

領域番号：422

領域略称名：火山爆発

平成17年度科学研究費補助金 特定領域研究 研究状況報告書 「火山爆発のダイナミックス」

(研究期間)

平成14年度 ～ 平成18年度

領域代表者 研究機関・部局・職・氏名

兵庫県立大学・大学院生命理学研究科・教授・井田喜明

(1) 研究領域の概要

火山爆発（爆発的な噴火）は古来より多くの災害を引き起こしてきたが、その実態や発生機構には不明な部分が多く、災害の軽減や噴火予知にも十分な手立てが尽くされてきたとはいえない。特定領域「火山爆発のダイナミックス」は、火山爆発の素過程や発生機構について学術的な理解を深め、その応用として火山災害の軽減に資することを目的とする。その達成に向けて、理学、工学、社会科学の協力体制のもとに、領域は次の5つの研究項目から構成される。

- A01. 火山爆発の発生場をさぐる
- A02. 火山爆発の準備過程をさぐる
- A03. 火山爆発のメカニズムをさぐる
- A04. 火山爆発の地表現象をとらえる
- A05. 火山爆発災害軽減への路をさぐる

研究期間は平成 14～18 年度の 5 カ年間である。各研究項目には中心に計画研究がひとつあり、平成 15～16 年度にはそれぞれの研究項目に複数の公募研究が加わった。

(2) 研究領域の設定目的

領域全体の研究目的は、火山爆発の素過程や発生機構について学術的な理解を深めると、その応用として火山災害の軽減に寄与することである。

この目的に向けて、研究項目 A01 は、主に活動的な火山で精密な火山観測を行うことによって、火山爆発の性質や発生場の実態を詳細に把握する。A02 は、爆発の原動力となるガス成分が、噴火の準備過程でどのような挙動をするかを、主に噴出物の解析に基づいて解明する。A03 は、マグマが流動し、爆発で破碎される現象がどのような物理機構に支配されるかを、室内実験やコンピュータ・シミュレーションを駆使して究明する。A04 は、火山爆発が地表で引き起こす現象を、野外実験や各種の観測・調査によって究明し、スケーリング則などを用いて定量化する。A05 は、火山爆発の発生が社会に及ぼす効果などについて調べて、災害軽減に有効な方法を探る。

これらの研究を相互に連携を保って進めることで、マグマの蓄積・上昇から噴火や災害の発生に至る一連の過程を、総括的に解明する。研究から得られる全体的な成果として、今までやや博物学的に扱われてきた火山現象が、発生機構と関連づけて体系的に理解できるようになるものと期待される。また、火山災害の軽減に応用する具体的な方法として、噴火予知や災害予測に結びつくような「噴火シミュレータ」の開発に向けて、研究成果を結集する。

(3) 研究領域内の研究の年度毎の進展状況及びこれまでの主な研究成果

(発明及び特許を含む。) [研究項目毎に整理する]

研究項目 A01 は、噴火活動の続く諏訪之瀬島火山を中心に、阿蘇、雲仙、桜島、口永良

部島、九重山を観測の場を選び、地震、傾斜、音波、電磁気、火山ガス、噴煙画像、熱赤外などの観測を繰り返し実施してきた。当該年度は観測システムが噴火や台風の被害を受けたが、観測は順調に継続された。省電力で小型軽量の地震・火山ガス・電磁気観測装置が開発され、その導入で地形の急峻な山頂部でも観測が可能になった。諏訪之瀬島山頂部での観測では、小規模な爆発的噴火の発生時に、地震、空振、地殻変動の推移と関連して、噴石、火山灰、火山ガスの放出が見いだされ、爆発過程のモデル化に大きく前進した。火山全体にわたるマグマ、熱、水の相互作用についても研究が進んでいる。

A02 では、水の拡散係数と気泡数密度が精度よく測定され、火道内の減圧速度との定量的な関係が得られた。また、周辺岩体の効果を取り入れたマグマ発泡過程のモデルが構築され、爆発直前の増圧過程が理解された。脱ガス過程の定量化に向けて、マグマ中のガスの浸透率を天然噴出物や実験発泡物を用いて測定し、気泡の連結がどのように進むかを、その場観察実験によって調べた。火道内での圧力増加の原因に、溶結による火道閉塞が考えられるが、室内実験によって、溶結度と初期含水量の相関が見出された。更に、熱水循環による岩石の析出や、マグマ周辺の熱膨張の効果についても実験や解析が行なわれた。

