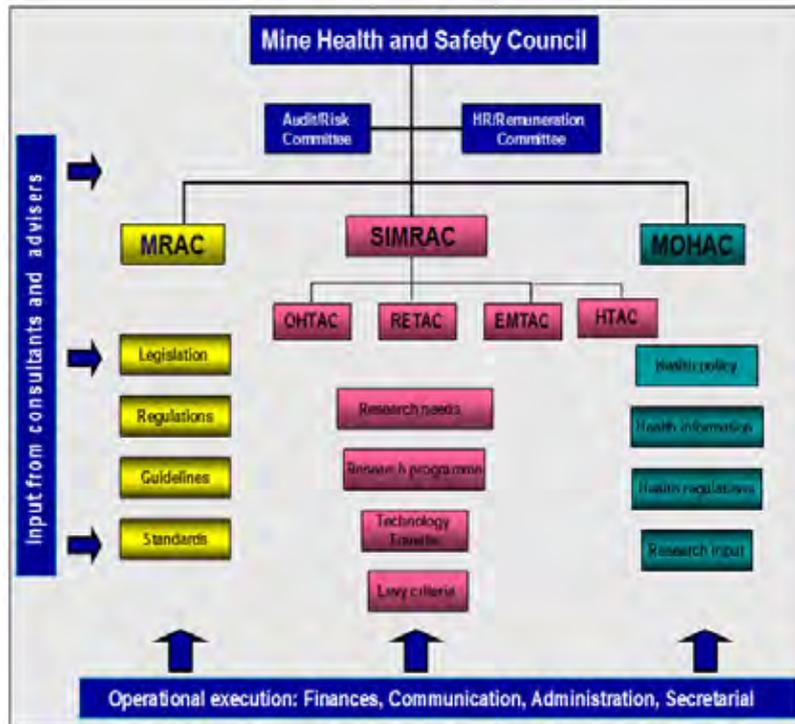


図 2-2-4 MHSC の組織図 (MHSC: 2007)

【鉱山資格局 : MQA】

MQA: 2009 によると、鉱山資格局は鉱山保健安全法に基づいて設立された教育訓練機関で、技術開発法 (the Skills Development Act, 1998) に沿って、鉱山における技術教育支援を行う。主な活動内容は次の通りである。

- ・ 技術教育計画の策定
- ・ 教育機関に対する基準・資格の制定
- ・ 見習い期間の研修促進
- ・ 資格・品質の維持促進
- ・ 技術教育に対する資金援助

また、2008 年には大統領鉱山保健安全監査が実施された。これは 2007 年 10 月に昇降エレベーター事故により約 3,200 人が 42 時間坑内に閉じ込められた事故を受けて実施されたもので、「南ア」国内における鉱山の労働安全保健の現状・課題を監査し、それに対する提言事項を報告書としてとりまとめたものである (DME: 2008b)。

(4) 鉱山会社における災害対策

「南ア」国金鉱山では、鉱山地震による落盤等で死亡事故が発生すると詳細調査を目的として当面の間、操業停止が求められ、鉱山会社における経済的損失は甚大となる (現地の聞き取り調査によると 2 人の死亡事故が発生した場合、約 1,000 万 USD の経済損失が発生すること) ため、政府だけでなく、鉱山会社においても鉱山の労働安全確保に対する意識が極めて高い。そのため、鉱山会社では日々災害対策を行っており、また定期的に鉱山会社間での情報共有を行い、被害軽減に努めている。

一般的な鉱山会社では、地震と落盤・山はねをはじめとする災害の監視・対策等に対応するため、地震学や岩盤力学の専門家で構成される岩盤工学部（数名～20名程度）を設置している。岩盤工学部では、地震活動度の高い断層や岩脈の場所を考慮に入れながら、採掘域の周囲の応力集中を、モデルを用いて計算し、採掘計画の優先順序を計画したり、支保工を設計したりして採掘の安全を確保することが義務である。また、地震観測そのものは、後述する鉱山技術サービス会社に委託しており、その観測・解析結果に基づいて、岩盤工学部長が最終的な安全性評価を、採掘状況と応力集中状況から判断することとなる。

鉱山地震に関わる具体的な災害対策・管理は、鉱山会社や鉱山の規模によって異なるものの、大まかな流れは次に示す通りである（図 2-2-5）。

① ハザード特定

地質や過去の災害経緯、隣接する鉱山の経験などから想定される災害（ハザード）の種類を特定する。

② ハザード定量化

現地調査に加えて、現地調査から設定したパラメータを用いて数値モデルを設定する。さらに既往地震の最大震度や発生が想定される位置から、想定される災害（ハザード）の規模や発生可能性を検討する。

③ リスク評価

想定される災害（ハザード）の影響により、鉱山において発生され得る被害・損失とその分布を、過去の経験等から評価する。

④ 採掘計画立案

リスク評価に基づいて、広域的/局所的の両観点から採掘レイアウトの立案、採掘スケジュールの作成、支保工の設計を実施するとともに、災害に対する対応方針や管理体制、監視計画等を構築する。採掘計画に基づいて、さらに採掘部分の詳細な②ハザード定量化、③リスク評価を実施する。

⑤ 採掘・監視

採掘計画に基づいて採掘を開始すると同時に、前段で計画した監視体制に則って地震ならびに落盤・山はねの観測、専門技術者による日常目視点検を継続的に実施する（図 2-2-6）。継続的な観測・点検結果を②ハザード定量化、③リスク評価に反映し、より精度の高い災害対策・管理を行うことにより、鉱山地震に関わる被害の軽減を目指す。

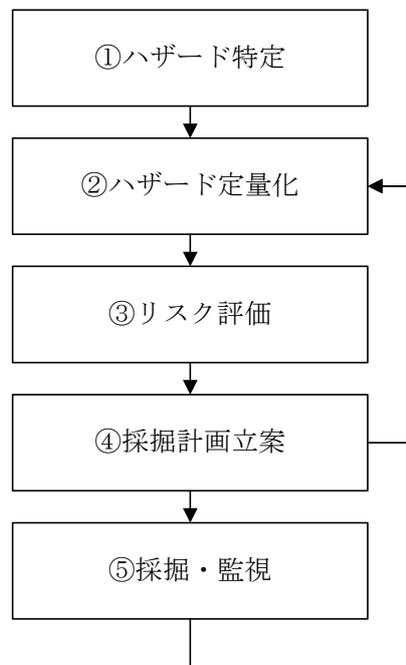


図 2-2-5 鉱山会社の災害対策の流れ

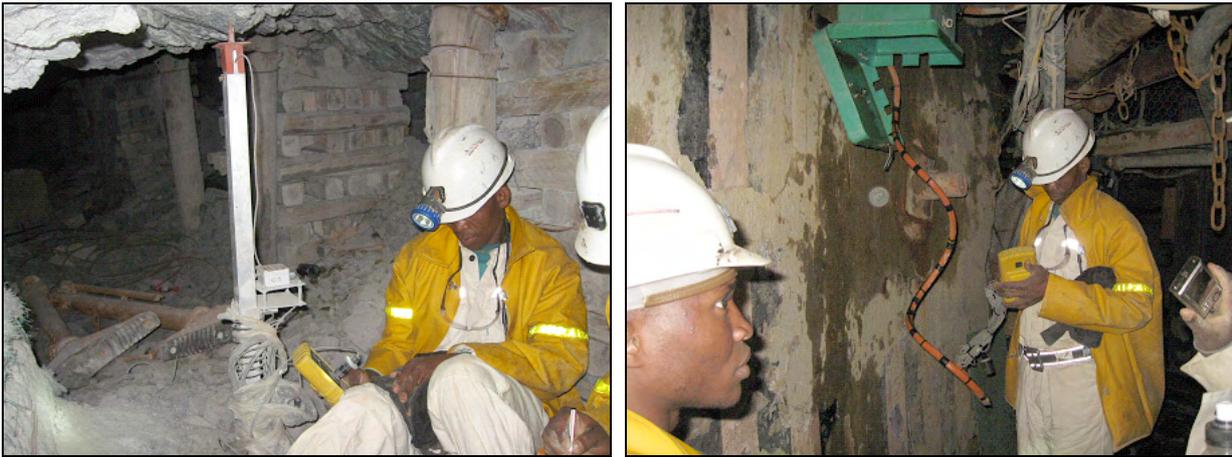


図 2-2-6 鉱山会社による変位置測定状況（エズルウィニ（Ezulwini）鉱山の例）
（左：Stope（採掘箇所）での垂直変位、右：Shaft（エレベーター）での水平変位）

なお、地震観測の具体ならびに観測データを利用した鉱山のリスク評価の詳細については、次章 2-3 (3)、(4) で示す。

(5) 鉱山地震・鉱山安全保健に関する研究の現状

「南ア」国において、鉱山地震ならびに鉱山の安全保健に関わる研究は、本プロジェクトの実施機関である CSIR、CGS、Wits 大学が主体となっているほか、各鉱山会社や鉱山技術サービス会社、他大学が実施している。また、日本、南ア、ドイツの各大学、各研究機関で構成される「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（以下、半制御地震研究グループ）」は 1992 年以來、同国金鉱山や鉱山技術サービス会社、鉱山地震学者や地質・岩石力学関係者達と共同研究を進めている。

本節では各機関、研究グループで行われている研究の現状、ならびに近年の他援助機関による鉱山や鉱山地震に関わる国際援助を紹介する。なお、各実施機関の概要については第 5 章に記載する。

【CSIR】

CSIR では「鉱山イノベーションセンター（Center for Mining Innovation; CMI）」を設けて、2020 年を目処として鉱山での生産量を倍増させるための革新的な技術開発を行っている。この技術開発では次の 3 つのテーマに基づいて研究が行われている。

- ・ 新たな採掘方法の開発
- ・ リアルタイムリスクマネジメント技術の促進
- ・ 鉱山における心身への影響評価

このうち特に「リアルタイムリスクマネジメント技術の促進」において、鉱山地震に関わる研究を実施している。当該研究では、採掘箇所での連続的な観測技術とその手法の開発に基づいた地震と落盤・山はねのリスク評価技術の向上に関する研究を行っており、具体的には地震計、ひずみ計観測に加えて電気探査、温度センサー等による観測を有線・無線ネットワークを通じて連続的に行うことにより、坑内におけるリアルタイムのリスクマネジメントシステムの構築を目指している。

【CGS】

CGS では、かねてより鉱山地震に関わる研究を実施してきたが、2000 年からは「地震部」を設けて、次のテーマに関わる研究活動を行っている。

- ・ 鉱山地震
- ・ 地球構造と地震のサイト効果
- ・ 地震ハザード
- ・ 地震活動の監視と資機材
- ・ 南アフリカ広域地震観測網 (South African National Seismograph Network; SANSN)

このうち鉱山地震については、岩盤工学や鉱山地震に関わる課題についてのワークショップを 2007 年から組織している。各年のテーマは、「ネオテクトニクスと鉱山地震 (2007)」、「潜在被害のための強振動の特性解析 (2008)」、「地震動ハザード (2009)」である。

地震ハザードについては、1972 年から関連研究を実施しており、数十編の研究論文ならびに数百編の報告書 (民間企業からの委託により実施した調査研究の報告書を含む) を所有している。

南アフリカ広域地震観測網 (SANSN) については、現況の地表地震観測網を、鉱山地区を中心として充実させることにより、鉱山での落盤を含めた地震リスクの軽減を目指すプロジェクトが計画されている。

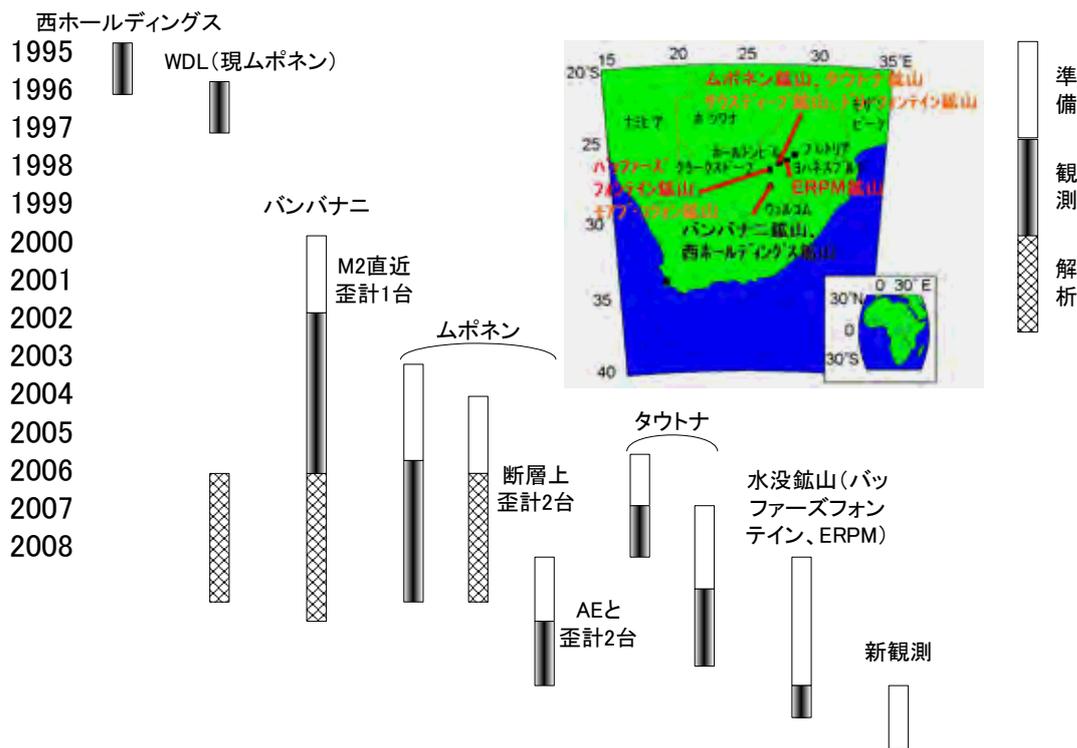
【Wits 大学】

Wits 大学: 2009 によると、Wits 大学は、「応用鉱山探査地質センター (Centre for Applied Mining and Exploration Geology; CAMEG)」を設けて、鉱山における現地調査に加えて、既往のデータ編集ならびに統合、再解析に基づいて、鉱山と鉱山地域における地質学、地球化学、地球物理学の再評価とモデリングを実施している。

また、地球科学研究科地震学専攻の Raymond Durrheim 教授は、鉱山深部での岩盤挙動や落盤・山はねに関する数多くの研究に携わっており、1998~2002 年には Deep Mine and Future Mine Collaborative Research Programme の主任研究者を担当したほか、2005 年には金鉱山地域における地震活動による鉱山リスク調査の総括監査官となった。現在は MHSC が資金提供している Minimizing the Rockburst Risk Project の筆頭研究者である。

