

( 1 ) 実施機関名 :  
立命館大学

( 2 ) 研究課題( または観測項目 ) 名 :  
南アフリカ大深度金鉱山における準備期・直前期の地震破壊域近傍の岩盤挙動の観測

( 3 ) 最も関連の深い建議の項目 :  
2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進  
( 3 ) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程  
( 3-1 ) 地震発生先行過程  
　　ア . 観測データによる先行現象の評価

( 4 ) その他関連する建議の項目 :  
2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進  
( 2 ) 地震・火山噴火に至る準備過程  
( 2-1 ) 地震準備過程  
　　イ . 非地震性滑りの時空間変化とアスペリティの相互作用  
( 3 ) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程  
( 3-1 ) 地震発生先行過程  
　　イ . 先行現象の発生機構の解明  
( 4 ) 地震発生・火山噴火素過程  
　　ウ . 摩擦・破壊現象の規模依存性

( 5 ) 本課題の 5 か年の到達目標 :  
震源核形成過程は、理論的・実験的に存在することが確認されている地震の直前過程の核心部分であり、それが実際に観測可能かどうかということが、短期的な予知の実現へ向けて解明すべき最重要課題であると考えられる。しかし、通常の自然地震を対象にする限り、大地震は滅多に発生しない。また、中小地震の震源から至近距離で観測することは難しい。したがって、南ア金鉱山における半制御地震発生実験によって、観測事例を増やすこと、および、より詳細像を得ることは非常に重要である。本課題では、主に高感度・広ダイナミック・レンジの石井式歪計の連続収録によって地震発生準備期の歪変化の詳細を観測する。次の 5 ヶ年の目標は、観測周波数帯域において、また、観測ダイナミック・レンジで盲点がより少ない観測をより多くのサイトで行うことである。

( 6 ) 本課題の 5 か年計画の概要 :  
平成 21 年度では下記の活動を行う。  
Mponeng 金鉱山地下 3.5km のサイト付近での採掘があと数ヶ月間続く予定で、この間は地震活動が比較的活発であり続けると予想される。AE・歪観測を継続しより多くの事例の解析を行う。  
水没金鉱山 ( Buffelsfontein 鉱山地下 2km と ERPM 鉱山地下 2.5 ~ 3.5km ) の歪・地震観測を継続する。ERPM 鉱山は閉山したため、採掘活動がない場合の比較的 Dry な領域と Wet な領域の地震活動を比較できると期待される。  
石井式歪計 2 台と複数の加速度計による観測を、複数の鉱山で新たに始める準備を行う。候補の鉱山は South Deep 金鉱山, Driefontein 金鉱山, Kloof 金鉱山である。三次元配置でより多くの石井式歪

計、AE センサー、加速度計などからなる総合観測網を、2~3 年の間に  $M > 2$  の地震の発生が予測されている既存の断層の周囲に展開する準備を行う。候補の鉱山は Moab Khotsong 鉱山である。

平成 22 年度は、既存の観測を継続しつつ、新しい総合観測網の構築を開始する。

平成 23 年度は、既存の観測を継続しつつ、年度の前半には新しい観測網の構築を完了し、データ解析を始める。

平成 24 年度までには、新しい観測網の中で 2~3 個の M2 級の地震発生を至近距離で収録できると予想され、その詳細を解析する。

平成 25 年度は、成果をまとめる。

#### ( 7 ) 平成 21 年度成果の概要 :

Mponeng 金鉱山地下 3.5 km のサイト付近では、2009 年前半まで続いた採掘に伴う歪変化を観測し、また、過去の記録を精査した。二台の歪計から 25m 以内で発生した  $M_w 0.3$  の地震の 6.5 時間前から顕著な非地震性の変化が見出された。変化が最大のものは約  $4 \times 10^{-7}$  におよび、それは  $M_w 0.3$  の最大の coseismic 变化 ( $3.6 \times 10^{-6}$ ) が見られた成分で観測された (桂・他、2009)。

Moab Khotsong 鉱山において、2~3 年の間に  $M > 2$  の地震の発生が予測されている既存の断層の周囲に、広帯域地震計、加速度計、AE センサーなどとともに、8~9 台の歪計からなる総合観測網を、3 次元配置で展開する準備を始めた。

石井式歪計 2 台と他の計器による同時観測を、複数の鉱山で新たに始める準備も行った。Ezulwini 鉱山では AE との同時観測、Driefontein 金鉱山では強震動との同時観測、South Deep 金鉱山および Kloof 金鉱山では鉱山の通常の地震観測と同時に歪観測が行われる。

水没金鉱山 (Buffelsfontein 鉱山地下 2km と ERPM 鉱山地下 2.5~3.5km) の歪・地震観測を継続した。

以上は、「( 6 ) 本課題の 5 か年計画の概要」に記した平成 21 年度の計画に沿う進捗状況である。

#### ( 8 ) 平成 21 年度の成果に関連の深いもので、平成 21 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

直井 誠, 2010, 南アフリカ大深度金鉱山で発生した M 2 地震震源近傍でのアコースティック・エミッション観測, 東京大学博士論文.

桂 泰史・小笠原宏・安武剛太・川方裕則・山本覚仁・中谷正生・直井 誠・矢部康男・石井 紘・E. Pinder・G. Morema, JAGUARS, 2009, 歪計から 20m で発生した M2 の断層滑り方向延長部で続発した M~2 地震に関連する歪変化 - 南アフリカ Mponeng 金鉱山, 日本地震学会秋季大会予稿集, P1-66.

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 2, 61, 日本地震学会 60 周年記念特集号, S563-S573.

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

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

Durrheim, R.J., H. Ogasawara, M. Nakatani, Y. Yabe, A. Milev, A. Cichowicz, H. Kawakata, H. Moriya and the JST-JICA SA research group, 2009, Observational study to mitigate seismic risks in mines: a new Japanese - South African collaborative project, in " Proceedings of South African Geophysical Association Biennial Technical Meeting and Exhibition ", 73-79.

#### ( 9 ) 平成 22 年度実施計画の概要 :

「( 7 ) 平成 21 年度成果の概要」に記したように、新しい総合観測網の構築準備がほぼ完了したため、平成 22 年度は、「( 6 ) 本課題の 5 か年計画の概要」で記した通り、新しい総合観測網の構築を開始する。既存の観測も継続する。

#### ( 10 ) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

立命館大学総合理工学研究機構 小笠原宏・川方裕則

他機関との共同研究の有無：有  
東濃地震科学研究所 石井 紘・大久保慎人  
東京大学地震研究所 中谷正生  
東北大学大学院理学研究科 矢部康男・大槻憲四郎  
鹿児島大学大学院理工学研究科 中尾 茂  
京都大学防災研究所 飯尾能久

( 11 ) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先  
部署等名：立命館大学 研究部 理工リサーチオフィス  
電話：077-561-2802  
e-mail：liaisonb@st.ritsumei.ac.jp