A03 では、高粘性流体の急減圧流動装置、相変化を含む衝撃波管実験装置が稼動し始め、急減圧に伴う気相核形成の分子動力学モデルや気泡の変形を再現する数値モデルの解析が進んだ。さらに衝撃波管におけるマグマの破碎に関するモデルが構築された。噴火の火道流モデルについては、気泡の核形成と成長、マグマの破碎、脱ガス効果を含む定常流モデルが構築され、脱ガス効果を含む非定常なマグマ上昇流のモデルも開発が進んだ。また、乱流混合を定量的に再現する3次元火山噴煙モデルが構築され、火砕流の発生条件や噴煙の高度が定量的に評価できるようになった。火砕流については、粉体の流動化への熱輸送の影響や、堆積物の分級過程に関する考察も進んでいる。

A04 の重要課題のひとつは各種観測装置の開発である。火山探査移動観測ステーション（MOVE）は、7月に阿蘇火山の第一火口周辺で走行テストを行い、500m離れた地点からも無線で操作できるようになった。付随する観測システムも完成し、MOVEに搭載が可能になったが、無線の到達範囲に問題があることも判明した。ドップラーレーダーやペネトレータ型観測機器の開発は、ほぼ当初の計画に沿っている。室内実験については、2種類の火山爆発室内模擬実験装置が完成し、実験の結果として、爆発に伴う噴出物の放出様式について新しい知見が得られた。爆風などに関する数値実験用のコードも、開発がほぼ完了し、再現実験が進められている。

A05 では、火山噴出物を迅速に分析する装置と体制が整い、それを用いて北海道駒ヶ岳、樽前山、有珠山の噴火史が詳細に解明された。広域にわたる数十年間の水準測量データを集めて解釈することによって、前兆現象がほとんどなしに噴火すると考えられていた北海道駒ヶ岳でも、噴火前に深部でマグマの蓄積があることが見出された。差し迫った噴火や災害の可能性は、火山噴火予知連絡会などで評価されるが、インターネット技術を用いてその議論を支援するシステムが、改良を加えられてほぼ完成の域に達した。有珠山でのハザードマップ活用の実態や問題点が、聞き取り調査などによって明らかにされた。

(4) 研究領域の研究組織と各研究項目の連携状況

< 研究領域の研究組織 >

領域代表者：井田喜明（兵庫県立大）

研究項目 A01「火山爆発の発生場と発生過程」、研究代表者：田中良和（京大） 研究分担者：平林順一（東工大） 石原和弘（京大） 清水洋（九州大） 須藤靖明（京大） 井口正人（京大） 神田径（京大）；公募：鍵山恒臣（東大） 綿田辰吾（東大） 為栗健（京大） 橋本武志（京大） 八木原寛（鹿児島大）

研究項目 A02「マグマ内揮発性物質による火道内部の増圧過程の解明」、研究代表者：西村太志（東北大） 研究分担者：吉田武義（東北大） 伊藤高敏（東北大） 中村美千彦（東北大） 中嶋悟（阪大） 寅丸敦志（九州大） 磯部博志（熊大） 佐伯和人（阪大）；公募：大谷栄治（東北大） 武井康子（東大） 渡邊了（富山大） 隅田郁郎（金沢大） 佐藤博明（神大）

研究項目 A03「火山爆発とそれに伴う流動現象の機構解明」、研究代表者：小屋口剛博（東大） 研究分担者：井田喜明（兵庫県立大） 大橋弘忠（東大） 高木周（東大） 亀田正治（東京農工大） 田中敏嗣（阪大） 阿部豊（筑波大） 伊藤伸泰（東大）；公募：堀宗朗（東大） 高島武雄（小山高専）

研究項目 A04「火山爆発にともなう地表面象に対する新研究手法の開発と適用」、研究代表者：谷口宏充（東北大） 研究分担者：今村文彦（東北大） 齋藤務（室蘭工大） 佐宗章弘（東北大） 後藤章夫（東北大） 山田功夫（名古屋大） 大島弘光（北海道大） 市原美恵（東大）；公募：高田淑子（宮教大） 中村洋一（宇都宮大）

研究項目 A05「火山噴火の長期予測と災害軽減のための基礎科学」、研究代表者：岡田弘（北大） 研究分担者：山村悦夫（北大） 小山真人（静岡大） 吉川肇子（慶応義塾大） 中川光弘（北大） 森濟（北大） 山田孝（北大）；公募：石川裕彦（京大） 押谷一（酪農学園大）