【半制御地震研究グループ】

日本 (代表機関は立命館大学)、南ア、ドイツの各大学・研究機関から構成される半制御地震研究グループでは、至近距離計測により数 G を超える加速度が記録される金鉱山において、その地震活動と関連する諸現象の準備から終息までの一生を短時間で観測する研究ならびにそれに関わる諸研究を 1992 年により実施している。図 2-2-7 に半制御地震研究グループの「南ア」国における研究の歴史を示す。



WDL: Western Deep Levels, South mine

図 2-2-7 半制御地震研究グループによる研究の歴史 (小笠原ほか: 2009)

【他援助機関からの国際援助】

他の援助機関等からの国際援助を以下に示す。

[Operation, Maintenance and related activities of Infrasound Station IS47 - Boshof, South Africa Project (5620)]

援助機関：包括的核実験禁止条約機関 (CTBTO)

期間：1 年間 (現在進行中)

C/P：外務省

予算：35 万 ZAR/年

援助内容：

「南ア」国のインフラサウンド (超低周波音) 観測ステーション (IS47) における核実験の地震動監視活動と、観測データの国際データセンター (ウィーン) への転送を機能的に実施するための支援活動。

現況：現在進行中で、年刊レポートを作成。

[Operation, Maintenance and related activities of Primary Seismic Station PS39 - Boshof, South Africa]

援助機関：CTBTO

期間：1 年間 (現在進行中)

C/P：外務省

予算：35 万 ZAR/年

援助内容：

国際観測システムの一部である「南ア」国の初期地震観測ステーション (PS39) における核実験の地震動監視活動と、観測データの国際データセンター (ウィーン) への転送を機能的に実施するための支援活動。

現況：現在進行中で、年刊レポートを作成。

[Velocity calibration for Southern Africa]

援助機関：CTBTO

期間：2004年10月～2005年7月 (当初6ヶ月間が延長)

「南ア」国側主研究機関：CGS

予算：86,000USD (「南ア」国側)

援助内容：

金鉱山地震に伴う地殻および上部マントルの速度モデル較正を目的として、文献調査等に基づいて、CGSが提案した速度モデルをCTBTOが補正。

現況：終了し、CTBTOへ報告書提出済み。

[Developing and exploiting a unique seismic dataset from South African gold mines for source characterization and wave propagation]

援助機関：アメリカ合衆国エネルギー省国家核安全保障局 (NNSA)／空軍研究所 (AFRL)

期間：2006年～2008年

研究機関：Pennsylvania State University、University of the Witwatersrand、CGS、CSIR

予算：80万USD

援助内容：

「南ア」国における地震のカタログ作成、パラメータ・メカニズム特定、マグニチュード較正および定義設定などを実施するとともに、震源スペクトルの定義設定ならびに深度別効果の解析、地域特性の検討を行い、金鉱山地域での地震伝播特性を検討。

現況：終了し、援助機関へ報告書提出済み。

[IASPEI 2009 General Assembly]

援助機関：国際地震学及び地球内部物理学協会 (IASPEI)／国際連合教育科学文化機関 (UNESCO)／CTBTO

期間：2007年～2009年

予算：350万ZAR

援助内容：

「南ア」国における地震学研究ならびに地球物理学研究の高度化に向けて、地震、鉱山地震などの国際共同研究を推進するプログラム。

現況：終了し、援助機関へ報告書提出済み。

2-3 鉱山地震と地震観測網

(1) 地震の震源分布と鉱山地震による被害

金鉱山では薄板状金鉱脈の採掘域の周囲に応力がかかることとなり、約 2,000m 以上の深さになると採掘付近の岩盤には数十 MPa 以上の応力集中が発生し、激しい地震活動の原因となる。特に断層等の既存弱面や貫入岩脈などの、強度や弾性率のコントラストが大きい場所では地震が誘発されやすい。数 km² 範囲内において比較的規模の大きい金鉱脈が平行して採掘されている場合、毎年、M2 級で数百個、M3 級で数個、M5 に近い鉱山地震が 1 個程度発生している（例えば COMRO: 1988, Ortlepp: 1997, Jager and Ryder: 1999）。そのため、同国で発生する地震の 95% は鉱山地域に集中している。

図 2-3-1 に「南ア」国における地震の震源分布を示す。本図から、金鉱山が集中するウィットウォーターランド盆地内では震源が集中していることが分かる。

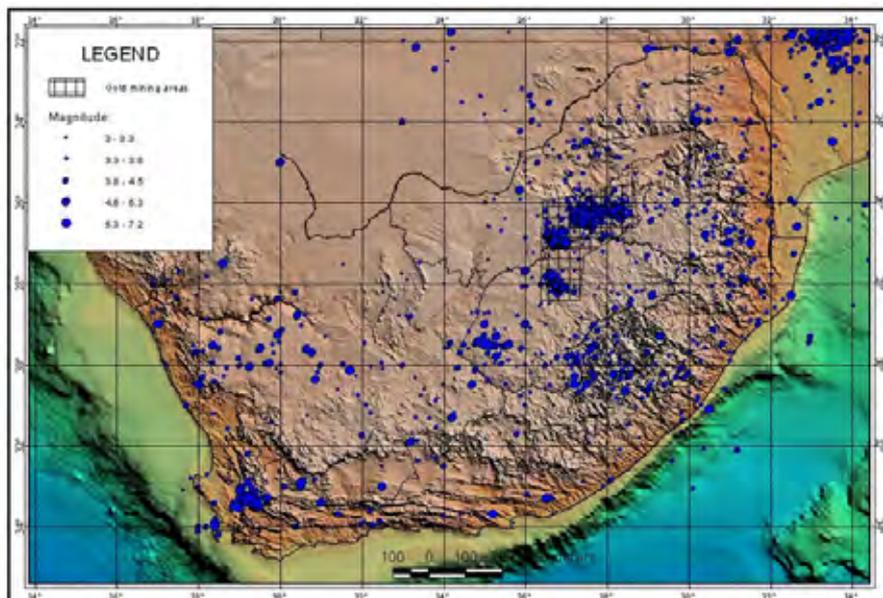


図 2-3-1 「南ア」国における震源分布図 (CGS 内部資料)

鉱山地震は、鉱山内で落盤を誘発するだけでなく、その規模が大きくなった場合、地表にも大きな影響を及ぼす。図 2-3-2 は 1976 年 12 月 8 日に Welkom で発生した M5.2 の地震による建物崩壊の写真である。図 2-3-3 は 2005 年 3 月 9 日に Stilfontein で発生した M5.3 の地震による建物被害の状況で、この地震では本震ならびに余震により 58 名が軽傷を負った。



図 2-3-2 1976 年 Welkom での鉱山地震による建物被害状況



図 2-3-3 2005 年 Stilfontein での鉱山地震による建物被害状況

(2) 地表における地震観測網の現状

「南ア」国において地表の地震観測を管轄する機関は CGS である。CGS の地震部では、地表地震観測および地震ハザード評価を実施しており、現在は 8 名（5 年以上の経験を持つ常勤職員のみ的人数）の地震専門家が従事している。また同国では、CGS が主体となって、South African National Seismograph Network (SANSN) と呼ばれる地表地震観測網が整備されている。ただし、同国は日本の数倍の面積をもつにも関わらず、その地震観測点はわずか 23 点である（図 2-2-4）。

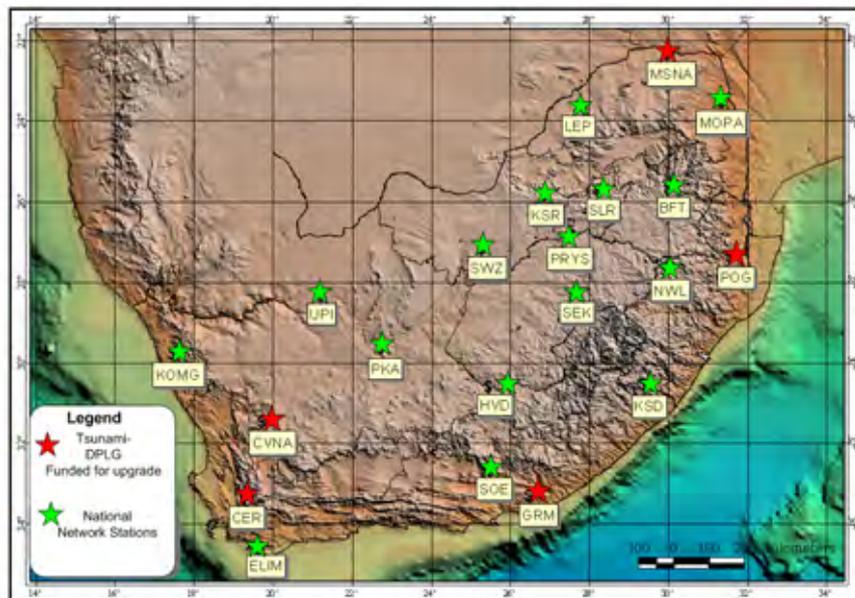


図 2-3-4 地表地震観測地点の位置図（CGS 内部資料）

SANSN において設置されている 23 地点の地震計（2006 年に一部更新）のうち 8 地点がウイトウォーターランド盆地周辺の金・白金鉱山地区に設置されている。現在のところ、本地震計が観測できる地震の最小規模は M1.5 程度であり、それよりも小規模な地震には対応できていない。また、現況の観測網では震源位置決定の精度が低く、震源の正確な深度や鉱山内での位置などを特定することが困難な場合があり、その予測精度は 1~10km（平均 5km）程

度である。さらに、現在利用している解析ソフトウェアではリアルタイムでの自動データ処理が困難なことがあり、短時間での解析結果の報告ができていない等の課題がある。

また、鉱山内においても安全対策の観点から各鉱山で地震観測を実施しているが、これらの地震計は 4.5H および 14Hz を対象としており、地表に被害を及ぼすような強震、および低周波成分の観測には対応できていない（詳細は次節）。

SANSN ではこれらの課題を受けて、本プロジェクトの共同研究事業の一環として、地表地震観測点の増加（10 地点）、鉱山内観測との統合、データ解析センターでのハードウェア・ソフトウェアの改善等が計画されている。

(3) 鉱山における地震観測網の現状

鉱山内での地震観測は、鉱山の安全管理の観点から非常に重要視されており、鉱山規模や管轄する鉱山会社、採掘状況によって差異はあるものの、ほぼすべての金鉱山において各種地震計や加速度計などを用いてリアルタイムで実施されている。

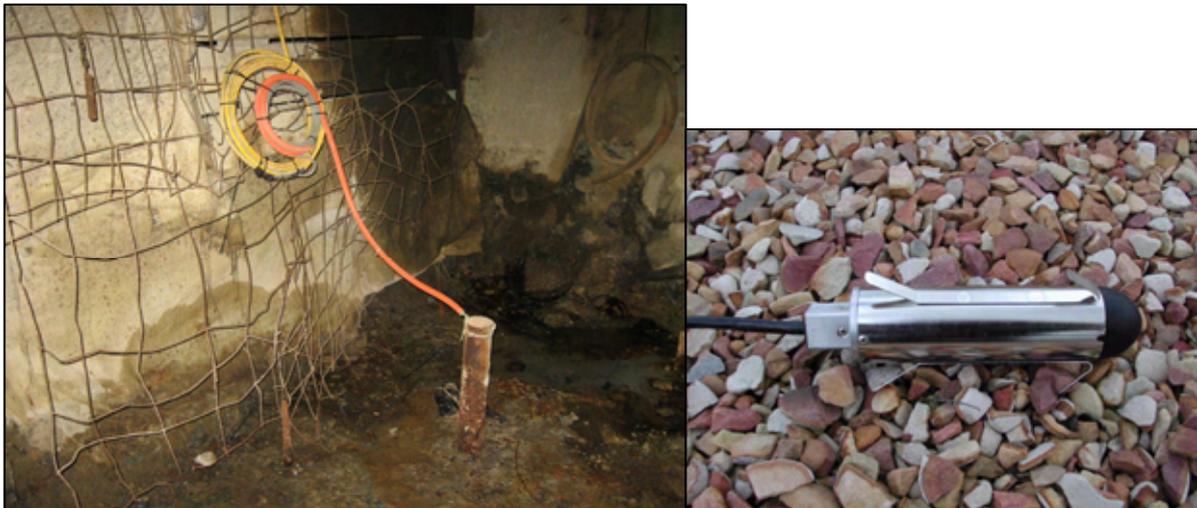


図 2-3-5 3 成分 Geophone による観測状況（採掘面下 10m に埋設）と機器拡大写真

比較的地震観測網が整備されている鉱山では、数百 m 間隔で 3 成分 Geophone（地震受信機）が採掘面下に埋設されており（図 2-3-5）、その数は 1 鉱山で数個～25 個程度である。Geophone は、最大 2kHz の周波数で、 $M=-1$ 前後より大きな地震をほぼすべて検知することができる。なお、「南ア」国金鉱山において一般的に用いられている地震観測システムの構成を表 2-3-1 に示すとともに、システムの模式図を図 2-3-6 に示す。

表 2-3-1 一般的な鉱山における地震観測システムの構成 (ISS International 社内部資料)

構成	主なハード・ソフトウェア	主な使用目的
地震観測センサー	Geophone (1 成分、3 成分)	速度の観測
	加速度計	加速度、波形の観測
データ集積器	Geophysical Seismometer (GS)	検知したデータの集積・通信
通信	銅線ケーブル	データの通信
	光ファイバーケーブル	
	LAN	
ソフトウェア	Run Time System (RTS)	各ハード・ソフトウェアの管理
	JMTS	観測データの解析・処理
	JDI	解析データの可視化
	Ticker	リアルタイム 3 次元可視化

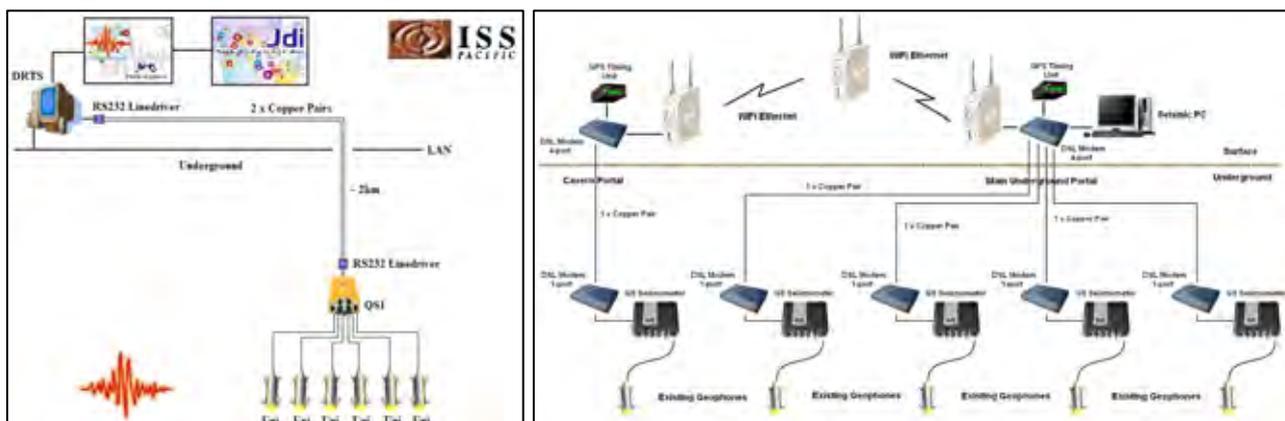


図 2-3-6 鉱山内での典型的地震観測網の模式図 (ISS International 社内部資料)
 (右：小規模鉱山の観測システム例、左：中～大規模鉱山の観測システム例)

