

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究課題別終了時評価報告書

1. 研究課題名

火山噴出物の放出に伴う災害の軽減に関する総合的研究 (2014 年 4 月～2019 年 4 月)

2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者：井口 正人 (京都大学 防災研究所 火山活動研究センター 教授)

2. 2. 相手側研究代表者：Kasbani (エネルギー・鉱物資源省 地質庁

火山地質災害軽減センター センター長)

3. 研究概要

本プロジェクトでは、火山観測データから予測される火山灰等の噴出率と気象や河川流域観測データに基づいて、火山噴火に伴う複雑な土砂の移動を統合的にシミュレーションする技術を開発する。また、航空機の安全運航のために 噴火時における大気中の火山灰密度を評価・予測する。これらの技術を統合した災害対策のための支援システムを開発し、既存の警戒避難システムや土砂災害対策システムへ地理情報システムを介して複合土砂災害対策意思決定支援システム (SSDM) を開発する。プロジェクトの目標は、総合観測システム、火山噴火早期警戒システム、統合 GIS 複合土砂災害シミュレータ、航空機の運航の安全確保を目的とする浮遊火山灰警戒システムから構成される SSDM が統合して動作し、業務官庁等に対して情報提供できる状態を確立することである。

プロジェクトは下記の5つの研究題目で構成されている。

- (1) 火山噴火予測、土砂災害予測等のための総合観測システムの開発
- (2) データベース構築に基づく火山活動推移モデルの構築、噴出率予測とリアルタイム評価
- (3) 土砂移動現象のモデル化と予測、統合 GIS 複合土砂災害シミュレータの開発
- (4) 火山灰移動モデルの高度化と火山灰早期警戒システムの開発
- (5) 複合土砂災害対策意思決定支援システムへの統合

4. 評価結果

総合評価：A+

(所期の計画をやや上回る取り組みが行われ、大きな成果が期待できる。)

本プロジェクトは、噴火前の地震活動の観測データからマグマ噴出率を推定し、マグマ噴出率ごとに整理された噴火事象系統樹 (イベントツリー) に基づいて、噴火の現象と規模から起こり得る土砂災害の範囲と規模を予測することで、行政機関による住民の避難等の意思決定に資する複合土砂災害対策意思決定支援システムを構築した。従来の理学的火山研究を、

社会実装に繋げる「火山工学」ともいうべきレベルまで昇華させた点で、高く評価できる。

科学技術面では、各専門分野において蓄積してきた豊富な知識・知見を包括的に取り込み、火山噴火災害軽減に向けて総合システムとしてまとめ上げた点は非常に優れた取組みと評価できる。また、地震エネルギーのデータを活用して噴出物量の上限を推定することに成功し、その上限値によって被害軽減に特化したシミュレーションを行う等、重要な成果を挙げた。

社会実装の面では、メラピ火山を対象としたコンソーシアムを設立し、実際に機能して研究成果の普及が図られていることから、プロジェクト上位目標達成への道筋がつけられたと言える。噴出物量や火山活動の推移をはじめ、ラハール（火山泥流）、火砕流、火山灰拡散や降灰量等の予測については、既存のデータや観測結果を中心として組み立て、実用に即した方法できわめて効果的に研究開発が推進された点が評価できる。他方、火山噴火の物理的・物質的側面での現象解明については副次的な位置付けと見受けられ、今後の研究継続にて進展することが期待される。

4-1. 地球規模課題解決への貢献

本プロジェクトでは、噴火前の観測データから、噴火した場合の噴出量、放出火山灰量等を予測し、噴火後に予想される土砂災害の規模を推定することに成功した。それら研究成果を災害対応における意思決定のための総合システムとして整備したことは、課題解決策として実践的である。イベントチェーンにおける不確実性の除去、個々のシミュレーション技術の高精度化等、今後さらなる対応が必要な部分はあるが、住民の避難判断に役立てることができ、その後の土砂災害への備えが可能となる総合システム化は、インドネシアの火山防災にとって重要性、科学的・技術的インパクトともに非常に高いと評価できる。本プロジェクトにおいて、モニタリングと火山噴火・降灰・ラハール等のハザード予測を直結するモデルを構築したことで、実効性のある被害軽減への期待が高まったと言える。

国際社会においても、イベントツリーの作成を基に、各事象のプレアナリシス型のデータベースを構築し、地震活動から予測されるマグマ噴出率に基づいて各分岐における判断を行い、最終的な土砂災害の予測に至るという手法は注目されている。インドネシアでは欧米諸国等も火山研究を推進しているが、それらの国々とも一定の関係を持って研究が進められており、米国地質調査所（USGS）とセミナーを開催する等、相手国のインドネシアのみならず国際社会にも徐々にインパクトを与えつつある。

