

3. 研究報告

3. 1 新たな技術を活用した火山観測の高度化

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目 先端的な火山観測技術の開発
サブテーマ1 「新たな技術を活用した火山観測の高度化」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学・地震研究所	教授	田中 宏幸	ht@eri.u-tokyo.ac.jp naoto-
東京大学・医学部	特任教授	林 直人	tky@umin.ac.jp
同上	特任准教授	吉川 健啓	takeharu-
関西大学・総合情報学部	教授	林 武文	yoshikawa@umin.ac.jp
ハンガリー科学アカデミー・ウィグナー物理学研究センター	グループリーダー	Varga, Dezso	haya@kansai-u.ac.jp Varga.Dezso@wigner.mta.hu

(c) 業務の目的

我が国は世界に先駆けて素粒子ミュオンによる火山透視（ミュオグラフィ）を成功させ、これまでにない解像度で火山浅部の内部構造を画像化した。例えば、浅間山では固結した溶岩の下にマグマ流路の上端部が可視化された。また、薩摩硫黄島ではマグマ柱状端部に発泡マグマが可視化された。これらはすべて静止画像であるが、2009年の浅間山噴火前後の火口底の一部に固結していた溶岩の一部が吹き飛んだ様子が透視画像の時系列変化として初めて可視化された。さらに、最近では薩摩硫黄島においてマグマの上昇下降を示唆する透視映像が3日間の時間分解能で取得された。

これらの成果は、ミュオグラフィが火山浅部の動的な構造を把握し、噴火様式の予測や、噴火推移予測に情報を提供できる可能性を示している。しかし、現状ではミュオグラフィデータ解析に時間がかかり、仮に3日間の観測で十分な統計精度のミュオグラフィデータが得られたとしてもそのデータを即透視画像として提供する事が出来ていない。また、現状では全ての火山学者が透視画像にアクセス出来る状況に無い。これは、解析により生成された透視画像はミュオグラフィ研究者グループの計算機内に保存されており、他の火山学者がそれを閲覧することができないからである。ミュオグラフィ研究者グループ外の研究者が画像を閲覧するためには論文出版等を待つ必要が有るが、それとて必ずしも火山学者が要求する観測期間において生成された透視画像とは限らない。従って、論文出版のみでは、ユーザーとしての火山学者の要求に十分に答えられているとはいえない。上記のような理由より火山学者による透視画像の解釈がいっこうに進まず、火山活動とミュオグラフィ透視画像の関連について系統的に評価するまでに至っていない。

そこで、本委託業務では、ミュオグラフィデータを自動的に処理して即透視画像として

提供できる自動処理ソフトウェアを開発し、その結果出力される火山体透視画像をオンラインデータベース化する事により、リアルタイムで火山学者が透視画像にアクセス出来る環境整備を行う。また、この自動処理ソフトウェアはユーザーが過去のデータも含めて、閲覧したい期間の画像を自由に取り出せるようにウェブベースのソフトウェアとして構築する事とし、効果的なオンラインデータベース構築する。さらにより詳細な火山体浅部の構造を把握するために、ミュオグラフィ観測装置の高解像度化を図る。従来の4倍を超える画素を提供する事で、より鮮明な火山透過像を提供できる。この2つの研究開発を組み合わせ、これまでのミュオグラフィ技術では難しかった噴火様式の予測や噴火推移予測に情報を提供することを目指し、以下の研究を実施する。

1) ミュオグラフィ技術の高度化に関わる研究開発

- a) 新たな技術を活用した火山観測の高度化に関わる技術開発
- b) 技術検討会の実施

2) ミュオグラフィ観測のデータ処理の自動化に関わる研究開発

- a) ミュオグラフィ観測のデータ処理の自動化に関わる研究開発
- b) 技術検討会の実施

3) 次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの統合推進

- a) 課題B「先端的な火山観測技術の開発」の包括的な推進
- b) サブテーマ1「新たな技術を活用した火山観測の高度化」の推進

4) ミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動

(d) 10か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成28年度：

桜島に構築されているミュオグラフィ観測点に格納されているミュオン飛跡データを観測点から高速にかつ安定的に自動転送するシステムをレンタル共用サーバ上のウェブサイトに構築した。一方で令和2年度のミュオグラフィ観測システム(MOS)への実装を目指して超軽量、高解像度ミュオン検出器の開発に取り掛かった。

2) 平成29年度：

平成28年度に完成した高速自動データ転送するシステムに加えてミュオグラフィデータの連結プロセス（ミュオン飛跡のトラッキング）を自動化した。さらに、高速自動データ連結ソフトウェアを平成28年度に構築したウェブサイトに実装した。一方で令和2年度のミュオグラフィ観測システム(MOS)への実装を目指して超軽量、高解像度ミュオン検出器の開発を継続した。