同国における鉱山の地震観測は、民間の鉱山技術サービス会社 ISS International 社 (Integrated Seismic Systems International Ltd) が請け負って実施していることが多い。各鉱山で検知された地震観測データは、インターネット等を経由してリアルタイムで同社の解析センターに転送されて処理されている。

同社は、1990 年代に地震観測結果に基づいた地震パラメータの時空間パターン等から、岩盤挙動の不安定性を定量化する手法を確立し、現在は同国における大部分の金鉱山を含む 55 の鉱山で地震観測・解析を実施しているほか、世界 28 カ国において 140 システムを導入し、地震観測を行っている (ISS International: 2009)。また、観測機器の開発・販売や観測データの解析・可視化ソフトウェアの開発なども行っている。同社の概要は第 5 章に示す。

なお、鉱山内で観測された地震観測データは、基本的には鉱山会社に所有権があり、CGS 等の公的機関にリアルタイムで提供されることはない。ただし、正式に要請した場合は必要に応じて、観測データが提供される。

(4) 鉱山の地震観測データを用いたリスク評価

「南ア」国の金鉱山では、鉱山内のリスクを的確に把握する目的で鉱山地震観測を行っており、その地震観測データは、被害軽減に向けたリスク評価の精度を向上させるための最も主要で客観的なデータの一つであるといえる。

本節でははじめに、地震観測によって金鉱山でどのようなリスク評価が実施されているかを以下の通り整理する。

- ・ 短期的観測（数時間～数日）
 - ▶ 岩盤の安定性の検討に関する解析
- ・ 中期的観測（数日～数ヶ月）
 - ▶ 採掘箇所や順序の選定等
- ・ 長期的観測（数ヶ月～数年）
 - ▶ 地震発生後の岩盤応力履歴の逆解析による採掘計画の再評価

地震発生に伴い、各観測機器を通じて観測された地震の基礎データや波形データは、鉱山から鉱山技術サービス会社（ISS International 社等）の解析センターにリアルタイムで自動的に転送されることとなっている。解析センターではこれらのデータを正しく解析することで、個々の地震に対して、表 2-3-2 に示すような地震パラメータがルーチンの決定される。さらに決定された地震パラメータの時空間パターンが自動的に求められ、その分布や規模等から当該箇所周辺の岩盤挙動の不安定性が定量的に推定される。

表 2-3-2 岩盤挙動の不安定性を定量化するためのパラメータ

	パラメータ	計測対象	意味
基礎データ	発震時 (Time)	時間	地震が発生した時刻。
	震源位置 (Space)	位置	地震が発生した位置 (x, y, z)。
	地震効力 (Seismic Potency)	大きさ、応力	地震モーメント (震源における地震発生に伴う比弾性変形量) やモーメントテンソル (非弾性的な歪みから開放される力) など。
	放出エネルギー (Radiated Seismic Energy)	エネルギー	地震によって放出されたエネルギー。
算出されるデータ	エネルギー指数 (Energy Index)	応力	地震が放出したエネルギーの大小を示す指標。
	みかけ地震変形体積 (Apparent Volume)	地震ひずみ率	非弾性的に変形した岩盤の体積を示す指標。
	地震シュミット数 (Seismic Schmidt Number)	地震による変形	地震による岩盤の流動が時空間中で、どの程度かく乱されているかを示す指標。
	地震活動度 (Activity Rate)	時間当たりの地震数	時間当たりに発生した地震活動の数。

1990 年代にこの定量化スキームを提案 (例えば Mendecki: 1997) した ISS International 社は、当時 24 時間体制で地震技師が常駐し解析にあたり、この推定手法を利用して、大きな地震発生直前に坑内労働者の待避を成功させた事例があった。しかし、平日の午後定時の採掘発破に誘発される地震活動と前駆地震活動との区別が容易でなかったり、前駆地震活動がないまま大地震が発生したりすることがあり、地震活動の予測をこのスキームだけに頼るのは十分でないというのが現在の評価となっている。それでも、リアルタイムの地震活動監視は安全上重視され、今でも継続的に実施されている。

2009 年時点で、多くの金鉱山における地震波形データが同社の解析センターで、リアルタイムで解析されている。リスク評価手法は鉱山によって多少異なっているが、多くの鉱山では本解析結果に基づいて、採掘箇所をはじめとする岩盤の安定性評価を行っている。その一例

としてタウトナ（Tau Tona）鉱山でのリスク評価を以下に示す。

【タウトナ鉱山におけるリスク評価の例】

タウトナ鉱山はムポネン鉱山の近傍に位置する金鉱山で、現在アングロゴールド・アシャンティ社（Anglogold Ashanti Limited）が採掘を行っている。同鉱山の岩盤工学部では鉱山地震の観測・解析を ISS International 社に委託している。

同社の解析センターでは、岩盤挙動の不安定性を定量的に判断するため、転送された鉱山地震のデータに基づいて、表 2-3-2 に示したような各種地震パラメータをリアルタイムで算出する。次にそれぞれのパラメータの値から、Rating と呼ばれる危険度ランクを、表 2-3-3 に示すように 0、1、2 の中で設定する。さらにこれらのランクならびに地震の規模等を取りまとめたレポート（図 2-3-7）を作成し、同社の専門家によりチェックを受けた上で 1 日 3 回、鉱山会社の岩盤工学部に送られる。レポートでは、地震観測の結果に基づき採掘チーム単位で危険度を通知し、Rating の合計が 6 を超えた場合は、対象箇所での活動自粛を勧告する。また、解析結果から特異な空間分布パターンが認識された場合には、適宜、ランクを上げる場合がある。鉱山会社の岩盤工学部では、本レポートに基づいて、専門家が最終的な現地対応を判断する。

表 2-3-3 パラメータの危険度ランク（Rating）（ISS International 社内部資料）

パラメータ	ランク 0	ランク 1	ランク 2
エネルギー指数 （対数）	絶対値<0.25	0.25<絶対値<0.5	0.5<絶対値
みかけ地震変形体積 （積算値）	べき法則の傾向なし	べき法則の傾向ややあり	べき法則の傾向強い
地震シュミット数 （対数）	絶対値<0.5	0.5<絶対値<1.0	1.0<絶対値
地震活動度	平均的	平均以上 ピーク時 100 日の 75%未満	ピーク時 100 日の 75%以上

Poly	Last Event Date	Last Event Time	New Events	Va	Log10Ei	Schmid	Act	Large Events	Current Rating	Comments + Observations
101_102_	20030226	180515	3	1.0	1.0	2.0	1.0	M0.7@26/02,18h00...	6.000000	. mainatn RED status
101pillr	20030223	163953	0	0.0	1.0	1.0	0.0	0	2.000000	. nn
104_106_	20030226	180145	4	0.0	1.0	2.0	1.0	M1.1@26/02,16h01...M0.9@26/02,18h01...M0.7@26/02,18h01...	4.000000	. Schmid is falling and act. up.
336_gen_	20030226	180515	7	1.0	1.0	2.0	2.0	M1.1@26/02,16h01...M0.7@26/02,18h00...M0.9@26/02,18h01...M0.7@26/02,18h01...	6.300000	. Activity rate up.
107_109_	20030226	180055	1	0.0	2.0	1.0	0.0	M1.4@26/02,18h00...	2.370000	. At last some activity
111_112_	20030223	51659	0	0.0	1.0	1.0	0.0	0	1.800000	. nn
114_115_	20030225	182846	0	0.0	1.0	1.0	0.0	0	1.800000	. nn
114_116W	20030226	175303	1	0.0	2.0	1.0	0.0	M0.5@26/02,17h53...	3.000000	.
331112st	20030219	93209	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.000000	. Still mining here ?? 1st event 6 days back
118_120_	20030226	174912	1	0.0	2.0	2.0	0.0	0	4.000000	. Long term Schmid! and E1 dropping strongly
120W_	20030221	175722	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.000000	. Rating dropped old event
83_90_	20030226	182416	2	1.0	1.0	1.0	1.0	M1.7@26/02,18h23...M1.4@26/02,18h24...	4.000000	. Activity rate up
94Wpillr	20030224	200354	0	1.0	2.0	2.0	0.0	0	5.500000	. nn
97_100_	20030226	62004	0	0.0	1.0	1.0	0.0	0	1.600000	.
declE_	20030226	135710	7	0.0	2.0	1.0	1.0	0	4.000000	.

図 2-3-7 ISS International 社の観測データレポートの例（ISS International 社内部資料）

通常は、図 2-3-7 に示したような採掘チーム単位ごとの地震活動指標が、各鉱山の岩盤工学部に毎日（1 日 3 回程度）報告される。さらに鉱山会社では、これらのレポート結果と採掘状況に基づいて月例会議（メンバーに Mine Manager を含む）が開催され、そこで採掘に伴う応力変化の計算値と地震活動とが綿密に議論され、今後の対応について検討されている。また、ISS International 社からの報告で異常な前駆活動が認められる場合には鉱山会社で臨時特別体制がとられるほか、さらに M=1.5 以上の地震は発生した場合は速報として同社から鉱山会社に震源と規模が伝達されることとなっている。

また鉱山会社によっては、これらの地震パラメータに基づいた岩盤挙動の不安定性評価に加えて、独自のリスク評価手法を用いているところがある。その一例として、バッファーズフォンテイン（Buffelsfontein）鉱山のリスク評価を以下に示す。

【バッファーズフォンテイン鉱山におけるリスク評価の例】

バッファーズフォンテイン鉱山は、バッファーズフォンテインゴールドマイン社（Buffelsfontein Gold Mine Limited）が採掘を行っており、地震観測・解析は ISS International 社の下請け会社である OHMS 社（Open House Management Solution Limited）が行っている。

OHMS では、鉱山地震によるリスクならびに対策優先度を、下式とそれに関連した表 2-3-4 のランクに応じて算定している。

〔リスク〕 = 〔重大性〕 × 〔発生頻度〕 × 〔被害可能性〕

〔対策優先度〕 = 〔リスク〕 / { 〔軽減必要度〕 × 〔経費〕 }

重大性： 死者数・負傷者数ないし損失額 [大(100)～小(1)]

発生頻度： 現況での単位時間あたりの発生回数 [多(10)～少(0.5)]

被害可能性： 発生したときの被害に至る可能性 [大(10)～小(0.5)]

軽減必要度： 現状リスクに対して必要と判断される軽減程度 [全軽減(1) ～僅軽減(6)]

経費： 対策にかかる必要経費 [小(0.5)～大(10)]

ここでいうリスクは、災害の重大性（想定される死傷者数もしくは経済損失額）、発生頻度、被害可能性（想定する事象が発生した場合に被害に至るかどうか）、それぞれの値を掛け合わせるにより算定する。リスクの最大値は 10,000、最小値は 0.05 となり、400 以上では「非常にリスクが高い」と判断され、逆に 20 以下では「ほとんどリスクは存在しない」と判断される。

算定されたリスクに対しての対策優先度は、軽減必要度とその経費によって求められる。軽減必要度とは、現況でどの程度までリスクを軽減されることが妥当かを示した値で、安全性、経済性、施工性等の観点から専門技術者が判断する。経費は、同じリスクレベルであるならば、比較的金額のかからないものから率先して対策を実施するとの考え方に基づいている。

表 2-3-4 パラメータの危険度ランク (Rating) (OHMS 内部資料)

種類	分類	解説	点数
重大性	極大	死者多数もしくは経済損失 1 億 ZAR 以上	100
	大	死者数名もしくは経済損失 1,000 万 ZAR 以上	40
	やや大	死者 1 名もしくは経済損失 100 万 ZAR 以上	15
	中	重症者もしくは経済損失 10 万 ZAR 以上	7
	やや小	一時的重症者もしくは経済損失 1 万 ZAR 以上	3
	小	軽症者もしくは経済損失 1,000ZAR 以上	1
発生頻度	継続的	多数/日	10
	頻繁	1 回/日	6
	やや頻繁	1 回/週～月	3
	やや稀	1 回/月～年	2
	稀	1 回/数年	1
	非常に稀	発生未確認	0.5
被害可能性	極大	ほぼ間違いなく被害が発生	10
	大	50%程度の確率で被害が発生	6
	やや大	被害が発生する可能性がある	3
	中	被害が発生する可能性は低い	1
	やや小	被害が発生する可能性は極めて稀	0.5
	小	現実的に発生する可能はほぼない	0.1
軽減必要度	小	10%程度の軽減措置が必要	6
	やや小	20%程度の軽減措置が必要	4
	中	50%程度の軽減措置が必要	3
	やや大	75%程度の軽減措置が必要	2
	大	100%程度の軽減措置が必要	1
経費	極大	100 万 ZAR-	10
	大	50 万-100 万 ZAR	6
	やや大	10 万-50 万 ZAR	4
	中	5 万-10 万 ZAR	3
	やや小	2 万-5 万 ZAR	2
	小	1 万-2 万 ZAR	1
	極小	1 万 ZAR	0.5

金鉱山において、鉱山地震に関わるリスク評価は非常に重要な課題であり、新規技術の導入や過去の経験の利用等も含めて、積極的に取り組まれている。しかしながら、鉱山地震の予測等ではまだまだ失敗事例も多く、現状では鉱山の地震観測データを用いたリスク評価には限界があり、今後、より精度の高い観測、適切なリスク評価・予測技術の発展が強く望まれている。

2-4 鉱山地震対策に関する今後の課題と支援ニーズ

(1) 金鉱山における共通の課題

「南ア」国の金鉱業を再活性化させ、同国の経済発展を牽引させるためには、鉱山地震の予測精度と大深度採掘における安全性を向上させ、鉱山災害犠牲者を減らすことが最重要課題である。

金鉱山での災害リスク管理体制の改善に向けた技術的支援ニーズを検討するため、ここではまず、質問票調査ならびに聞き取り調査から明らかとなった現場レベルでの共通課題や問題点を以下の通り整理する。