研究成果の他地域への波及という観点からは、現地の噴火シナリオがあれば、各種のシミュレーションが可能であり、イベント発生時の因果関係シナリオについてもすでに整備されていることから、他国へ展開する可能性はある。モニタリングと予測を結び付け、科学的根拠に基づいたハザードを設定する手法が日本を含め他国に普及されることが期待される。ただし、火山にはある種の個性があり、各地域に応じてカスタマイズする必要があること、他地域に適用するためには本プロジェクトで実施したような基礎的調査研究が必要であることから、同じ手法を用いて即座に他の火山に適用することはできないが、総合システムの基本

的概念は国際社会でも活用されるであろう。

国内外の火山研究と比較すると、個々の研究手法は多くの火山研究で使用されている手法であるが、それらを統合化し、噴火前の観測データに基づいてその規模や影響範囲を予測し、住民の避難対応にまで拡張した研究は本研究以外にはない。従来の火山学は理学のレベルに留まっているが、本研究は「火山工学」への道を切り拓いたものとしてユニークであり、火山学としても高いレベルにある。火山噴出物量に基づいて、火砕流、ラハール、大気中の火山灰をシミュレートするシステム、ならびに大量のデータを基にしたイベントチェーンから意思決定を行う SSDM は、効率的できわめてシステムティックなシステムに仕上がった。火砕流やラハール、火山灰のシミュレーションモデルは、実用に耐えるだけの精度はあるものの、経験則に依拠して構成されたものである。たとえば混相流としての特徴をふまえ流体力学的な観点を取り入れつつ、改良を加えるとさらなる精度向上が図られることが期待できる。

4-2. 相手国ニーズの充足

127 もの活火山が存在し、年間 10 以上の火山が噴火するインドネシアにおいて、火山噴火災害の軽減はきわめてニーズの高い課題である。本プロジェクトで開発した SSDM は、噴火推移の予測と、その後の土砂災害の規模予測に有効な判断根拠を与えることから、火山防災の重要なツールとなりうる。個別の事象に留まらず、災害対策の具体的意思決定支援を目指した総合システムとして設計されており、将来的には同国内の他火山への展開が可能になると予想されることから、相手国ニーズの充足に与えるインパクトはきわめて高いと言える。被害軽減の観点からは、先行地震活動から噴出物量の上限を予測することに成功しており、その成果を活用することで課題解決に至る可能性が高いと評価できる。

本プロジェクトは開始当初から火山災害軽減に向けた行政的実務支援を目指した。SSDM は、インドネシアで火山防災の主要機関であるバンドンの火山地質災害軽減センター (CVGHM)、ならびにメラピ火山を控えるジョグジャカルタの地震災害技術研究開発センターにすでに導入され、日常的な火山状況の把握に使用されている。このように研究成果が活用され、火山災害の軽減につながる事が十分に期待できる。本プロジェクトで開発したリアルタイム火山灰予測 (PUFF) モデルについても、航空機の安全運航確保のためにすでに利用されており、相手国のニーズを十分充足している。また、メラピ火山周辺の自治体を含めた火山防災協議会としてコンソーシアム・メラピが設立されて活動を進めており、社会実装の一部が達成された。今後、同コンソーシアムのような例が他の火山域においても展開できるような法整備がなされる可能性があり、社会変容に繋がる事が期待される。

本プロジェクト開始以前から、研究代表者の所属機関が相手国の火山防災の主要機関である CVGHM を継続的に支援し、人材を育成してきた歴史がある。本プロジェクトで開発した観測システムや SSDM を運用管理していくための人材育成、技術移転を図ってこれまでの活動をさらに高めたことで、今後の継続的な発展が期待できる。ただし、火山地域における各種機材の整備は一般的に難しく、加えて、今回導入したレーダー等の機材の多くがインドネ

シア国外製であることから、現地での保守体制が十分に整っているとは言えない点に不安が残る。

4-3. 付随的成果

これまで相互にはほとんど交流のなかった火山地質、火山モニタリング、シミュレーション、リモートセンシング、土砂災害の分野の専門家を含めて形成された日本側研究者のネットワークは、火山防災の本来あるべき仕組みを実現したという点で高く評価できる。また、桜島において機能している火山防災協議会を参考にしたコンソーシアム・メラピが設立され、その運営が必要であることから、人的ネットワークは今後も維持される見込みが高い。研究面での人的ネットワークについては、従前から両国の研究代表機関の関係が深く、SATREPSの先行プロジェクトで培われたものが本プロジェクトでさらに拡大強化され、若手研究者や相手国研究者の育成に貢献した。