< 各研究項目の連携状況 >

総括班が主催して、当該年度の1月には国際研究集会を、また3月には領域の成果報告会を開いた。更に、5月には地球科学合同大会の中で、また8月には米国地球物理学連合の部会の中で、領域が提案するシンポジウムが開かれた。領域の研究者は、これらの会議に参加して研究項目間で成果を交換し、共通の問題点を認識して、領域全体の研究目的に沿う形で研究を進める方法を議論した。

研究項目 A02 と A03 は、火山爆発の素過程を解明するという目標を共有するので、現在まで様々な形で連携を進めてきた。当該年度は共同で夏の学校を開催して、爆発的噴火過程のモデルの構築に向けて、物質科学と流体力学の両面から議論を深めた。

A04 が開発を進める新しい噴火観測機器については、実際の噴火で役立つかが、A01 と協力して火山でテストされた。特に、MOVE の開発の関連で、阿蘇火山で走行試験を、また諏訪之瀬島で搭載する観測センサーなどのテストを行った。

噴火や各種火山現象は、A05 が中心になって具体的な事例を集めてきたが、観測データなどについては、A01 や A02 も協力してデータベース化が進められている。

(5) 研究費の使用状況 (設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む。)

A01 では、広帯域無線テレメータ装置 (1680 万円) を導入して、地震、音波、地殻変動などの同時収録を可能にし、MTU5 電磁探査装置 (1162 万円) で他点を参照してのノイズ除去を可能にした。また、小型軽量の DOAS 火山ガス測定装置 (500 万円) を追加製作した。更に、火山の内部構造の解明に寄与する目的で、口永良部火山の人工地震観測 (399 万円) と九重山の空中磁気探査 (210 万円) のために、旅費や運営費用を支出した。

A02 では、流体その場観測セル (500 万円) を用いて、赤外分光によって火山性流体の濡れ特性を見積もり、高温高压その場観察装置 (800 万円) で高温高压下での火山ガラスからの脱水過程を観測した。また、3 次元顕微鏡 (900 万円) で、火山ガラスの脱水によって生成した気泡の連結を観察し、微量水分測定装置 (242 万円) によって水の定量測定の基礎データを得た。

A03 は、急減圧素過程実験装置 (1038 万円) を製作し、伝熱素過程実験用高速ビデオカメラ (860 万円) を用いて、実験の解析を行った。

A04 は、MOVE の開発関連で、操作及び画像通信系システム (1187 万円) と搭載装置電気コンポーネント (1400 万円) を、ドップラーレーダーのために 24GHz レーダーデータ処理装置 (1219 万円) を、ペネトレータのために投下型観測プローブ (650 万円) を導入した。更に、数値シミュレーション用に Cray XD1 スーパーコンピューターシステム (628 万円) を購入した。

A05 は、マグマプロセスを解析するために質量分析装置 (3000 万円) を導入した。

総括班では、外国の研究者 10 人を招聘して 1 月に神戸で国際研究集会を開き、会場費、招待者の旅費や滞在費などとして 374 万円を支出した。

(6) 研究成果公表の状況 (主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等)

井田喜明 (2004) 地震予知と噴火予知、地震ジャーナル、37, 23-27.

A.Okubo, Y.Tanaka, M.Utsugi, N.Kitada, H.Shimizu, T.Matsushima (2004) High-resolution, low-altitude helicopter-borne aeromagnetic survey over Unzen volcano, 京都大学防災研究所年報, 47 B, 735-741

T. Tsusui, Y. Sudo (2004) Seismic relectors beneath the central cones of Aso Volcano, Kyushu, Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., 131, 33-58

小林哲夫・M. Nuguraha Kartadinata・井口正人 (2004) インドネシア、パパンダヤン火山の 2002 年噴火、火山, 49, 41-43

T.Nishimura (2004) Pressure recovery in magma due to bubble growth, Geophysical Research Letter, 31, doi:10.1029/2004GL019810.