金鉱山における共通の課題・問題点

- ・ 観測機器の不足・老朽化
- ・ 現況の観測機器での技術的限界
- ・ 技術者の不足（世代交代、教育）
- ・ 観測のための資金の不足

【観測機器の不足・老朽化】

金鉱山での採掘深度が深くなるほど鉱山地震の発生が促進されることから、十分な観測機器を用いて地震活動を把握することが極めて重要となってくる。そのため、観測に必要となる Geophone や加速度計等の地震センサーを準備し、鉱山内に適切に配置していく必要があるが、採掘コスト軽減の観点から、いくつかの鉱山では観測機器そのものが不足しているといった課題がある。さらには、同理由から、新たに技術開発された新規観測機材の導入も遅れている場合がある。また同国において 100 年以上の歴史をもつ金鉱業では、鉱山内で 40 年以上も使用しているケーブルがある等、観測関連機器の老朽化が著しい鉱山も少なくない。そのため、必要十分な観測機器を配備し地震観測を行っていくことが期待される。

【現況の観測機器での技術的限界】

現況では、1990 年代に提案された一連の観測システム・評価システムを用いた地震観測に基づいて、鉱山内でのリスク評価や地震の活動度評価を行っている。これらのシステムを使って鉱山地震を予測し、坑内労働者の避難を成功させた事例があるものの、失敗事例も多く、現況の観測機器のみでは予測精度向上の観点から技術的に限界があると思われる。そのため、日本側研究者が提案してきている高感度ひずみ観測や AE 観測、さらには間隙水圧の影響を考慮した岩盤挙動を把握する目的で水圧や自然電位などの観測を行っていくことが望ましい。

【技術者の不足（世代交代、教育）】

鉱山の安全確保に欠かせない岩盤工学に関わる若い研究人材の不足が同国の問題と認識されている。金鉱山最盛期の 1970 年頃に金鉱山に携わってきた研究者たちの多くはすでに一線を退いており、また鉱山地震の観測システムを 1990 年代に確立した技術者たちもすでに 50～60 歳代以上となっており、鉱山災害・鉱山地震観測の分野においても世代交代が起きている。そのため、今後は現地での経験を踏まえて、若手研究者・技術者を教育していくことが重要であり、同国の研究機関からの研究者が本件プロジェクトに関わることで人材の裾野が広がることを期待される。

【観測のための資金の不足】

金鉱山の深度化に伴って安全確保がさらに重要になってくるにもかかわらず、観測のための資金不足が大きな課題となっている。同国内で金生産量が低迷する中、採掘コスト低減を重視するあまり、鉱山地震に関わる観測機器や観測システム導入が十分に実施できていないと考える鉱山も少なくない。採掘コスト低減から観測システムが不十分であるために安全対策が行えず、採掘が進まないこととなり、その結果、生産性が減少してさらに採掘コストの低減を求められるといった悪循環に見舞われることとなる。今後の金鉱業の発展には、経済面を考慮した上で効率的な観測を実施していくことが重要である。

(2) 災害リスク軽減に向けた技術的支援ニーズ

金鉱山における共通の課題を勘案すると、限られた予算の中で災害リスク管理体制を改善していくためには、鉱山地震ならびに岩盤工学に関わる個別技術を効率的・効果的に改善・向上していく必要があると考えられる。

そこで、現地調査結果を踏まえた上で、金鉱山における鉱山地震の災害リスク軽減に向けて、現況で特に必要と考えられる具体的な技術的支援ニーズについて、以下の通り整理する。

災害リスク軽減に向けた技術的支援ニーズ

- ・ 岩石物性の詳細把握
- ・ 地震の前駆現象理解と発生予測の改善
- ・ 坑内での被害予測精度の向上
- ・ 地表での観測技術向上と連携

【岩石物性の詳細把握】

鉱山地震における発生予測精度ならびに被害予測精度を改善・向上していくためには、まず第一に、震源域の岩石物性を室内実験や原位置試験を通して調査し、その基本的な性質を明らかにする必要がある。

【地震の前駆現象理解と発生予測の改善】

従来よりも高感度の観測機器を用いて、想定震源域における岩盤挙動の詳細を観測することにより、本震発生前の前駆現象の理解に努める必要がある。さらに、観測結果から地震危険度評価の較正を行い、リスク評価手法を改善していく必要がある。

【坑内での被害予測精度の向上】

想定震源域における強震動と採掘現場における地震動とを的確に観測することにより、金鉱山内での地震動増幅特性を明らかにし、坑内での被害予測精度の向上を図る必要がある。

【地表での観測技術向上と連携】

SANSN での共同研究を通じて地表での地震観測網を改善していくとともに、鉱山内での地震観測網との連携を図ることにより、地震の震源決定ならびに被害予想精度を改善していく必要がある。

今後のプロジェクトを通じて、これらの技術的支援ニーズを検討していくことにより、金鉱

山地震の災害リスク管理体制が改善され、さらに「南ア」国側の自立的・持続的地震減災研究が促進されることが期待される。

【引用文献】

- Chamber of Mines Research Organization (COMRO): 1988, An industry guide to methods of ameliorating the hazards of rockfalls and rockbursts, Chamber of Mines of South Africa, Johannesburg, 114pp.
- DME: 2007, Facts and Figures 2007, DME.
- DME: 2008a, Operating gold mines and recovery plants in the Republic of South Africa 2008, DME.
- DME: 2008b, Presidential Mine Health and Safety Audit 2008, DME.
- DME: 2009a, http://www.dme.gov.za/minerals/about_minerals.stm
- DME: 2009b, <http://www.dme.gov.za/mhs/home.stm>
- ISS International: 2009, <http://www.issi.co.za/>
- Jager, A. J. and Ryder, J. A. (ed): 1999, A Handbook on Rock Engineering Practice for Tabular Hard Rock Mines, SIMRAC, 371pp.
- 小林孝男:1994, ウィットウォーターランド盆地の地質および金・ウラン鉱床, 地質ニュース, Vol. 479, pp. 28-34.
- Mendecki, A. J. (ed): 1997, Seismic Monitoring in Mines, Chapman and Hall, London, 262 pp.
- MHSC: 2007, Mine Health and Safety Council Annual Report, April 2006 – March 2007, MHSC.
- MHSC: 2009, http://www.mhsc.org.za/index.php?option=com_content&task=view&id=4&Itemid=29#
- MHSI: 2006, Guideline for the Compilation of a Mandatory code of Practice to Combat Rockmass Failure Accidents in Massive Mining Operations, MHSI.
- MHSI: 2008, Mine Health and Safety Inspectorate Annual Report 2007/08, MHSI.
- MQA: 2009, <http://www.mqa.org.za/>
- 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: 2009, 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, vol.61 特集号(2009), pp.S563-S573.
- Ortlepp, W. D.: 1997, Rock fracture and rockburst: an illustrative study, The South African Institute of Mining and Metallurgy, p.98.
- Ryder, J. and Jager, A.: 2002, A Textbook on Rock Mechanics for Tabular Hard Rock Mines, CSIR, 489pp.
- 石油天然ガス・金属鉱物資源機構金属資源情報センター (JOGMEC) : 2007, オーストラリアの金事情 2007(1), JOGMEC カレント・トピックス, Vol. 07-24.
- SIMRAC: 2001, <http://www.simrac.co.za/annualrep/Simrac0102Complete.pdf>.
- SIMRAC: 2002, http://www.simrac.co.za/annualrep/Simrac%2002_03%20complete.pdf.
- U.S. Geological Survey: 2009, Mineral Commodity Summaries, January 2009, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/gold/mcs-2009-gold.pdf>
- Willis, R.P.H: 1997, Towards an integrated system for deep level mining using new technology; Proc. 4th Int. Symp. on Mine Mechanisation and Automation, Brisbane, Vol. 2, pp. A9-A14.
- Wits 大学: 2009, <http://web.wits.ac.za/Academic/Science/GeoSciences/Research/cameg/>

第3章 協力計画概要

詳細計画策定調査団は、本プロジェクトの責任機関となる科学技術省（DST）、CSIR を代表とした「南ア」国側実施機関（研究機関）、及び鉱山会社、鉱山地震監視会社などとの協議・聞き取り調査、現地視察を経て、協力の基本計画、実施体制、対象地域等を検討し、CSIR 及びその上位組織である DST と合意を形成したうえで、合意内容を協議議事録（ミニッツ）署名にとりまとめ、2009年10月7日に双方で署名した。

「南ア」国側と合意した協力計画の概要は以下のとおりである。

3-1 協力の基本計画

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計画である。

プロジェクトの名称について、「南ア」国側からの協力要請書に記載されたプロジェクト名称を、上記のような協力の目的・内容をより適切に表現できる名称に変更することを提案し、下記のとおり名称変更を行うことで合意に至った。

（変更前）” Project for Studies of Seismic Hazard Mitigation in Deep Level South African Mines”

（変更後）” Project for Observational Studies in South African Mines to Mitigate Seismic Risks”

合意した協力の基本計画（マスタープラン）は以下のとおりである。

(1) 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) 成果と活動

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。

成果2：鉱山地震の準備と前駆変化への理解が深まる。

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蓄積、緩和の兆候を観測する。

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。

成果3：鉱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、南アフリカ金鉱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。

成果 4： 鉱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を解明する。

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 鉱区に、新たな地表地震観測所を設置する。

5-2. 地球科学評議会 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. 鉱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。

3-2 実施体制

「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

その他、共同研究活動の実施にあたっては、観測対象鉱山を所有する鉱山会社、及び鉱山地震監視会社の協力を得る。

日本側

実施機関：立命館大学を研究代表機関とする研究チーム

3-3 調査対象地域

本プロジェクトでは、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調査対象とする。具体的な調査対象鉱山は、プロジェクト開始後の初期の段階で確定する。

第4章 プロジェクトの事前評価

4-1 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。

(1) 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。

(2) 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「防災協力イニシアティブ」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。

4-2 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。

4-3 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。

(1) 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。

(2) 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。

4-4 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。

4-5 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。

(1) 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。

(2) 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。

第5章 協力実施上の留意点

本プロジェクトでは、南ア側共同研究機関として研究活動を実施する実施機関と、地震観測研究を行ううえで各種の許可や協力を得る必要のある鉱山会社、鉱山技術サービス会社などの協力機関がある。本章ではこれらプロジェクト関係機関の組織体制、財政状況、人員等を含めた概要を示す。

5-1 実施機関の概要

(1) 科学産業研究評議会 (Council for Scientific and Industrial Research; CSIR)

CSIR は、アフリカ大陸最大の総合研究開発機関で、「南ア」国の生活向上に寄与する産業・科学の総合的な研究開発を実施している。CSIR では図 5-1-1 に示す通り、特に健康、自然環境、エネルギー、建設環境、防衛、産業などの応用研究、さらには情報、物質材料、インフラストラクチャなどの技術開発に関して、大学と産業界をつなぐ研究・開発を重点的に実施している。また、国内に5つの研究棟と4つの実験センターをもち、2009年3月時点で職員2,354名（うち博士286名、修士457名）が研究を行っている。

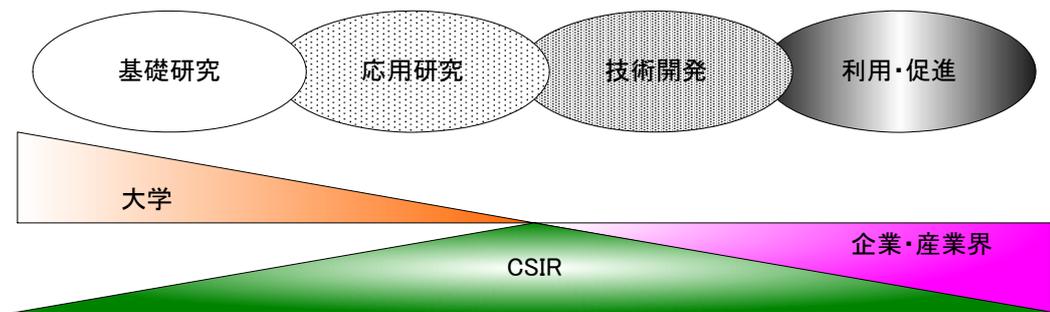


図 5-1-1 CSIR における役割 (CSIR 内部資料)

鉱山および鉱山地震に関する研究活動としては、現在「鉱山イノベーションセンター (Center for Mining Innovation; CMI)」を設けて、2020年を目処として鉱山での生産量を倍増させるための革新的な技術開発を行っている。CMI は、複数部署の多分野の人材から構成されるシェアードサービス部門であり、現在、人員は研究職員31名（博士8名、修士10名、学士13名）、技術職員10名、事務員2名の43名体制からなる。

CMI における予算は表 5-1-1 に示す通りで、2009年の総歳入は政府助成金と外部委託契約による35,215,600ZAR（≒500万USD）で、外部機関とのプロジェクトベースでの研究委託契約の比率が大きい（約48%）。また純利益は206,411ZAR（≒3万USD）である。

表 5-1-1 CMI の 2009 年予算 (CSIR 内部資料)

分類	詳細	歳入(ZAR)	歳出(ZAR)	合計(ZAR)
一般歳入				35,215,600
	政府助成金	18,115,600		
	外部契約	17,100,000		
直接費				23,349,822
	人件費		16,282,726	
	運営経費		7,067,096	
間接費				6,170,658
	間接経費		4,164,294	
	原価償却費		2,006,364	
小計				5,695,120
	オフィス使用料		2,112,936	
	特許料	336,000		
	発明報酬徴収		168,000	
営業利益				3,750,184
管理支援費				3,543,773
	人材開発費		1,896,302	
	運営諸経費		1,580,135	
	原価償却費		67,336	
純利益				206,411

(2) 地球科学評議会 (Council for Geoscience; CGS)

CGS は、1912 年に設立された「南ア」国地質調査所を前身として、100 年近く地球科学に関する研究を行ってきている。1993 年の法改正により現在の CGS の組織構成となり、地球科学に関する世界規模の研究活動とそれに係るサービスを、政府、公共機関、産業界に提供することを目的としている。また国内外の地球科学に関する課題に対して、商業ベースでコンサルティングサービスを実施しているとともに、CGS は地球科学関連の文献、報告書、地質調査資料、ボーリングコア等の保管所にもなっている。

CGS で対応している主な研究分野は次の通りである。

- ・ 地質学、地球物理学、鉱床学、地質工学、地球化学に関する図化、調査、サービス
- ・ 鉱物資源データの収集、評価、考察
- ・ 土木地質に関する現地調査
- ・ 地震モニタリング、地震ハザード評価
- ・ 地下水学、水文学、地質水文学に関する調査
- ・ 海岸浸食調査、ならびに海洋地質学
- ・ 環境影響評価
- ・ 同位体地球化学および年代地質学
- ・ 以上に関わるデータ整理・解析・分析と評価、考察

CGS は首都プレトリアに本部を持ち、国内の他 5 州支所から構成されており、2004 年 4 月時点で職員 357 名（管理職 23 名、研究職員 143 名、技術職員 103 名、事務職員 88 名）が所属している。組織構造を図 5-1-2 に示す。鉱山地震に関わる研究は、科学サービス部門の地震部において 8 名の研究職員で対応している。