3) 平成30年度：

連結されたミュオグラフィデータをユーザーが様々な組み合わせで集計できるシステム構築を目指して、ウェブサイト上でユーザーが入力するパラメータに応じてミュオ

グラフィデータをインタラクティブに集計できるソフトウェアを開発する。これにより、ユーザーが取り出したい期間、用いたい検出器の組み合わせ等に応じたデータの集計が可能となる。一方で令和 2 年度のミュオグラフィ観測システム(MOS)への実装を目指して超軽量、高解像度ミュオン検出器の開発を継続する。

4) 令和元年度：

平成 30 年度までに構築されるインタラクティブ集計ソフトウェアの出力結果から自動で画像を生成し、データベースに順次格納していくソフトウェアの開発を行う。ウェブサイトには画像の検索機能も実装する。そして、1日1枚の火山透視画像の提供を開始する。また、ミュオグラフィ画像集計アプリケーションを提供の提供を開始する。一方、超軽量、高解像度ミュオン検出器の開発を完了する。

5) 令和 2 年度：

令和元年度までに開発が完了している超軽量、高解像度ミュオン検出器をミュオグラフィ観測システム(MOS)へ実装することで第三世代超高解像度ミュオグラフィ観測システム(G-MOS)の製作を完了する。G-MOSの総重量測定を行うことで軽量化の実証を行う。並行して第二世代MOSによる1日1枚の火山透視画像の提供を継続する。

6) 令和 3 年度：

令和 2 年度までに開発が完了している G-MOS を桜島へ投入し、試験観測を行うことで、第二世代 MOS と比べて解像度が向上していることを検証する。並行して第二世代 MOS による 1 日 1 枚の火山透視画像の提供を継続する。

7) 令和 4 年度：

令和 3 年度までに検証された G-MOS を用いて桜島観測を開始する。得られる観測データに令和元年度までに完成している自動画像生成、データベース構築ソフトウェアの試験運用を行い、高解像度火山透視画像の自動生成に必要なソフトウェアの機能要件をまとめる。高解像度化によるデータ量の増大に対処するため、令和 4 年度からより高速のサーバを利用する。1日1枚の第三世代高解像度火山透視画像の提供を開始する。

8) 令和 5 年度：

令和 5 年度は高解像度化に伴うデータ量の格段の増大に対応できる自動画像生成ソフトウェアを完成させ、桜島透視画像の生成において更なる安定化を図る。1日1枚の第三世代高解像度火山透視画像(画素数 3481)の提供を継続する。

9) 令和 6 年度：

令和 6 年度は医療現場で実用化されつつある機械学習による X 線レントゲン写真の自動診断技術を令和 5 年までに蓄積されている第 2 世代、第 3 世代の火山透視画像データベースに応用することで、ミュオグラフィ火山透視画像の自動診断技術を開発する。これにより、短い露光時間による画像のランダムな揺らぎの中から噴火や火口近傍の変化とミュオグラフィ画像の変化の相関を定量化できる。

10) 令和 7 年度：

令和 6 年度までに火口近傍の内部構造の変化に対して機械学習された自動診断技術の適用により、令和 7 年度以降、透視画像の自動診断結果をリアルタイムに提供する。桜島浅部構造の透視画像データベースの構築を完了する。

(e) 平成 30 年度の業務目的

1) ミュオグラフィ技術の高度化に関わる研究開発

a) 新たな技術を活用した火山観測の高度化に関わる技術開発

令和 2 年度のミュオグラフィ観測システム (MOS) への実装を目指して超軽量高解像度ミュオン検出器の開発を継続する。平成 30 年度は平成 29 年度に借用した天井クレーン設備付き高耐床荷重実験室の賃借床面積を拡大することで、従来システムと比して有感面積を拡大した、桜島観測に即適用可能かつより高効率な軽量、高解像度火山透過システムの開発へとつなげ、火山透過システムの完成形に近づける。開発した実機を桜島へ投入することで高解像度火山透過システムの実地観測試験を行う。一方、小型の比例計数管を新たにデザインすることにより、軽量、高解像度火山透過システムの解像度の限界を調査する。ハンガリー科学アカデミーウィグナー物理学研究センター出身の比例計数管のエキスパートを 30 年度も引き続き採用する。