- D.J.Cherniak, X.Y.Zhang, M.Nakamura, E.B.Watson (2004) Oxygen diffusion in monazite, Earth. Planet. Sci. Letters, 226, 161-174.
- S.Okumura, and S.Nakashima (2004) Water diffusivity in rhyolitic glasses as determined by in-situ IR spectroscopy. Phys. Chem. Minerals, 31, 183-189.
- 津根明・寅丸敦志(2004)斜長石累帯構造が示すマグマだまりの分化過程,火山, 49, 249-266.
- M.Yasui, and T.Koyaguchi (2004) Sequence and Eruptive Style of the 1783 Eruption of Asama Volcano, Central Japan: A Case Study of an Andesitic Explosive Eruption Generating Fountain-fed Lava, Pumice Fall, Scoria Flow and Forming a Cone, Bull. Volcanol., 66, 243-262.
- M.Ichihara, H.Ohkunitani, Y.Ida, and M.Kameda (2004) Dynamics of Bubble Oscillation and Wave Propagation in Viscoelastic Liquids, J. Volcanol. Geotherm. Res., 129, 37-60.
- Z.Liu, T.Hirata, T.Kawaguchi, T.Tanaka, and Y.Tsuji (2004) The Similarity for Simulation of Fluidized Bed, Proc. of Int. Conf. on Multiphase Flow 2004 Paper No.430 (CD-ROM).
- 横尾亮彦, 市原美恵, 谷口宏充(2004)伊豆大島 1986 年噴火における光環現象、火山、49、299-304.
- A.Yokoo and H.Taniguchi (2004) Application of video image processing to detect volcanic pressure waves: A case study on archived images of Aso Volcano, Japan. Geophys. Res. Lett. 31, L23604, doi:10.1029/2004GL021183
- Y.Shigihara, D.Goto and F.Imamura (2004) Hydraulic experiments and numerical model of two-layer for a landslide-induced tsunamis, Proc. APAC 2003Makuhari, Japan, 14-15.
- K.Takayama and T.Saito (2004) Shock wave/geophysical and medical applications, Annu. Rev. Fluid Mech. Vol.36, 347 ~ 379.
- 岡田弘(2004)コミュニティ支援科学としての噴火予知・地震予知. 月刊地球(海洋出版) 号外 46、101-106.
- M.A.-Miyasaka, M.Nakagawa, and S.Nakada (2005) Magma plumbing system of the 2000 eruption of Miyakejima Volcano, Japan. Bull. Volcanol., 67, 254-267.
- 吉川肇子(2005) 失敗しないリスクコミュニケーションのための心理学。バイオニクス 3 号、28-31 .

(7) 総括班評価者による評価の状況

総括班評価担当者は、平成 16 年度に本特定領域研究が主催し、主体的に関与したシンポジウムや学会と、総括班会議の大部分に出席し、逐次活動状況を把握しながら助言を行った。領域発足後3年目を迎えて、着実に研究の進展が見られるとともに、中間評価の実施された節目の年でも

あり、国際学会の主催1件・国際学会でのセッションの主体的な運営1件を含む活発な活動が行われた。領域代表者は、本特定領域研究において、多くの火山学者の究極の目標である“噴火シミュレータ”に向けた第一歩を踏み出すことを具体的な到達目標として掲げることによって、分野横断的な研究の連携・統合を推進するためのリーダーシップをうまく発揮することに成功している。

< 研究成果と連携状況 >

A01 班が開発した機動性のある新観測システムや火口近傍での観測網は、第一級の高品質なデータを収集しつつあり、桜島や諏訪瀬島火山などにおける爆発発生過程と発生場の物理条件が捉えられつつある。A02 班は、火山爆発の素過程であるマグマの発泡・脱ガス・火道閉塞過程のそれぞれについて実験・理論の両面から多角的な研究を実施し、火山噴火という非常に複雑な現象のメカニズムを解きほぐしつつある。A03 班は、火道内混相流と噴煙柱の物理モデルを系統的に構築することに成功し、噴火シミュレータの骨格の形成に結びつくことが期待できる。数値計算コードや実験技術の開発における理工連携も進んでいる。A04 班は、移動観測ステーションに搭載する計測システムを完成させ、無線操縦距離も 1km まで延びるなど、地表現象に対する新研究手法の開発に関するそれまでの研究成果を順調に発展させている。火山性津波や爆風の計算コード開発もまともつつあり、ここでも緊密な理工連携が行われている。A05 班では、活火山のマグマ供給系の変遷に関する地質・岩石学的なデータが蓄積され、中・長期的な火山活動の推移について具体的な展望を得ることができるようになった。また、噴火時における専門家の合議支援サーバーの開発など、火山防災に関する実践的でかつユニークな取り組みが見られる。また、本年度は、第一期の公募研究課題が終了した。いずれも、計画研究を補完する形で機能している。

