

地球規模課題対応国際協力プログラム (SATREPS) 研究課題別追跡調査報告書

I. 序文

SATREPS 追跡評価実施要領 (<https://www.jst.go.jp/global/kadai/hyouka/pdf/follow-up-evaluation-procedure.pdf>) に基づき、追跡調査を実施した。具体的には、プロジェクト終了後の研究課題の国際共同研究の成果の発展状況や活用状況を明らかにするために、対象課題に関連した文献およびインターネットによる調査（関連論文、特許、受賞、外部資金等）、対象課題の研究者に対する質問票による基礎データ調査を実施した。さらにそれらの結果を踏まえて研究者インタビュー調査を行い、得られた情報を総合的に整理しまとめた¹。

今般の研究課題別追跡調査においては、以下の方にご協力頂いた。御礼申し上げる。

井口 正人（京都大学 防災研究所 教授）

II. プロジェクト基本情報

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

2. 日本側研究代表者名

井口 正人（プロジェクト終了時 京都大学 防災研究所 教授）
（ 現在 同上 ）

3. 相手国（インドネシア共和国）側研究代表者名

Kasbani（カスバニ）
（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）

4. 国際共同研究期間

2014 年 4 月～2019 年 4 月

5. 研究概要

(1) 目的

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

¹ 2023 年 11 月から 2024 年 3 月に各種調査および報告書のとりまとめを実施した。

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。

(2) 各グループの研究題目と実施体制

プロジェクトは下記の5つの研究題目で構成され、それぞれのグループにて実施された。

- 研究題目 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
(グループ1 主担当：京都大学グループ)。
- 研究題目 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
(グループ2 主担当：東京大学グループ)。
- 研究題目 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
(グループ3 主担当：筑波大学グループ)。
- 研究題目 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
(グループ4 主担当：京都大学グループ)。
- 研究題目 5. 複合土砂災害対策意思決定支援システムへの統合
(グループ5 主担当：京都大学グループ)。

(3) SATREPS 期間中の各グループの成果

研究題目 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

グループ2、3、4 がそれぞれ構築する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ション、浮遊火山灰警戒システムの開発と運用に必要な火山活動、水文、レーダーデータを提供するための総合的観測システムを構築した。

研究題目 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

メラピ、ケルット、グントール、スメル、ガルングンの5火山について噴火シナリオを作成し、将来の噴火発生と推移予測の実用化を行った。また、噴出率の時間関数を予測可能なモデルと現状をリアルタイムで把握できる手法を開発し、噴火シナリオと合わせて火山活動推移予測をモデル化した。現在および火山活動推移予測モデルに基づき予測される噴火強度・様式を表示する火山噴火早期警戒システムを構築した。

研究題目 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

火山噴火により直接的に放出される火砕流、溶岩流、降下火山灰や、降雨によって引起こされるラハール、地形変動、河床変動など様々な土砂移動現象のシミュレーション・エンジン群の開発を行った。また、土砂移動現象シミュレーション・エンジンを統合化し、噴火様式と噴出率などを初期値として動作する「統合 GIS 複合土砂災害シミュレータ」の開発を行った。

研究題目 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

航空機の運航可否の判断にされるのは、大気中の火山灰重量濃度であり、相対密度の時空間分布しか得られないシミュレーションでは航空機の運航可否の資料として用いるのは限界がある。本グループでは大気中の火山灰の重量濃度の時空間分布をシミュレートする手法を開発し、浮遊火山灰警戒システムにより、航空機の運航可否の判断材料を提供した。

研究題目 5. 複合土砂災害対策意思決定支援システムへの統合

総合観測システム、火山噴火早期警戒システム、複合土砂災害シミュレータ、浮遊火山灰警戒システムが SSDM として統合して動作し、業務官庁等に対して情報提供できる状態とした。また、SSDM を維持管理しながら有効に利活用するために、地域の関係者からなるコンソーシアムを設立し機能させた。

Ⅲ. 追跡調査結果まとめ

1. 研究の継続・発展について

[プロジェクト全体]

- ー 本研究は JST の持続可能開発目標達成支援事業 (aXis) で「火山噴火リアルタイムハザード予測の高度化とその社会実装に向けた実証試験」(2020/4/1~2022/3/31) に継続・発展された。aXis は当初 1 年のプログラムであったが、新型コロナウイルス感染症の影響もあり本件は 2 年に亘って実施された。その後は自前の経費で研究継続し、2024 年度に改良版として相手国での実装を完了する。

[(1)総合観測システムの開発 (京都大学グループ)]