b) 技術検討会の実施

本事業の他の課題及び本委託業務のサブテーマと連携した、軽量、高解像度火山透過システム技術検討会を実施する。

2) ミュオグラフィ観測のデータ処理の自動化に関わる研究開発

a) ミュオグラフィ観測のデータ処理の自動化に関わる研究開発

30 年度は 29 年度に構築したミュオグラフィデータの連結プロセス (ミュオン飛跡のトラッキング) を自動化し、表示するシステムをレンタルサーバ上に実装する。また、29 年度に修復した 28 年度以前に取得され、かつ整合性が取れないミュオグラフィデータファイルをレンタルサーバ上に実装する。これにより、28 年度以前に取得されたデータから現在のデータに至るまでの、桜島浅部の投影情報全てが WEB 上で可視化表示可能となる。29 年度に試作した WEB ベースリアルタイム解析環境をレンタルサーバ上に実装する。これによりミュオグラフィ観測開始時点から現時点までのデータにおいて、ユーザーが特定の方向領域を指定することで、その領域から到来するミュオン数の確認、そしてその時系列変化を確認することができるようになる。30 年度も高速大容量サーバを引き続き賃借する。得られた観測データが火山のどのような性質を示し、火山噴火予測にどう役立つかの検討を目的とした火山学の各分野の研究者との連携を可能とするように、公開する観測データセットの吟味を行う。合成開口レーダー以外の地殻変動との比較を行う。桜島の 2017 年 8 月や 11 月の顕著な噴火イベントで、実際にどのように観測されたか、解析を行う。桜島以外の火山におけるミュオグラフィ観測の可能性について検討を行う。

b) 技術検討会の実施

本事業の他の課題及び本委託業務のサブテーマと連携した、軽量、高解像度火山透過システム技術検討会を実施する。

3) 次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの統合推進

a) 課題 B 「先端的な火山観測技術の開発」の包括的な推進

本課題で開発を目指す先端的な火山観測技術を効率的に推進するため、本課題の分担責任者会議を開催する。そこで、各サブプロジェクトの進行状況に関する情報交換と協力体制の構築を行う。また、課題責任者及び分担責任者が中心となって成果報告書をまとめる。

b) サブテーマ1「新たな技術を活用した火山観測の高度化」の推進

本サブテーマの代表機関、協力機関が参加する「新たな技術を活用した火山観測の高度化検討会」を開催し、具体的な実施内容を検討する。各種ツールの開発状況についての情報交換も行う。

4) ミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動

a) ミュオグラフィの正しい理解展

大型商業施設、博物館等で展示を行う。そのための3DCGモデルデータ、パノラマ画像、ミュオンパーティクルなどのエフェクトを制作する。火山体をデジタル化してミュオグラフィの理解の普及啓発に用いる。

b) 公開講演会

一般向け公開講演会を実施する。

c) ミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動

アウトリーチ専門員を新規採用することにより、アウトリーチ専門員によるミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動を実施する。

(2)平成30年度の成果

(a) 業務の要約

1) ミュオグラフィ技術の高度化に関わる研究開発

a) 新たな技術を活用した火山観測の高度化に関わる技術開発

令和2年度のミュオグラフィ観測システム(MOS)への実装を目指して超軽量高解像度ミュオン検出器の開発を継続し、火山透過システムの完成形に近づけた。開発した実機を桜島へ投入することで高解像度火山透過システムの実地観測試験を行った。一方、小型の比例計数管を新たにデザインすることにより、軽量、高解像度火山透過システムの解像度の限界を調査した。

b) 技術検討会の実施

本事業の他の課題及び本委託業務のサブテーマと連携した、軽量、高解像度火山透過システム技術検討会を実施した。

2) ミュオグラフィ観測のデータ処理の自動化に関わる研究開発

a) ミュオグラフィ観測のデータ処理の自動化に関わる研究開発

ミュオグラフィデータの連結プロセス（ミュオン飛跡のトラッキング）を自動化し、表示するシステムをレンタルサーバ上に実装した。また、28年度以前に取得され、かつ整合性が取れないミュオグラフィデータファイルをレンタルサーバ上に実装した。これにより、28年度以前に取得されたデータから現在のデータに至るまでの、桜島浅部の投影情報全てがWEB上で可視化表示可能となった。29年度に試作したWEBベースリアルタイム解析環境をレンタルサーバ上に実装した。これによりミュオグラフィ観測開始時点から現時点までのデータにおいて、ユーザーが特定の方向領域を指定することで、その領域から到来するミュオン数の確認、そしてその時系列変化を確認することができるようになった。得られた観測データが火山のどのような性質を示し、火山噴火予測にどう役立つかの検討を目的とした火山学の各分野の研究者との連携を可能とするように、公開する観測データセットの吟味を行った。合成開口レーダー以外の観測量との比較を行った。桜島の2017年8月や11月の顕著な噴火イベントで、実際にどのように観測されたか、解析を試みた。桜島以外の火山におけるミュオグラフィ観測の可能性について検討を行った。