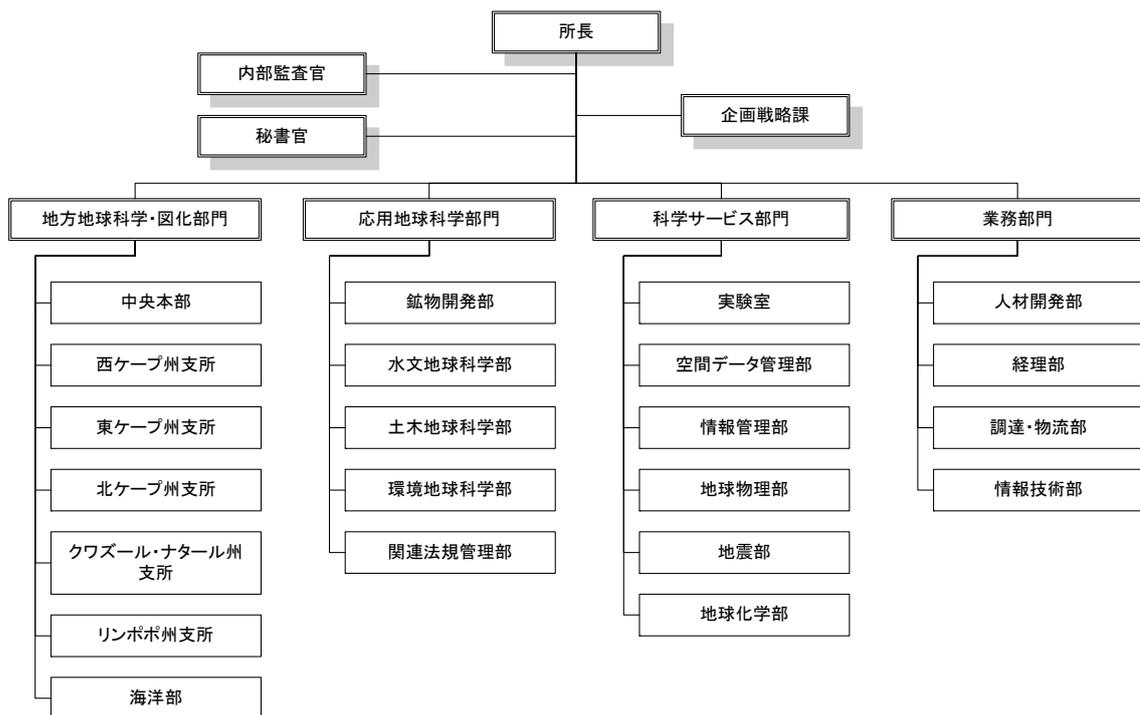


図 5-1-2 CGS における組織構造 (CGS 内部資料)

CGS における流動資産、非流動資産を含めた全資産は 2008 年で 431,293,000ZAR (≒6,100 万 USD) である。CGS の総歳入 200,341,000ZAR (≒2,800 万 USD) のうち約 44%が外部機関とのプロジェクトベースでの研究委託契約である。また、純利益は 22,548,000 ZAR (≒320 万 USD) である (表 5-1-2)。

表 5-1-2 CGS の 2008 年予算 (CGS 内部資料)

分類	詳細	歳入(ZAR)	歳出(ZAR)	合計(ZAR)
一般歳入				200,341,000
	政府助成金	110,511,000		
	外部契約	89,070,000		
	出版歳入	760,000		
直接費				57,391,000
	人件費		18,645,000	
	運営経費		38,746,000	
間接費				141,608,000
小計				1,342,000
	その他歳入	15,483,000		
	その他歳出		1,142,000	
	利息	6,891,000		
営業利益				22,574,000
	残務管理費		26,000	
純利益				22,548,000

(3) ウィットウォーターズランド大学地球科学研究科 (School of Geosciences, University of the Witwatersrand; Wits 大学)

Wits 大学は、南アフリカ鉱山学校として 1896 年にキンバリー (ヨハネスブルグより南西に約 400km で、ダイヤモンド採掘で栄えた町) に設立され、1904 年にヨハネスブルグに移転した。1910 年には南アフリカ鉱山技術学校と名前が変更された後、1922 年にウィットウォーターズランド大学の名称としてスタートした。現在は約 18,000 人の学生が、5 学部 (商・法学部、工学環境部、保健科学部、人文学部、理学部)、33 研究科で学んでいる (Wits 大学: 2009)。



図 5-1-3 Wits 大学中央会館 (Wits 大学: 2009)

本学の理学部に属する地球科学研究科は、アフリカ大陸で最大規模の地球科学に関する研究科で、2008 年 4 月時点で、教員 27 名、名誉教授 3 名、名誉教員 32 名、技術支援スタッフ 25 名、学部生 365 名、大学院生 71 名がいる。また同研究科は 4 箇所の研究棟のほか、化石博物館と鉱物博物館を所有している。同研究科の専攻は、地質学、古生物学、古人類学、地球物理学、地球化学、地球年代学、環境科学、大気学、水文地質学、経済地質学、鉱山地質学から構成されており、本研究科の卒業生は、「南ア」国内外の鉱山産業をはじめとして、各研究機関、政府機関、環境調査機関に就職している。

5-2 協力機関の概要

本プロジェクトにおける協力機関は、観測対象候補鉱山を担当している鉱山会社及び鉱山技術サービス会社である。表 5-2-1 にこれら協力機関の一覧を示すとともに、以下に各組織の概要を述べる。

表 5-2-1 観測対象候補鉱山における協力機関一覧

分類	会社名	対象鉱山
鉱山会社	Anglogold Ashanti Ltd	Moab Khotsong、Mponeng
	Gold Fields Ltd	Driefontein、Kloof、South Deep
	DRDgold South African Operations (Pty) Ltd	ERPM
	Simmer and Jack Mines, Ltd	Buffelsfontein、Ezulwini
鉱山技術サービス会社	ISS International Ltd.	Moab Khotsong、Mponeng、Driefontein、Kloof、South Deep、ERPM、Buffelsfontein
	OHMS (Pty) Ltd	
	SeismoGen Ltd.	Ezulwini

(1) 鉱山会社

【Anglogold Ashanti Ltd.】

観測対象候補鉱山：Moab Khotsong、Mponeng

AngloGold Ashanti 社はヨハネスブルグに本拠地をもつ「南ア」国の金鉱山会社最大手であり (表 5-2-2、2006 年には金生産量が一時的に減少し Gold Fields 社をわずかに下回った)、世界を代表する鉱山会社で、生産の中心はアフリカである。「南ア」国主要証券取引所であるヨハネスブルグ証券取引所の他、複数の証券取引所に上場している。

歴史が古く（前身会社 1944 年創業）、金生産量世界一としての地位を確保していたが、米国の競合企業である Newmont Mining 社やカナダの Barrick Gold 社の買収による規模拡大により金生産量世界一の座を譲っている。2008 年時点で金生産量世界第 3 位、世界の金生産量全体の 7%相当の金を生産している（資源: 2009）。

同社はもともと資源開発の大企業である Anglo American 社グループの金部門を担う中核企業であったが、Anglo American 社が経営資源を他部門に注力する方針を打ち出したことにより、グループから外れている。親会社であった Anglo American 社は同社の株式を過半数所有していたが、持株比率を段階的に縮小、2007 年には比率を 16.6%とし、2009 年に入り全株式を売却している（資源: 2009）。

【Gold Fields Ltd】

観測対象候補鉱山：Driefontein、Kloof、South Deep

Gold Fields 社は「南ア」国ヨハネスブルグに本拠地を置く世界最大級の鉱山会社で、2008 年時点で金生産量世界第 4 位である。「南ア」国が生産の中心であり、現在 9 つの鉱山で採掘を行っており、Driefontein 鉱山、Kloof 鉱山の両鉱山で同社の年間金生産量の半分以上を占めている。また、オーストラリア、ガーナ、ベネズエラでも事業展開を行っており、2008 年 8 月にはペルーで Cerro Corona 金鉱山による生産が開始されている（資源: 2009）。

【DRDgold South African Operations (Pty) Ltd】

観測対象候補鉱山：ERPM

DRDgold South African Operations 社は、「南ア」国の鉱山会社 DRDgold 社の子会社であり、「南ア」国での生産部門を担っており、2005 年に設立された。DRD は Durban Roodeport Deep の略である。同社へは DRDgold 社が権益 74%を所有する他、同業 Khumo Bathong 社の子会社 Khumo Gold 社が出資している。Khumo Gold 社は当初権益 15%を所有していたが、2007 年に 20%に増やしている（資源: 2009）。

【Simmer and Jack Mines, Ltd】

観測対象候補鉱山：Buffelsfontein、Ezulwini

Simmer and Jack Mines 社は、金とウランを探索・採掘している「南ア」国の新興鉱山会社である。同社が出資している子会社である Buffelsfontein Gold Mines 社と Ezulwini Mining 社が、Buffelsfontein 鉱山と Ezulwini 鉱山それぞれの採掘に当たっている（Simmer and Jack Mines: 2009）。

表 5-2-2 「南ア」国金鉱山における各鉱山会社データ一覧（2007）（DME: 2008）

会社名	生産量 (kg)	収入 (百万 ZAR)	経費 (百万 ZAR)	総利益 (百万 ZAR)
Anglogold Ashanti Ltd.	79,427	9,151	5,405	3,746
Gold Fields Ltd	82,302	12,154	7,478	4,675
DRDgold South African Operations (Pty) Ltd	14,839	1,535	1,397	138
Simmer and Jack Mines, Ltd	4,350	603	640	-37

Anglogold Ashanti Ltd.のみ 2006 年データ

(2) 鉱山技術サービス会社

【ISS (Integrated Seismic Systems) International Ltd.】

関係する観測対象候補鉱山：Moab Khotsong、Mponeng、Driefontein、Kloof、South Deep、ERPM、Buffelsfontein

ISS International 社は、自然ないし人為的な地震による岩盤挙動をモニタリング・モデル化する技術を提供するサービス会社で、鉱山をはじめとしてトンネル工事、石油掘削、地震観測等の事業を全世界に展開している。具体的には、地震センサー、データロガー、通信ケーブル等のハードウェア製造・販売に加えて、観測機器・データ管理ツール、解析ツール、可視化ツール等のソフトウェア開発・販売、さらにはシステム提案や専門家派遣といったコンサルティングサービスまで総合的な技術提供を行っている。同社は現在、世界 28 カ国において 140 システムを導入し（世界シェア約 70%）、「南ア」国内だけでも大部分の金鉱山を含む 55 鉱山に対して観測システムを導入している（ISS International: 2009）。

Anglogold Ashanti 社の前身会社である Anglo American 社の金・ウラン採掘部門が 1985 年に鉱山地震や落盤・山はねに対応する研究センターを設立し、1988 年からその研究センターで構築された観測システムを各鉱山に導入していった。その後、Anglo American 社が出資し、研究センターは ISS International 社として独立会社となった（Anglogoldashant: 2009）。

同社は現在、「南ア」国ではケープタウンの東に位置するステレンボッシュにデータ解析センターを持ち、そこでは約 70 名の職員がデータの解析、地震計の開発・販売・発送、ソフトウェアの開発等のサービス提供を行っている。

【OHMS (Open House Management Solutions) (Pty) Ltd】

関係する観測対象候補鉱山：Moab Khotsong、Mponeng、Driefontein、Kloof、South Deep、ERPM、Buffelsfontein

OHMS 社は岩盤工学と地震活動監視を専門とする技術サービス会社で、現在約 40 名の社員（地震学専門家 14 名、岩盤工学専門家 10 名、事務員・技術者見習い等若干名）が在籍している。本プロジェクトにおける観測対象候補鉱山の多くは ISS International 社の観測システムが導入されているが、同社は ISS International 社の下請会社として、鉱山での資機材管理、データ収集と評価、ハザード・リスク評価を実施するとともに、週に 1 回程度の頻度で ISS International 社の専門家と技術会議を開催している。また鉱山でのリスク評価に関する独自の定量的手法（第 2 章「バッファーズフォンテイン鉱山におけるリスク評価の例」参照）を確立しており、評価手法手順書なども作成している。

【SeismoGen Ltd.】

関係する観測対象候補鉱山：Ezulwini

SeismoGen 社は、鉱山産業ならびに土木工事を対象とした地質工学に関わるサービスを提供する、比較的小規模な技術サービス会社である。同社では、鉱山をはじめとする過酷な環境の現場において、安全確保、低予算化、生産性向上に向けて、岩盤挙動と岩盤サポート管理に関わる観測システムの提案と資機材の販売、観測データの解析と評価、リスク評価等を実施している。また、地震センサーや変位計、ロガー、データ解析ソフトウェア等の開発も行っている（SeismoGen: 2009）。

Ezulwini 鉱山では岩盤工学部そのものの機能を、同社の 8 名の専門技術者（地盤工学、地震学、電気システム学など）で請け負っており、同社の代表取締役の 1 人である地震工学専門家が岩盤工学部長として Ezulwini 鉱山の安全管理に努めている。

【引用文献】

Anglogoldashant: 2009, http://www.anglogoldashanti.co.za/subwebs/informationforinvestors/reporttosociety05/values_bus_principles/safety_health/sh_cs_group_5_1.htm

DME: 2008, Operating gold mines and recovery plants in the Republic of South Africa 2008, DME.

ISS International: 2009, <http://www.issi.co.za/>

SeismoGen: 2009, <http://www.seismogen.co.za/>

資源: 2009, http://resource.ashigaru.jp/top_company_1.sa.html

Simmer and Jack Mines: 2009, <http://www.simmers.co.za/sjfu/view/sjfu/en/page36>

Wits 大学: 2009, <http://web.wits.ac.za>

実施協議報告書

詳細計画策定調査で署名したミニッツに基づき、プロジェクトの基本合意文（Memorandum of Understanding: MoU）の協議が、JICA 南アフリカ事務所と DST との間でなされた。通常、技術協力プロジェクトの基本合意文書は討議議事録（Record of Discussions: R/D）としているが、「南ア」国政府の慣習に基づき、基本合意文書のタイトルを MoU とすることを南ア側が強く主張したため、文書のタイトルを MoU とした（この点は詳細計画策定調査の段階で MoU とすることに合意している）。実施協議の段階で、文書の体裁を先方の要望に合わせて修正したが、内容的には、詳細計画策定調査のミニッツに添付して合意した MoU 案とほぼ変わりなく、特にプロジェクトの基本計画や実施体制などの技術的な部分は、そのまま受け入れられ、2010 年 2 月 26 日に MoU の署名がなされた（附属資料 4 参照）。

MINUTES OF MEETING
BETWEEN JAPANESE DETAILED PLANNING SURVEY TEAM
AND THE DEPARTMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
OF THE GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF SOUTH AFRICA
ON JAPANESE TECHNICAL COOPERATION FOR
THE PROJECT FOR STUDIES OF SEISMIC HAZARD MITIGATION IN DEEP
LEVEL SOUTH AFRICAN MINES

The Japanese Detailed Planning Survey Team (hereinafter referred to as “the Team”) organized by Japan International Cooperation Agency (hereinafter referred to as “JICA”) and headed by Mr. Shinichi MASUDA, visited the Republic of South Africa (hereinafter referred to as “South Africa”) from 25 September to 10 October 2009, for the purpose of working out the details of the technical cooperation program concerning the Project for Studies of Seismic Hazard Mitigation in Deep Level South African Mines (hereinafter referred to as “the Project”).