- ー 複合土砂災害対策意思決定支援システム (SSDM) は、インドネシア火山局による警報発表に資するためのシステムとして、現在も火山監視に利用され、警報発表に活用されている。2021 年、ジャワ島のスメル山が噴火し、火砕流が発生して多数の犠牲者が出たが、この時の前兆現象は捉えられず予測できなかった。モニタリングデータを更に増やすなど SSDM の改良が必要である。
- ー aXis のほかに下記の科研費 (「研究テーマ」期間) による継続・発展研究を実施している。

- a. 「火山観測と火砕物分析による火山爆発を支配する変数の定量的解明」
2022/4～2026/3
- b. 「大規模火山噴火による航空輸送への影響把握のための予測システムの開発」
2021/7～2024/3
- c. 「灰のシステマティックス構築に基づく噴火推移と火道進化過程の関係解明研究」
2020/4～2024/3
- d. 「火山噴火の標準モデル構築によるハザード予測手法の開発」
2019/4～2022/3

[(2) 噴出率予測とリアルタイム評価（東京大学グループ）]

- ー SATREPS では予測モデルを作成し、実装には至っていない。予測モデルは噴出率の予測精度の向上のため多くの火山への適用が図られている。実装研究は桜島で行っており、これがうまくいけばインドネシアへの実装が可能になる。
- ー 継続・発展研究として、2019 年度 J-RAPID（国際緊急共同研究・調査支援プログラム）「インドネシア・スンダ海峡津波を誘発した火山活動と崩壊メカニズムに関する研究」アナククラカタウ島噴火・津波発生（2018/12）を扱った研究を行った。

[(3) 土砂移動現象予測とシミュレータの開発（筑波大学グループ）]

- ー 統合 GIS 複合土砂災害シミュレータは 2018 年以降、現在もメラピ火山の噴火活動の火砕流の予測に活用されている。前記の aXis で改良版を作り、これから実装される段階にある。

[(4) 火山灰早期警戒システムの開発（神戸大学グループ）]

- ー 火山灰移流拡散シミュレータは現在も活用されている。
- ー 継続・発展研究として、文部科学省からの委託研究で下記を行っている。
火山災害対策技術の開発「リアルタイムの火山灰ハザード評価手法の開発」
(期間：平成 28 年度から 10 年間)

[(5) 複合土砂災害対策意思決定支援システム(SSDM)への統合（京都大学グループ）]

- ー SSDM は現在もメラピ火山などで活用されている。SATREPS では研究者間の共同研究であり、実装されると現場の観測者が操作できるようにインターフェースを改良する必要が生じた。そのためハード・ソフトの改良を前記 aXis で行い、これから適用しようとしている。
- ー SATREPS でコンソーシアムを作ったが、この活動は相手国での法律的根拠がないため推進者のガジャマダ大学(UGM)の先生が退職したことにより中断したが、2023 年に再構築された。なお、日本の場合は活火山法（活動火山対策特別措置法）で設置が定められており、火山防災協議会が機能している。

2. 地球規模課題の解決に向けた科学技術の進展への貢献について

- ー 本研究は多くの火山研究で用いられる個々の研究手法を統合し、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もので、これまでに例を見ない。従来の火山学は理学の範疇に留まっていたが、この研究は「火山工学」という新たな領域を切り拓き、火山学の新たな高みに到達した。その後も「火山工学」の方向性で研究を進めている。

- ー これまでに蓄積してきた火山噴火に関する知見を取り入れ、災害軽減に向けて総合システムを構築したことは、課題解決策として実用的であり、特にインドネシアの火山防災に対する影響は大きい。現時点での防災の観点から見ると、技術的なインパクトが大きく、火山防災における重要な進展であるが、2021 年のスメル火山の例では予測が成功しなかった。他の火山ではデータが得られ、予測が可能な場合もある。モニタリングデータをさらに充実させるなど、SSDM の改善が必要であり、経験を積み重ねていく必要がある。
- ー 噴火事象系統樹を基にしたハザード評価システムは新規性があり、5 つのシミュレーションを統合したシステム (SSDM) は科学的に大きなインパクトを持つ。事象系統樹の作成に基づき、プレアナリシス型の各事象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での判断を行い、最終的な土砂災害の予測までを可能にする手法は国際社会からも注目されている。
- ー USGS (アメリカ地質調査所) も関心を寄せ、共同でセミナーを開催している。また、アジア火山コンソーシアム (日本、インドネシア、フィリピン、台湾、中国、韓国など 7 カ国で防災セミナーを年に 1 回開催) を立ち上げ、既に 10 年間にわたり活動している。