本プロジェクトで得られた研究成果が“Journal of Disaster Research” 特集号として刊行されたことにより、関係研究者が参照しやすくなり、今後も活用されることが期待される。本プロジェクトではSSDMの他、ラハールや火砕流の混相流モデル、PUFFモデル等、多数のシミュレーションモデルが開発・改良され、科学的な成果物としては十分な段階にある。PUFFモデルのような既存のモデルを実用に適した形にすべく改良し、実際に利活用されている点も評価できる。

本プロジェクトで開発したラハールや火砕流、火山灰のシミュレーションモデルについては、他にも様々なモデルが開発されており、今後も改良され続ける性質のものであることから、この種の研究においては知財の獲得や国際標準化との親和性は低い。むしろ、基本仕様が多くの火山に展開されることが望ましい。さらには、コンソーシアムの中での意思決定の仕組みが整備されていくことで、国際標準となるべき「科学的根拠に基づく意思決定」が構築されることが期待される。

4-4. プロジェクトの運営

日本側では個別課題にレベルの高い研究者を配置するとともに、研究成果がメラピ火山周辺の自治体に活用されることを想定して、プロジェクトの初期段階からインドネシア側の社会実装を担当する多くの行政機関、研究機関、NGOを取り込んでおり、きわめて優れたプロジェクト推進体制が構築された。研究活動の連携を促進するためのデータ利活用、マネジメントに係る戦略を構築し、連携が実のあるものとして促進された。また、文部科学省による「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」等のプロジェクトと連携しながら、本プロジェクトを運営した点についても評価できる。

研究代表者の科学的力量、リーダーシップがともにきわめて優れていたことにより、プロジェクトの円滑な推進、広範囲にわたる専門分野の研究成果の統合が実現され、最終的に優

れた成果を創出した。研究推進の各場面で、研究代表者が異なる分野の研究進捗状況を完全に把握し、適切な采配により活動を推進させた点は高く評価できる。また、若手研究者をグループリーダーに抜擢し、若手研究者を頻繁にかつ長期間にわたって現地機関に派遣してシミュレーションおよび SSDM の中核設計と技術移転を実現する等、若手研究者や相手国側研究者に対して、それぞれの研究者の特性に配慮したプロジェクト運営がなされた。さらに、暫定研究期間中に生じたケルト火山の噴火にすぐに対応して観測体制の整備や地質調査を行い、その後の検証に活用する等、状況変化に迅速に対処した点が優れている。

プロジェクト関係者を中心にシンポジウムを毎年開催するとともに、研究成果を“Journal of Disaster Research”特集号として発刊する等、研究活動や成果を発信し、その存在感を示した。コンソーシアム・メラピ⁶設立に向けた準備会も数多く開催されており、社会実装に向けた情報発信も十分に行われている。火山防災というニーズの高い課題としては、社会に向けた研究成果の広報や社会的意義に向けた情報発信がさらに多くなされることが望ましい。

5. 今後の研究に向けての要改善点及び要望事項

- (1) 火山災害の軽減に向けた総合的かつ実践的なシステムをインドネシアで構築したことは、特筆すべき成果である。システムの検証と改良を継続し、インドネシアの防災施策への展開実績を創出しつつ課題の収集がなされることが望まれる。インドネシアが将来にわたってシステムを維持・活用できるための方策を今後検討していただきたい。
- (2) プロジェクト期間中は、日本側研究者の主導のもとでシステムの構築が進められたが、今後はインドネシア側のスタッフが主導して有効に活用されなければならない。これまでも人材育成が進められてきたが、たとえば機材等の維持管理を含めたシステム運用の習熟を重視するなど、実践的な観点での人材育成が望まれる。この点では、インドネシア側が新規技術協力プロジェクトを検討していることから、本プロジェクトメンバーの積極的な協力が望まれる。
- (3) 火山活動や地震動のモニタリングから噴火推移の予測、土砂災害の予測に至る一連のシミュレーション手法を他の火山に導入することは比較的容易と思われる。しかし、様々な噴火事象分岐の判断の基になるイベントツリーの作成には、野外調査に基づく基礎研究が必要となる。他の火山へ成果を展開するためには、現在手薄となっている野外地質調査の専門家を CVGHM に増員するよう相手国に働きかける必要がある。
- (4) プロジェクト期間中に研究成果を社会実装が可能な段階に到達させることを重視して、たとえば噴出物量に基づいたシミュレーション・システムやイベントチェーンを基にした SSDM の開発において、過去のデータから経験的に予測を導く手法を中心としてプロジェクトが推進された。そのため、地球科学的な視座で火山の現象を解明するといった理論的な裏付けの構築に向けた研究が今後進められることも期待したい。