During its stay in South Africa, the Team exchanged views and had a series of discussions with the South African authorities concerned.

As a result of these discussions, the following documents summarize the key issues emerging from the visit.

- Summary of Discussions
- Draft Memorandum of Understanding
- Proposed Plan of Operation
- Proposed List of Research Group Members
- Proposed list of equipment to be provided by JICA

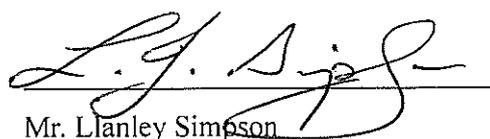
Pretoria.07 October 2009



Mr. Shinichi MASUDA

Leader

Japanese Detailed Planning Survey Team
Japan International Cooperation Agency
JAPAN



Mr. Llanley Simpson

Director
Science and Technology for
Economic Impact
Department of Science and Technology
SOUTH AFRICA

SUMMARY OF DISCUSSIONS

I. TITLE OF THE PROJECT

Based on the recommendation of the South African and Japanese research consortiums, both sides agreed that the title of the Project will be changed from “Project for Studies of Seismic Hazard Mitigation in Deep Level South African Mines” to “Project for Observational Studies in South African Mines to Mitigate Seismic Risks”.

Both sides understand that a diplomatic procedure is necessary to change the title of the Project.

II. RATIONALE OF THE PROJECT

Both sides recognized that the Project has the potential to produce results that can have wide reaching benefit to the society in South African and around the world. First, improved knowledge for the preparation and occurrence of mining-induced earthquakes, would contribute to more accurate prediction and hazard assessment of natural earthquakes. Second, the improved technology for hazard assessment of mining-induced earthquakes could be applied not only to gold mines but also to other mines in South Africa and globally, and this would contribute to the reduction of casualties and economic losses incurred by mining-induced seismicity.

III. DRAFT MEMORANDUM OF UNDERSTANDING – GOVERNMENT TO GOVERNMENT

The draft Memorandum of Understanding (hereinafter referred to as “MoU”) attached as Attachment I, was discussed and due to legislative requirements in both countries, this item could not be finalized. The anticipated date of signing the government to government MoU would be by the end of January 2010.

The draft MoU, which stipulated the framework of the Project, would be finalized and signed by the representatives of the Government of South Africa and JICA after notification of approval of the implementation of the Project by the Department of Science and Technology and JICA Headquarters.

IV. TENTATIVE PLAN OF OPERATION

The Proposed Plan of Operation for the whole period of the Project attached as Attachment II was noted. The activities of the Project are subject to modifications within the scope of the MoU after consultation when the necessity arises in the course of the implementation of the Project.

V. PROJECT IMPLEMENTATION

1. Responsible Authority

Department of Science and Technology (DST)

2. Project Implementing Agencies:

South Africa - Council for Scientific and Industrial Research (CSIR), Council for Geoscience (CGS) and the School of Geosciences at Witwatersrand University

Japan – JICA and Research team headed by Ritsumeikan University

3. Collaborating agencies (to be consolidated in the course of the project implementation)

Mining companies and mine technical service providers from observation mines

VI. COOPERATION PERIOD OF THE PROJECT

Both sides recommend that the relevant research institutions align their formal collaboration agreements to reflect the Implementation Plan of the Project. The anticipated date of signing the government to government MoU would be by the end of January 2010. The cooperation period of the Project will be five (5) years from the date of arrival of the first JICA expert in South Africa.

VII. OTHERS

1. Privileges and immunities for JICA experts and customs clearance for equipment

An agreement on “Technical Cooperation and the Japan Overseas Cooperation Volunteers Programme between the Government of Japan and the Government of the Republic of South Africa” is due to be signed, and this MoU would be subject to the above agreement. Prior to the signature of the agreement, the South African side should send the application forms (A1 Form for JICA experts, A4 Form for equipment, and Application Form for the JICA Training and Dialogue Program) through the diplomatic channel to the Government of Japan for dispatch of experts, supply of equipment, or acceptance of trainees in Japan for the Project.

Handwritten signature and initials in the bottom right corner of the page.

2. Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development

It was noted that the Project would be implemented under the 'Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development'¹ promoted by JICA and Japan Science and Technology Agency (JST) in collaboration.

JICA will take necessary measures for the technical cooperation such as dispatch of JICA experts, provision of equipment and training of South African personnel, and other supports related to the Project in South Africa. JST will support the Japanese research institutes/researchers for the project activities in Japan.

3. Collaborative Research Agreement

Both sides agreed that the representative research institutes in Japan and South Africa should reach an agreement to execute the collaborative research in accordance with the Master Plan of the Project. The agreed document (e.g. Collaborative Research Agreement) should define terms of agreement regarding, inter alia, confidentiality and intellectual property rights.

4. Proposed study areas

It was proposed that the observational studies will be implemented at the following gold mines. Both sides agreed that South African and Japanese research teams would request the owner companies of those mines for permissions to implement research activities in their mines.

- a. Moab Khotsong gold mine
- b. Mponeng gold mine
- c. Driefontein gold mine
- d. Ezulwini gold mine
- e. Other gold mines that are mutually agreed upon to be added to the study areas

5. Management and maintenance of equipment

The South African side will ensure that the Project Implementing Agencies of South African side (i.e. CSIR, CGS and Witwatersrand University) will register the equipment provided by

¹ 'Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development' aims to develop new technology and its applications for tackling global issues, and also aims at capacity development of researchers and research institutes in both countries.



JICA as their own asset, and properly manage and maintain it.

6. Funding for implementation of the Project

The South African side will endeavor to secure funding, especially for the measures to be taken described in the article III (6) and (7) of the draft MoU, to ensure successful implementation and sustainability of the Project.

ATTACHMENT I Draft Memorandum of Understanding

ATTACHMENT II Proposed Plan of Operation

ATTACHMENT III Proposed List of Research Group Members

ATTACHMENT IV Proposed List of Equipment to be provided by JICA



**DRAFT MEMORANDUM OF UNDERSTANDING BETWEEN JAPAN
INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY AND
THE DEPARTMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, SOUTH AFRICA
ON JAPANESE TECHNICAL COOPERATION FOR
THE PROJECT FOR OBSERVATIONAL STUDIES IN SOUTH AFRICAN MINES
TO MITIGATE SEISMIC RISKS**

Japan International Cooperation Agency (hereinafter referred to as “JICA”) represented by JICA South Africa Office exchanged views and had a series of discussions with the Department of Science and Technology and South African authorities concerned with respect to desirable measures to be taken by JICA and the Government of the Republic of South Africa (hereinafter referred to as “the Government of South Africa”) for the successful implementation of the Project for Observational Studies in South African Mines to Mitigate Seismic Risks (hereinafter referred to as “the Project”).

As a result of the discussions, JICA and South African Department of Science and Technology agreed to recommend to their respective Governments the matters referred to in the document attached hereto.

Pretoria.XX XX, 200X

Chief Representative,
JICA South Africa Office
JICA
Japan

The Republic of South Africa



I. COOPERATION BETWEEN JICA AND THE DEPARTMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGY ON THE PROJECT FOR OBSERVATIONAL STUDIES IN SOUTH AFRICAN MINES TO MITIGATE SEISMIC RISKS

1. The Government of South Africa will implement the Project in cooperation with JICA.
2. The Project will be implemented in accordance with the Master Plan, attached as Annex I.

II. MEASURES TO BE TAKEN BY JICA

In accordance with the laws and regulations in force in Japan, JICA will take, at its own expense, the following measures according to the normal procedures of its technical cooperation scheme.

1. DISPATCH OF JAPANESE EXPERTS

JICA will provide the services of the Japanese experts (hereinafter referred to as "JICA experts"). The JICA experts, who will take part in the Project, will be dispatched several times a year during the Project period. At the beginning of each Japanese fiscal year (JFY), JICA will provide the plan of dispatching experts.

2. PROVISION OF MACHINERY AND EQUIPMENT

JICA will provide such machinery, equipment and other materials (hereinafter referred to as "the Equipment") necessary for the implementation of the Project as listed in Annex III. The Equipment will become the property of the Government of South Africa upon being delivered C.I.F. (cost, insurance and freight) to the South African authorities concerned at the ports and/or airports of disembarkation.

3. TRAINING OF SOUTH AFRICAN PERSONNEL IN JAPAN

JICA will receive the South African personnel connected with the Project for technical training in Japan.

III. MEASURES TO BE TAKEN BY THE GOVERNMENT OF SOUTH AFRICA



1. The Government of South Africa will endeavor self-reliant operation of the Project in order for the Project to be sustained during and after the period of Japanese technical cooperation, through full and active involvement in the Project by all related authorities, beneficiary groups and institutions.
2. The Government of South Africa will ensure that the technologies and knowledge acquired by the South African nationals as a result of Japanese technical cooperation will contribute to the economic and social development of South Africa.
3. The Government of South Africa will grant in South Africa privileges, exemptions and benefits to JICA experts referred to in II-1 above and their families, which are no less favourable than those accorded to experts of a similar dispensation of third countries working in South Africa.
4. The Government of South Africa will ensure that the Equipment referred to in II-2 above will be utilized effectively for the implementation of the Project in consultation with the JICA experts referred to in II-1.
5. The Government of South Africa will endeavor that the knowledge and experience acquired by the South African personnel from technical training in Japan will be utilized effectively in the implementation of the Project.
6. In accordance with the laws and regulations in force in South Africa and subject to the availability of resources, the Government of South Africa will take necessary measures to provide at its own expense:
 - (1) Services of the South African counterpart personnel and administrative personnel as listed in Annex IV;
 - (2) Office space and its facilities provided for the project
 - (3) Supply or replacement of machinery, equipment, instruments, vehicles, tools, spare parts and any other materials necessary for the implementation of the Project other than the Equipment provided by JICA under II-2 above;



7. In accordance with the laws and regulations in force in South Africa and subject to the availability of resources, the Government of South Africa will take necessary measures to meet:

- (1) Expenses necessary for transportation within South Africa of the Equipment referred to in II-2 above as well as for the installation, operation and maintenance thereof;
- (2) Customs duties, internal taxes and any other charges, imposed in South Africa on the Equipment referred to in II-2 above ; and
- (3) Running expenses necessary for the implementation of the Project.

IV. ADMINISTRATION OF THE PROJECT

1. Representative from the DST, will bear overall responsibility for the administration and implementation of the Project.
2. Representative from the Council for Scientific and Industrial Research (CSIR), as the Project Manager, will be responsible for the managerial and technical matters of the Project.
3. The Japanese Chief Advisor will provide necessary recommendations and advice to the Project Director and the Project Manager on any matters pertaining to the implementation of the Project.
4. JICA experts will give necessary technical guidance and advice to the South African counterpart personnel on technical matters pertaining to the implementation of the Project.
5. For the effective and successful implementation of technical cooperation for the Project, a Joint Coordinating Committee will be established whose functions and composition are described in Annex VI.



V. JOINT EVALUATION

Evaluation of the Project will be conducted jointly by the South African Government and JICA, at the middle and during the last six months of the cooperation term in order to examine the level of achievement.

VI. CLAIMS AGAINST JICA EXPERTS

The Government of South Africa undertakes to bear claims, if any arises, against the JICA experts engaged in technical cooperation for the Project resulting from, occurring in the course of, or otherwise connected with the discharge of their official functions in South Africa except for those arising from the willful misconduct or gross negligence of the JICA experts.

VII. MUTUAL CONSULTATION

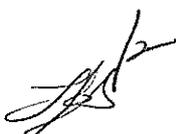
There will be mutual consultation between JICA and the Government of South Africa on any major issues arising from, or in connection with this Attached Document.

VIII. MEASURES TO PROMOTE UNDERSTANDING OF AND SUPPORT FOR THE PROJECT

For the purpose of promoting support for the Project among the people of South Africa, the Government of will take appropriate measures to make the Project widely known to the people of South Africa.

IX. TERM OF COOPERATION

The duration of the technical cooperation for the Project under this Attached Annexes will be for five years from the date of arrival of the first JICA expert in South Africa.



X. OTHERS

Both sides agreed that necessary information and data for smooth implementation of the Project shall be shared among members of the Project.

- ANNEX I MASTER PLAN**
- ANNEX II FIELDS OF EXPERTISE OF JICA EXPERTS**
- ANNEX III LIST OF MACHINERY AND EQUIPMENT**
- ANNEX IV LIST OF SOUTH AFRICAN COUNTERPART AND
ADMINISTRATIVE PERSONNEL**
- ANNEX V LIST OF OFFICE SPACES AND FACILITIES**
- ANNEX VI JOINT COORDINATING COMMITTEE**



MASTER PLAN

1. Project Purpose

Understanding of the preparation and occurrence of earthquakes is enhanced, and the risk management mechanism of mining-induced earthquakes is improved.

2. Outputs

- (1) Rock properties at seismic sources are elucidated.
- (2) Understanding of the preparation and forerunners of earthquakes in gold mines is enhanced.
- (3) Reliability of seismic hazard assessment in gold mines is improved.
- (4) Reliability of strong ground motion predictions in gold mines is improved.
- (5) Estimation of the locations of seismic events, and damage assessment of seismic disasters become more accurate.