3. 地球規模課題の解決、及び社会実装に向けての発展について

- ー 社会実装への発展について：総合観測システムの開発ではレーダーの噴煙監視が実用化された。噴出率予測とリアルタイム評価では降灰量の予測システム (連続化シミュレータ) を実現した。土砂移動現象予測では統合 GIS 複合土砂災害シミュレータおよび意思決定支援システムが改良され、火山観測所に導入された。火山灰の航空機への影響予測ではインドネシア側の機関の能力向上により、航空路火山灰情報センターに適切な情報が提供された。複合土砂災害対策意思決定支援システムではインターフェースの改良などにより、より使いやすいシステムを構築した。
- ー 火山にはある種の個性があるため、これまでの火山研究では個性が強調されてきた。本研究による総合システムを他の火山にそのまま適用することは難しいが、システム開発の段階では変える必要はなく、実装・オペレーションの段階で変えればよい。共通する基本概念は重要であり、他の地域でもこの成果が共有され活用されることが期待できる。
- ー インドネシアはヨーロッパ諸国等も介入して様々な活動が行われている地域であり、本研究ではフランスと共同観測を行い、メラピ火山でも観測データの交換をしている。途上国の場合、その国自体で新しいシステムを開発するというよりも、先進諸国に依存していることから、それら諸国との共同研究により発展させることもできる。他の開発途上国への展開は徐々に浸透しつつあり、先般もコロンビアからの問合せがあった。

- ー 本研究で開発した SSDM は火山防災の要である火山地質災害防災センター (CVGHM) とメラピ火山を控えるジョグジャカルトの地質災害技術研究開発センター (BPPTKG) に導入され、日常的な火山状況の判断に使用されている。さらに、行政機関や研究所を取り込んだコンソーシアムも設立された。
- ー インドネシアの成果を日本へフィードバックすることは必要不可欠であるが、まだ不十分なところがある。日本は気象庁に取り込んでもらうことが必要である。

4. 日本と相手国の人材育成や開発途上国の自立的な研究開発能力の向上について

- ー 日本側ではその後自立的に研究を続けているが、相手国との新たな共同研究の開始や留学生の新規受け入れなどが行われている。
- ー 相手国での人材育成においては、研究者レベルだけでなく、観測実務者の能力向上が図られた。
- ー 本研究が始まる前から、研究代表者の所属する機関では継続的に相手国の火山防災の要である CVGHM を支援し人材を育成してきた歴史がある。その活動を本研究の中でもさらに高めたことから相手国の人材育成に貢献した。今後の継続的発展も十分期待できるが次に示す課題もある。
- ー 開発された観測システムや SSDM のシステムを運用管理していくための人材育成、技術移転は十分に行われていた。しかし、今後、インドネシアの研究者・技術者が、シミュレーションモデルの開発等に従事し、彼らによって、新しいシステムの開発や現システムの改良が可能かどうかに関してはやや難しいと考えられる。
- ー 今回導入されたレーダーなどの機材については、日本製であり現地での保守体制が整っているとはいえない。レーダーは 2 台中 1 台が現在動いていない。プロジェクト終了後はインドネシアの所有となるが、保守体制はいまだ不十分である。
- ー 若手研究者をグループリーダーに抜擢、また、若手研究者を頻繁にかつ長期間、現地機関に送り込んで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など、効率的に人材活用を行うとともに、わが国の若手人材育成にも貢献した。

5. 日本と開発途上国との国際科学技術協力の強化、科学技術外交への貢献について

- ー 相手国との新たな共同研究の開始や、留学生の新規受け入れなどが行われている。研究面での人的ネットワーク構築に関しては、元々相手国とわが国との間には交流があること、また、本プロジェクトが成功裏に終わっていることから、相手国においても欧米に偏らず、わが国との間にも密接な関係が維持されていくものと考えられる。
- ー 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、シミュレーション専門家、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国内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。本ネットワークは既に桜島の火山防災においても機能している。

6. 終了時評価における要望事項に対する現状報告（要望事項を下線で表示）

要望事項と現状：

- (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。
 - ー aXis による継続研究により処理論理とシステムインターフェースを改良した。
- (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。
 - ー システム運用の習熟度は高まった。一方、一部機材の故障には対応しきれていない。
- (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。
 - ー 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ている。野外調査データはある程度整備されてきており、専門家が多いに越したことはないものの、インドネシア政府が大幅な公務員削減を求められる状況においては難しいと思われる。
- (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。
 - ー 相手国というよりも我が国の火山学の問題であり、より長期の戦略が求められる。火山学はやらなければならない科学的テーマであり、その中でマグマ中の揮発性成分、脱ガス過程と噴火様式の研究に着手した。

7. プロジェクトの上位目標を踏まえた現状報告（上位目標を下線で表示）

上位目標「降灰予報、土砂災害警報などが国民にリアルタイムで公表される。諸外国でも本システムが利用される。」

- ー 我が国では実装に近い段階に来たが、諸外国では未達成。

以上