以上

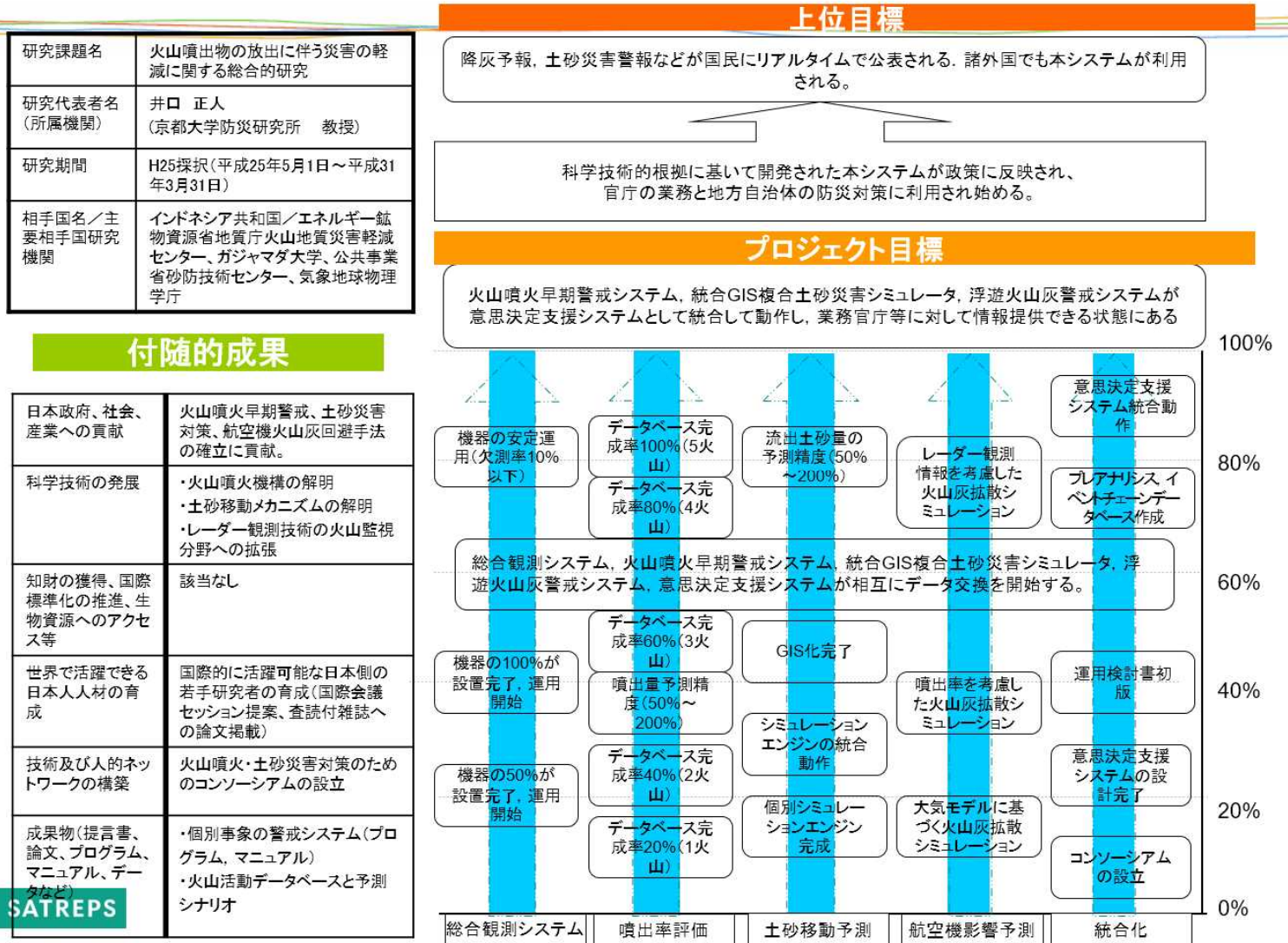


図1 成果目標シートと達成状況 (2019年2月時点)