3. Activities

- (1)-1. Observe and collect rock samples at seismic sources and its surroundings
- (1)-2. Investigate rock properties in laboratory
- (2)-1. Install monitoring systems for micro-fracturing and rock deformation, and sensitive long period seismometers in the vicinity of impending earthquake sources
- (2)-2. Monitor the activities of micro fracturing
- (2)-3. Monitor the accumulation and release of stress in and around the impending earthquake source
- (2)-4. Analyze the monitored data to clarify the forerunning phenomena and its characteristics
- (3)-1. Evaluate spatiotemporal changes in stress and rock mass stability based on the data produced by mine's microseismic network
- (3)-2. Upgrade the scheme of seismic hazard assessment by calibrating existing schemes with the data obtained through the activities (2)-2, (2)-3 and (3)-1.
- (4)-1. Install accelerometers and high capacity strainmeter in the vicinity of impending earthquake sources to monitor the dynamic slip and stress change
- (4)-2. Analyze the data obtained through the activity (4)-1 to clarify the process of rock mass failure and strong motion generation



- (4)-3. Install strong motion meters and geophones in underground working places to monitor strong motion at disaster sites
- (4)-4. Compare strong ground motions at the source with those at damage sites to clarify the characteristics of site amplification of strong motion
- (4)-5. Compare the monitored dynamic stress change and fault slip with existing lab-experimental results to clarify the scaling relationship in dynamic rupture process
- (5)-1. Install seismic stations in the Far West Rand mining district (Carletonville area) on the surface to monitor surface ground motion caused by mine tremors
- (5)-2. Upgrade the Data Center in the Silverton offices of the Council for Geoscience
- (5)-3. Develop and validate a parametric model that will be capable of predicting strong ground motion



FIELDS OF EXPERTISE OF JICA EXPERTS

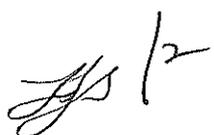
Fields of expertise to be covered by the JICA experts are as follows:

1. Chief Advisor
2. Crustal Physics
3. Rock Mechanics
4. Fracture Mechanics
5. Subsurface Measurement
6. Structural Geology
7. Geodynamics
8. Monitoring Engineering
9. Seismology
10. Strong Motion Seismology
11. Computer technology
12. Data Processing
13. Project Coordinator (long-term JICA expert)
14. Other fields mutually agreed upon as necessary for the implementation of the Project

A handwritten signature in black ink, located in the bottom right corner of the page. The signature is stylized and appears to consist of several loops and a long horizontal stroke.

LIST OF MACHINERY AND EQUIPMENT

1. Equipment for monitoring of micro-fracturing, rock deformation, and seismic motion
2. Equipment for seismic monitoring network on the ground surface
3. Equipment for data analysis
4. Office equipment
5. Other equipment mutually agreed upon as necessary for the implementation of the Project

Handwritten signature or initials in the bottom right corner of the page.

**LIST OF SOUTH AFRICAN COUNTERPART AND ADMINISTRATIVE
PERSONNEL**

1. Administrative personnel

(1) Project Director

XXXXXXXXX, Department of Science and Technology (DST)

(2) Project Manager

Professor Ray Durrheim, Council for Scientific and Industrial Research (CSIR)

2. Counterpart personnel

Researchers and technicians of CSIR

Researchers and technicians of Council for Geoscience

Researchers and technicians of School of Geosciences, Witwatersrand University

Note: In the event of transfer/posting or retirement of counterpart personnel, his/her successor will be designated by respective organisations immediately.



LIST OF OFFICE SPACE AND FACILITIES

1. Office space and facilities for the performance of duties by the JICA experts
2. Land or space for the installation of equipment
3. Other facilities mutually agreed upon as necessary

12
JS

JOINT COORDINATING COMMITTEE

The Joint Coordinating Committee (hereinafter referred to as “JCC”) will be organized and meet at least once a year and whenever necessity arises, in order to fulfill the following functions;

- (1) To formulate the annual work plan of the Project
- (2) To review the progress of the annual work plan
- (3) To review and exchange opinions on major issues that may arise during the implementation of the Project
- (4) To discuss any other issue(s) pertinent to the smooth implementation of the Project

Composition of the Committee

(1) Chairperson

Project Director appointed by DST (Chairperson of the JCC)

(2) Members

a. South African side:

- Representative(s) of Council for Scientific and Industrial Research
- Representative(s) of Council for Geoscience
- Representative(s) of Witwatersrand University

b. Japanese side:

- Representative(s) of JICA South Africa Office
- JICA experts
- JICA study team members

c. The Committee can invite observer(s) as the need requires such as JST, the Japanese Embassy in Pretoria, Department of Mineral Resources, and Mine Health and Safety Council.



Proposed Plan of Operation

Activities	1st year	2nd year	3rd year	4th year	5th year
1. Source rock property (Output 1; Rock property group)					
Activity 1-1 On-site observation	*****	*****		*****	*****
Activity 1-2 Lab analysis		*****	*****	*****	*****
2. Sensitive close monitoring (Output 2; Deformation group)					
Activity 2-1: Array deployment	*****	*****	*****		
Activity 2-2 Micro fracturing monitoring		*****	*****	*****	*****
Activity 2-3: Rock deformation monitoring		*****	*****	*****	*****
Activity 2-4: Analysis		*****	*****	*****	*****
3. Hazard assessment (Output 3; Hazard assessing group)					
Activity 3-1: Mine seismic data re-evaluation			*****	*****	*****
Activity 3-2: Upgrade assessment scheme			*****	*****	*****
4. Strong motion (Output 4; Strong motion group)					
Activity 4-1: On-fault monitoring	*****	*****	*****	*****	*****
Activity 4-2: Source motion analysis			*****	*****	*****
Activity 4-3: On-site monitoring		*****	*****	*****	*****
Activity 4-4: Site motion analysis			**	*****	*****
Activity 4-5: Scaling law				*****	*****
5. Extension of the SANSN (Output 5; Surface cluster)					
Activity 5-1: Installation of a cluster of seismic stations	****	*****	*****		
Activity 5-2: Upgrade seismological Data Center		*****	*****	*****	*****
Activity 5-3: Strong ground motion prediction			*	*****	*****

ATTACHMENT III

Proposed List of Research Group Members

Output Activity #	Research Subjects (Outputs, Activities)	<u>Leader/</u> Members	<u>Leader/</u> Members
		Japan	South Africa
1	Source rock property	<u>T. Satoh (AIST)</u>	<u>R. Durrheim (Wits/CSIR)</u>
1-1	On-site observation	K. Otsuki (Tohoku U)	J. Kuijpers (CSIR)
1-2	Laboratory analysis	Y. Yabe (Tohoku U) X. Lei (AIST) M. Nakatani (U Tokyo) H. Kawakata (Rits. U) N. Yoshimitsu (Rits. U)	G. Henry (CSIR) D. Roberts (CSIR) H. Yilmaz (Wits) G. van Aswegen (ISSI ltd)* S.K. Murphy (AngloGold Ashanti)*
2	Sensitive close monitoring	<u>M. Nakatani (U Tokyo)</u>	<u>A. Milev (CSIR)</u>
2-1	Array deployment	H. Ogasawara (Rits. U)	D. Birch (CGS)
2-2	Micro fracturing monitoring	H. Kawakata (Rits. U)	O. Goldbach (CSIR)
2-3	Rock deformation	Y. Yabe (Tohoku U)	R. Masethe (Gold Fields/Wits)
2-4	monitoring Analysis	H. Ishii (TRIES) S. Nakao (Kagoshima U) S. Hirano (U Tokyo) K. Miyagawa (U Tokyo) A. Watanabe (U Tokyo) H. Tsuji (U Tokyo) M. Saka (U Tokyo) T. Ito (U Tokyo) Y. Kano (Kyoto U) M. Naoi (U Tokyo) T. Katsura (Rits. U)	J. Machake (CSIR) P. deBruin (Moab Khotsong mine)* C.W. Miller (Mponeng mine)* J. Wienand (Driefontein mine)* A.K. Ward (Ezulwini mine /Seismogen CC)*
3	Hazard assessment	<u>H. Kawakata (Rits. U)</u>	<u>R. Durrheim (Wits/CSIR)</u>

Output	Research Subjects (Outputs, Activities)	<u>Leader/Members</u>	<u>Leader/Members</u>
Activity #		Japan	South Africa
3-1 3-2	Mine seismic data re-evaluation Upgrade assessment scheme	H. Moriya (Tohoku U) T. Igarashi (U Tokyo) A. Kato (U Tokyo) K. Imanishi (AIST) Y. Kano (Kyoto U) S. Ide (U Tokyo) N. Yoshimitsu (Rits. U) M. Okubo (TRIES) M. Naoi (U Tokyo)	M. Singh (CGS) O. Goldbach (CSIR) T. Kgarume (Wits/CSIR) R. Masethe (Gold Fields/Wits) S. Spottiswoode (Individual Consultant)* S.K. Murphy (AngloGold Ashanti)* C. Moller (AngloGold Ashanti)* G. Hoffman (AngloGold Ashanti)* K. Riemer (Goldfields)* P. Lenegan (Goldfields)* N. Naicker (Goldfields)*
4	Strong motion	<u>Y. Yabe (Tohoku U)</u>	<u>A. Milev (CSIR)</u>
4-1 4-2 4-3 4-4 4-5	On-fault monitoring Sources motion analysis On-site monitoring Site motion analysis Scaling law	N. Kame (U Tokyo) T. Watanabe (Tohoku U) H. Miyake (U Tokyo)	A. Cichowicz (CGS) O. Goldbach (CSIR) R. Durrheim (Wits/CSIR) L. Linzer (Wits) R. Masethe (Gold Fields/Wits) A. Yenwong-Fai (Wits) H Uzoegbo (Wits) S. Spottiswoode (Individual Consultant)*
5	Extension of the SANSN	<u>H. Ogasawara (Rits. U)</u>	<u>A. Cichowicz (CGS)</u>
5-1 5-2	Installation of a cluster of seismic stations Upgrade of seismological Data Center	T. Igarashi (U Tokyo) A. Kato (U Tokyo) H. Miyake (U Tokyo) M. Okubo (TRIES)	J. Steyn and 5 members of his group (CGS) I. Saunders & 3 members of his group (CGS)

Output	Research Subjects (Outputs, Activities)	<u>Leader/Members</u>	<u>Leader/Members</u>
Activity #		Japan	South Africa
5-3	Strong ground motion prediction:		M. Singh (CGS) Scientist-A(CGS) E Kgaswane (CGS) D. Birch (CGS) L. Linzer (Wits) S. Spottiswoode (Individual Consultant)*

Note: The research members with asterisks (*) are from the collaborating agencies of the Project

Proposed List of Equipment to be provided by JICA

Item	Quantity
Continuous Recorder	2
Sensitive strainmeter	10
Low-power recorder	4
Broad Band recorder	2
Broad Band seismometer	4
Dynamic Strain Recorder	1
Dynamic Strain Amp	1
Transmission unit	6
Transmitter	6
GmuG-ACC converter	30
AE recorder	1
AE main amp.	1
Groutable AE sensor	40
Installation rods /100m	8
Off-line data logger	3
Seismic transducers	54
Borehole tiltmeter	4
Closure meter system	2
Seismic system software	1
RAID system	1
Accelerometer	10
DAQ System	10
Field Processor	10
Connector & Cable	10
Lightening Protection	10
Modem	10
Power component	10
Office equipment (to be defined)	

Note: The list is still tentative and subject to modification

附属資料 2

詳細計画策定調査主要面談者リスト

財務省 National Treasury

Mokgadi Tena, Portfolio Manager, International Development Cooperation

科学技術省 Department of Science and Technology (DST)

Mr. Llanley Simpson, Manager, Resource Based Industry

Eudy Mabuza, Assistant Director

Tshawekazi Tembani, Assistant Director

鉱物資源省 Department of Mineral Resources (DMR)

Thabo Dube, Deputy Chief Inspector of Mines

科学産業研究評議会 Council for Scientific and Industrial Research (CSIR)

Hoffie Maree, Group Executive, Operations

Ray Durrheim, Principal Geophysicist and Fellow

Alexander Milev, Principal Scientist

Van Zyl Brink, Research Group Leader

Declan Vogt, Manager, Mining

地球科学評議会 Council for Geoscience (CGS)

Artur Cichowicz, Senior Specialist

Maleka Monyepao, Manager, Buisness Development

ウィットウォーターズランド大学

Belinda Bozzoli, Deputy Vice Chancellor

Roger Gibson, Head, School of Geosciences

鉱山保健安全評議会 Mine Health and Safety Council (HMSC)

Navin Singh, Chief Research and Operations Officer

アングロ・ゴールド・アシャンティ社（鉱山会社） AngloGold Ashanti Ltd.

Shaun Murphy, Manager, Rock Engineering Applied research

ゴールド・フィールズ社（鉱山会社） Gold Fields Ltd.

Nin Naicker, Chief Seismologist, Group Seismic Service,

Kevin Riemer, Seismolgoical Department

ISS インターナショナル社 ISS International

Gerrie van Aswegen, Head of Mining Division

在南アフリカ日本国大使館

中西書記官、龍書記官、宮内専門調査員

JICA 南アフリカ事務所

小野所長、吉村次長、岡田所員、櫻井企画調査員

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

<p>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</p>
<p>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。</p> <p>(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</p>

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 日あたり

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。

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・ウォータース・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「防災協力イニシアティブ」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件費、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

**MEMORANDUM OF UNDERSTANDING
BETWEEN
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
AND
THE GOVERNMENT
OF THE REPUBLIC OF SOUTH AFRICA
THROUGH THE
DEPARTMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
ON
JAPANESE TECHNICAL COOPERATION
FOR
OBSERVATIONAL STUDIES
IN
SOUTH AFRICAN MINES
TO
MITIGATE SEISMIC RISKS**

PREAMBLE

Japan International Cooperation Agency (hereinafter referred to as “JICA”) represented by the JICA South Africa Office exchanged views and had a series of discussions with the Department of Science and Technology and South African authorities concerned with respect to desirable measures to be taken by JICA and the Government of the Republic of South Africa (hereinafter referred to as “the Government of South Africa”) for the successful implementation of the Project for Observational Studies in South African Mines to Mitigate Seismic Risks (hereinafter referred to as “the Project”).

As a result of the discussions, JICA and South African Department of Science and Technology agreed to recommend to their respective Governments the following matters:

I. COOPERATION BETWEEN JICA AND THE GOVERNMENT OF SOUTH AFRICA ON THE PROJECT FOR OBSERVATIONAL STUDIES IN SOUTH AFRICAN MINES TO MITIGATE SEISMIC RISKS

1. The Government of South Africa will implement the Project in cooperation with JICA.
2. The Project will be implemented in accordance with the Master Plan, attached as Annex I.

II. MEASURES TO BE TAKEN BY JICA

In accordance with the laws and regulations in force in Japan, JICA will take, at its own expense, the following measures according to the normal procedures of its technical cooperation scheme.

1. DISPATCH OF JAPANESE EXPERTS

JICA will provide the services of the Japanese experts (hereinafter referred to as “JICA experts”). The JICA experts, who will take part in the Project, will be dispatched several times a year during the Project period. At the beginning of each Japanese fiscal year (JFY), JICA will provide the plan of dispatching experts.

2. PROVISION OF MACHINERY AND EQUIPMENT

JICA will provide such machinery, equipment and other materials (hereinafter referred to as “the Equipment”) necessary for the implementation of the Project as listed in Annex II.

3. TRAINING OF SOUTH AFRICAN PERSONNEL IN JAPAN

JICA will receive the South African personnel connected with the Project for technical training in Japan.