個々の研究でほぼ期待通りの成果が上がっているのに加えて、観測手法の開発に関する A01・A04 の連携、噴火モデルと素過程に関する A02・A03 の連携、噴火事例に関する A01(地球物理観測)と A02(物質科学実験)の連携など、領域内部での連携も精力的に進められている。

< 領域の活動状況・社会貢献 >

1月に神戸で主催された国際研究集会では、海外から第一線の研究者を多数招聘し、活発な議論が行われた。発表に用いた図表をサーバー上で共有するなど、その後の研究に資するための意欲的な運営がなされた。7月には若手研究者・大学院生を中心とした『夏の学校』を開催し、若手研究者の育成に努めた。また、熊本市と阿蘇火山博物館において市民講演会ならびに一般公開を開催し、研究成果を社会へ還元することにも努力を払っていることを高く評価したい。

< 問題点と研究推進の方策 >

いずれの研究項目に関しても堅実に成果が上がっているものの、特定領域研究に期待される際立った研究成果と言えるものはまだ必ずしも明らかになっていない。既にこれまでの研究の中にその可能性は多数見出されているので、それらをうまく結実させられるよう、総括班は、研究期間後半に向けて領域の求心力を持続することが期待される。

(8) 研究領域の研究を推進する上での問題点と対応策
(研究費及び研究組織の変更を含む。)

本領域の特色は、理学、工学、社会科学の研究者が協力して、火山爆発に関する研究に新展開を開くところにある。これらの分野の間には、研究の手法やバックグラウンドに違いがあり、初期には共同研究にとまどいも見られた。しかし、お互いの役割を明確化することによって、その問題点は徐々に克服されてきた。

領域の研究は、大別すれば、新しい観測手法の開発も含めて観測から火山爆発の発生場の性質を究明すること（A01、A04）、マグマの蓄積・上昇から噴火や災害要因の発生に至る機構や素過程を解明すること（A02、A03、A04）、基礎研究を火山災害の軽減に役立てる方策を検討すること（A05）から成る。この3つのそれぞれについては、問題意識の共有がかなり進んでいるが、その間の結合はまだ十分とはいえない。

この問題の解決に向けて、総括班では様々な努力を重ねてきた。1月には神戸で「火山爆発研究の基本戦略」と題する国際研究集会を開き、観測データに基づく噴火現象のモデル化、防災にも役立つ噴火過程のシミュレーションを軸にして、外国の研究者を交えて議論を進めた。その議論や研究者間の交流は、領域の目的に向けて問題点を確認し、研究の方向をそろえる上で有効であった。目標を更に具体的にするために、領域では「噴火シミュレータ」の構築に向けて成果を集約する方針を掲げ、その方針との関連で各々の研究の役割を明確にしようとしている。

（9）今後の研究領域の推進方策

（次年度以降の計画の変更や研究領域をさらに発展させるための方策等）

領域の研究に残された期間もあと2年足らずになり、領域全体の研究目的に沿う形で、研究成果をどう集約するかを考えるべき時期になった。学術的な成果の取りまとめには、各年度の末に領域の成果発表会を開催し、その内容を成果報告書として印刷してきたし、今後もそれを続ける。それに加えて、最終年度は国際的な研究集会を開いて海外に成果を問い、発表内容を国際的な学術誌の特集号としてまとめる計画をもつ。

火山爆発過程の総合的な理解と防災への応用に関しては、「噴火シミュレータ」の構築を目標にすえて、研究成果を結集する。噴火シミュレータの開発を進める上で当面の重要課題となるのは、気泡流や粉体流などの性質を決める素過程の理解をまとめること、地下のマグマの活動と地表の噴火現象を連結すること、それらを噴火のシミュレーションに組み込んで、実際の自然現象や室内実験のデータと比較・検証することである。単一のシミュレーションで噴火過程や災害要因を総合的に表現する段階に至るには、まだ多くの問題が残されているが、現状でどこまで理解が進み、予測がどこまで可能なのかについて、領域外の成果も含めて先ず集約をはかる。その上で、火山爆発の素過程や発生機構について、またシミュレーションや予測手法について、社会に有効な情報を発信する方法を考える。

MOVE など、新しい観測手法の開発については、現在までに基本的な機能を付加することは可能になったが、それらの実用化にはまだ課題が多い。ここで課題を整理し直して、残りの期間内に終えるべき問題に開発の精力を集中する。