III. MEASURES TO BE TAKEN BY THE GOVERNMENT OF SOUTH AFRICA

1. The Government of South Africa will endeavor self-reliant operation of the Project in order for the Project to be sustained during and after the period of Japanese technical cooperation, through full and active involvement in the Project by all related authorities, beneficiary groups and institutions.

2. The Government of South Africa will ensure that the technologies and knowledge acquired by the South African nationals as a result of Japanese technical cooperation will contribute to the economic and social development of South Africa.

3. The Government of South Africa will grant in South Africa privileges, exemptions and benefits to JICA experts referred to in II-1 above and their families, which are no less favourable than those accorded to experts of a similar dispensation of third countries working in South Africa, as provided for in the "Agreement on Technical Cooperation between the Government of Japan and the Government of the Republic of South Africa" which is currently under discussion.

4. The Government of South Africa will ensure that the Equipment referred to in II-2 above will be utilized effectively for the implementation of the Project in consultation with the JICA experts referred to in II-1.

5. The Government of South Africa will endeavor that the knowledge and experience acquired by the South African personnel from technical training in Japan will be utilized effectively in the implementation of the Project.

6. In accordance with the laws and regulations in force in South Africa and subject to the availability of resources, the Government of South Africa will take necessary measures to provide at its own expense:

(1) Services of the South African counterpart personnel and administrative personnel as listed in Annex III;

(2) Office space and its facilities provided for the project referred to in Annex IV;

(3) Supply or replacement of machinery, equipment, instruments, vehicles, tools, spare parts and any other materials necessary for the implementation of the Project other than the Equipment provided by JICA under II-2 above;

7. In accordance with the laws and regulations in force in South Africa and subject to the availability of resources, the Government of South Africa will take necessary measures to meet:

(1) Expenses necessary for transportation within South Africa of the Equipment referred to in II-2 above as well as for the installation, operation and maintenance thereof;

(2) Customs duties, internal taxes and any other charges, imposed in South Africa on the Equipment referred to in II-2 above as provided for in the "Agreement on Technical Cooperation between the Government of Japan and the Government of the Republic of South Africa" which is currently under discussion; and

(3) Running expenses necessary for the implementation of the Project.

IV. ADMINISTRATION OF THE PROJECT

1. Director: Science and Technology for Economic Impact from the Department of Science and Technology (DST), as the Project Director, will bear overall responsibility for the administration and implementation of the Project.

2. Principal Geophysicist and Fellow: Centre for Mining Innovation from the Council for Scientific and Industrial Research (CSIR), as the Project Manager, will be responsible for the managerial and technical matters of the Project.

3. The Japanese Chief Advisor will provide necessary recommendations and advice to the Project Director and the Project Manager on any matters pertaining to the implementation of the Project.

4. JICA experts will give necessary technical guidance and advice to the South African counterpart personnel on technical matters pertaining to the implementation of the Project.

5. For the effective and successful implementation of technical cooperation for the Project, a Joint Coordinating Committee will be established whose functions and composition are described in Annex V.

V. JOINT EVALUATION

Evaluation of the Project will be conducted jointly by the Government of South Africa and JICA, at the middle and during the last six months of the cooperation term in order to examine the level of achievement.

VI. CLAIMS AGAINST JICA EXPERTS

The Government of South Africa undertakes to bear claims, if any arises, against the JICA experts engaged in technical cooperation for the Project resulting from, occurring in the course of, or otherwise connected with the discharge of their official functions in South Africa except for those arising from the willful misconduct or gross negligence of the JICA experts.

VII. MUTUAL CONSULTATION

There will be mutual consultation between JICA and the Government of South Africa on any major issues arising from, or in connection with this Memorandum of Understanding.

VIII. MEASURES TO PROMOTE UNDERSTANDING OF AND SUPPORT FOR THE PROJECT

For the purpose of promoting support for the Project among the people of South Africa, the Government of South Africa will take appropriate measures to make the Project widely known to the people of South Africa.

IX. TERM OF COOPERATION

The duration of the technical cooperation for the Project under this Memorandum of Understanding will be for five years from the date of arrival of the first JICA expert in South Africa.

X. AMENDMENT

This Memorandum of Understanding may be amended by mutual consent of the Parties.

XI. OTHERS

Both sides agreed that necessary information and data for smooth implementation of the Project shall be shared among members of the Project.

ANNEX I MASTER PLAN

ANNEX II LIST OF MACHINERY AND EQUIPMENT

ANNEX III LIST OF SOUTH AFRICAN COUNTERPARTS, COLLABORATING RESEARCHERS AND JAPANESE EXPERTS

ANNEX IV LIST OF OFFICE SPACES AND FACILITIES

ANNEX V JOINT COORDINATING COMMITTEE

ANNEX VI TENTATIVE PLAN OF OPERATION

Done at Pretoria on this 26th day of February 2010

小野 修司

FOR JAPAN INTERNATIONAL
COOPERATION AGENCY

G. N. M. Pandoor

FOR THE GOVERNMENT OF THE
REPUBLIC OF SOUTH AFRICA

1. Project Purpose

Understanding of the preparation and occurrence of earthquakes is enhanced, and the risk management mechanism of mining-induced earthquakes is improved.

2. Outputs

- (1) Rock properties at seismic sources are elucidated.
- (2) Understanding of the preparation and forerunners of earthquakes in gold mines is enhanced.
- (3) Reliability of seismic hazard assessment in gold mines is improved.
- (4) Reliability of strong ground motion predictions in gold mines is improved.
- (5) Estimation of the locations of seismic events, and damage assessment of seismic disasters become more accurate.

3. Activities

- (1)-1. Observe and collect rock samples at seismic sources and its surroundings
- (1)-2. Investigate rock properties in laboratory
- (2)-1. Install monitoring systems for micro-fracturing and rock deformation, and sensitive long period seismometers in the vicinity of impending earthquake sources
- (2)-2. Monitor the activities of micro fracturing
- (2)-3. Monitor the accumulation and release of stress in and around the impending earthquake source
- (2)-4. Analyze the monitored data to clarify the forerunning phenomena and its characteristics
- (3)-1. Evaluate spatiotemporal changes in stress and rock mass stability based on the data produced by mine's microseismic network
- (3)-2. Upgrade the scheme of seismic hazard assessment by calibrating existing schemes with the data obtained through the activities (2)-2, (2)-3 and (3)-1.
- (4)-1. Install accelerometers and high capacity strainmeter in the vicinity of impending earthquake sources to monitor the dynamic slip and stress change
- (4)-2. Analyze the data obtained through the activity (4)-1 to clarify the process of rock mass failure and strong motion generation
- (4)-3. Install strong motion meters and geophones in underground working places to monitor strong motion at disaster sites
- (4)-4. Compare strong ground motions at the source with those at damage sites to clarify the characteristics of site amplification of strong motion

- (4)-5. Compare the monitored dynamic stress change and fault slip with existing lab-experimental results to clarify the scaling relationship in dynamic rupture process
- (5)-1. Install seismic stations in the Far West Rand mining district (Carletonville area) on the surface to monitor surface ground motion caused by mine tremors
- (5)-2. Upgrade the Data Center in the Silverton offices of the Council for Geoscience
- (5)-3. Develop and validate a parametric model that will be capable of predicting strong ground motion

ANNEX II LIST OF MACHINERY AND EQUIPMENT

1. Equipment for monitoring of micro-fracturing, rock deformation, and seismic motion
2. Equipment for seismic monitoring network on the ground surface
3. Equipment for data analysis
4. Office equipment
5. Other equipment mutually agreed upon as necessary for the implementation of the Project

**ANNEX III LIST OF SOUTH AFRICAN COUNTERPARTS, COLLABORATING
RESEARCHERS AND JAPANESE EXPERTS**

Output	Research Subjects (Outputs, Activities)	Leader/Members	Leader/Members
Activity #		Japan	South Africa
1	Source rock property	<u>T. Satoh (AIST)</u>	<u>R. Durrheim (Wits/CSIR)</u>
1-1 1-2	On-site observation Laboratory analysis	K. Otsuki (Tohoku U) Y. Yabe (Tohoku U) X. Lei (AIST) M. Nakatani (U Tokyo) H. Kawakata (Rits. U) N. Yoshimitsu (Rits. U)	J. Kuijpers (CSIR) G. Henry (CSIR) D. Roberts (CSIR) H. Yilmaz (Wits) G. van Aswegen (ISSI ltd)* S.K. Murphy (AngloGold Ashanti)*
2	Sensitive close monitoring	<u>M. Nakatani (U Tokyo)</u>	<u>A. Milev (CSIR)</u>
2-1 2-2 2-3 2-4	Array deployment Micro fracturing monitoring Rock deformation monitoring Analysis	H. Ogasawara (Rits. U) H. Kawakata (Rits. U) Y. Yabe (Tohoku U) H. Ishii (TRIES) S. Nakao (Kagoshima U) S. Hirano (U Tokyo) K. Miyagawa (U Tokyo) A. Watanabe (U Tokyo) H. Tsuji (U Tokyo) M. Saka (U Tokyo) T. Ito (U Tokyo) Y. Kano (Kyoto U) M. Naoi (U Tokyo) T. Katsura (Rits. U)	D. Birch (CGS) O. Goldbach (CSIR) R. Masethe (Gold Fields/Wits) J. Machake (CSIR) P. deBruin (Moab Khotsong mine)* C.W. Miller (Mponeng mine)* J. Wienand (Driefontein mine)* A.K. Ward (Ezulwini mine /Seismogen CC)*
3	Hazard assessment	<u>H. Kawakata (Rits. U)</u>	<u>R. Durrheim (Wits/CSIR)</u>
3-1 3-2	Mine seismic data re-evaluation Upgrade assessment scheme	H. Moriya (Tohoku U) T. Igarashi (U Tokyo) A. Kato (U Tokyo) K. Imanishi (AIST) Y. Kano (Kyoto U) S. Ide (U Tokyo) N. Yoshimitsu (Rits. U) M. Okubo (TRIES) M. Naoi (U Tokyo)	M. Singh (CGS) O. Goldbach (CSIR) T. Kgarume (Wits/CSIR) R. Masethe (Gold Fields/Wits) S. Spottiswoode (Individual Consultant)* S.K. Murphy (AngloGold Ashanti)* C. Moller (AngloGold Ashanti)* G. Hoffman (AngloGold Ashanti)* K. Riemer (Goldfields)* P. Lenegan (Goldfields)* N. Naicker (Goldfields)*
4	Strong motion	<u>Y. Yabe (Tohoku U)</u>	<u>A. Milev (CSIR)</u>
4-1 4-2 4-3	On-fault monitoring Sources motion analysis On-site monitoring	N. Kame (U Tokyo) T. Watanabe (Tohoku U)	A. Cichowicz (CGS) O. Goldbach (CSIR) R. Durrheim (Wits/CSIR)

Output	Research Subjects (Outputs, Activities)	Leader/Members	Leader/Members
Activity #		Japan	South Africa
4-4 4-5	Site motion analysis Scaling law	H. Miyake (U Tokyo)	L. Linzer (Wits) R. Masethe (Gold Fields/Wits) A. Yenwong-Fai (Wits) H Uzoegbo (Wits) S. Spottiswoode (Individual Consultant)*
5	Extension of the SANSN	<u>H. Ogasawara (Rits. U)</u>	<u>A. Cichowicz (CGS)</u>
5-1 5-2 5-3	Installation of a cluster of seismic stations Upgrade of seismological Data Center Strong ground motion prediction:	T. Igarashi (U Tokyo) A. Kato (U Tokyo) H. Miyake (U Tokyo) M. Okubo (TRIES)	J. Steyn and 5 members of his group (CGS) I. Saunders & 3 members of his group (CGS) M. Singh (CGS) Scientist-A(CGS) E Kgaswane (CGS) D. Birch (CGS) L. Linzer (Wits) S. Spottiswoode (Individual Consultant)*

Notes:

1. The research members with asterisks (*) are not counterpart personnel but collaborating researchers who participate in the project activities voluntarily without an obligation to implement the Project.
2. This list is subject to change, and will be revised annually at the Joint Coordinating Committee meetings.

ANNEX IV LIST OF OFFICE SPACE AND FACILITIES

1. Office space and facilities for the performance of duties by the JICA experts
2. Land or space for the installation of equipment
3. Other facilities mutually agreed upon as necessary

ANNEX V JOINT COORDINATING COMMITTEE

The Joint Coordinating Committee (hereinafter referred to as “JCC”) will be organized and meet at least once a year and whenever necessity arises, in order to fulfill the following functions;

- (1) To formulate the annual work plan of the Project
- (2) To review the progress of the annual work plan
- (3) To review and exchange opinions on major issues that may arise during the implementation of the Project
- (4) To discuss any other issue(s) pertinent to the smooth implementation of the Project

Composition of the Committee

(1) Chairperson

Project Director appointed by DST (Chairperson of the JCC)

(2) Members

a. South African side:

- Representative(s) of Council for Scientific and Industrial Research
- Representative(s) of Council for Geoscience
- Representative(s) of Witwatersrand University

b. Japanese side:

- Representative(s) of JICA South Africa Office
- JICA experts
- JICA study team members

c. The Committee can invite observer(s) as the need requires such as JST, the Japanese Embassy in Pretoria, Department of Mineral Resources, and Mine Health and Safety Council.

ANNEX VI TENTATIVE PLAN OF OPERATION

Activities	1st year	2nd year	3rd year	4th year	5th year
1. Source rock property (Output 1; Rock property group)					
Activity 1-1: On-site observation	*****	*****	*****	*****	*****
Activity 1-2: Lab analysis		*****	*****	*****	*****
2. Sensitive close monitoring (Output 2; Deformation group)					
Activity 2-1: Array deployment	*****	*****	*****		
Activity 2-2: Micro fracturing monitoring		*****	*****	*****	*****
Activity 2-3: Rock deformation monitoring		*****	*****	*****	*****
Activity 2-4: Analysis		*****	*****	*****	*****
3. Hazard assessment (Output 3; Hazard assessing group)					
Activity 3-1: Mine seismic data re-evaluation			*****	*****	*****
Activity 3-2: Upgrade assessment scheme			*****	*****	*****
4. Strong motion (Output 4; Strong motion group)					
Activity 4-1: On-fault monitoring	*****	*****	*****	*****	*****
Activity 4-2: Source motion analysis			*****	*****	*****
Activity 4-3: On-site monitoring		*****	*****	*****	*****
Activity 4-4: Site motion analysis			**	*****	*****
Activity 4-5: Scaling law				*****	*****
5. Extension of the SANSN (Output 5; Surface cluster)					
Activity 5-1: Installation of a cluster of seismic stations	***	*****	*****		
Activity 5-2: Upgrade seismological Data Center		*****	*****	*****	*****
Activity 5-3: Strong ground motion prediction			*	*****	*****

Note: This Tentative Plan of Operation is subject to change, and will be revised annually at the Joint Coordinating Committee meetings.