b) 技術検討会の実施

本事業の他の課題及び本委託業務のサブテーマと連携した、軽量、高解像度火山透過システム技術検討会を実施した。

3) 次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの統合推進

a) 課題B「先端的な火山観測技術の開発」の包括的な推進

本課題で開発を目指す先端的な火山観測技術を効率的に推進するため、本課題の分担責任者会議を開催した。そこで、各サブプロジェクトの進行状況に関する情報交換と協力体制の構築を行った。また、課題責任者及び分担責任者が中心となって成果報告書をまとめた。

b) サブテーマ1「新たな技術を活用した火山観測の高度化」の推進

本サブテーマの代表機関、協力機関が参加する「新たな技術を活用した火山観測の高度化検討会」を開催し、具体的な実施内容を検討した。各種ツールの開発状況についての情報交換も行った。

4) ミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動

a) ミュオグラフィの正しい理解展。大型商業施設、博物館等で展示を行い、ミュオグラフィの理解を普及啓発した。

b) 公開講演会。一般向け公開講演会を実施した。

c) アウトリーチ専門員によるミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動を実施した。

(b) 業務の実施方法

1) ミュオグラフィ技術の高度化に関わる研究開発

a) 新たな技術を活用した火山観測の高度化に関わる技術開発

天井クレーン設備付き高耐床荷重実験室の床面積を拡大することで、従来システムと比して有感面積を拡大した、桜島観測に即適用可能かつより高効率な軽量、高解像度火山透過システムの開発へとつなげる。ハンガリー科学アカデミーウィグナー物理学研究センター出身の比例計数管のエキスパートを引き続き採用する。

b) 技術検討会の実施

本事業の他の課題及び本委託業務のサブテーマと連携した、軽量、高解像度火山透過システム技術検討会を実施する。

2) ミュオグラフィ観測のデータ処理の自動化に関わる研究開発

a) ミュオグラフィ観測のデータ処理の自動化に関わる研究開発

高速大容量サーバを引き続き賃借する。システムをレンタルサーバ上に実装する。ミュオグラフィデータファイルを修復し、レンタルサーバ上に実装する。得られた観測データが火山のどのような性質を示し、火山噴火予測にどう役立つかの検討を目的とした火山学の各分野の研究者との連携を可能とするように、公開する観測データセットの吟味を行い、他の観測量との比較を行う。桜島の2017年8月や11月の顕著な噴火イベントで、実際にどのように観測されたか、解析を試みる。桜島以外の火山におけるミュオグラフィ観測の可能性についてシミュレーションベースで検討を行う。

b) 技術検討会の実施

本サブテーマの代表機関、協力機関が参加する「新たな技術を活用した火山観測の高度化検討会」を開催する。

3) 次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの統合推進

a) 課題B「先端的な火山観測技術の開発」の包括的な推進

本課題で開発を目指す先端的な火山観測技術を効率的に推進するための、本課題の分担責任者会議を開催する。

b) サブテーマ1「新たな技術を活用した火山観測の高度化」の推進

本課題で開発を目指す先端的な火山観測技術を効率的に推進するため、本課題の分担責任者会議を開催する。

4) ミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動

a) ミュオグラフィの正しい理解展。グランフロント大阪、多摩美術大学美術館にて展示を実施する。そのための3DCGモデルデータ、パノラマ画像、ミュオンパーティクルなどのエフェクトを制作する。火山体をデジタル化してミュオグラフィの理解の普及啓発に用いる。

b) 公開講演会。多摩美術大学美術館、関西大学博物館にて一般向け公開講演会を実施する。

c) ミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動。テレコムセンターにてアウトリーチ専門員によるミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動を実施する。

(c) 業務の成果

1) ミュオグラフィ技術の高度化に関わる研究開発

令和 2 年度のミュオグラフィ観測システム (MOS) への実装を目指して超軽量高解像度ミュオン検出器の開発を継続し、火山透過システムの完成形に近づけた。図 1 に示すように開発した実機を桜島へ投入することで高解像度火山透過システムの実地観測試験を行った。



図 1. 桜島に実装された超軽量高解像度ミュオグラフィ火山観測システム。インセットは観測所外観。

システムには、2cm の鉛板と厚み 2mm のステンレス複数枚から成る放射線遮蔽体が実装され、低ノイズでの観測が可能となるよう設計されている。最高 2.7mrad の超高角度分解能（1 km 先で 2.7m の空間分解能）が達成可能であることが確認されている。

システムは図 2 に示されるデータ取得ネットワークシステムからインターネットへと接続され、ミュオグラフィデータは東京をハブとして東京並びにブダペストの 2 か国のデータストレージに独立に保存され、データプロテクションのレベルを向上させている。

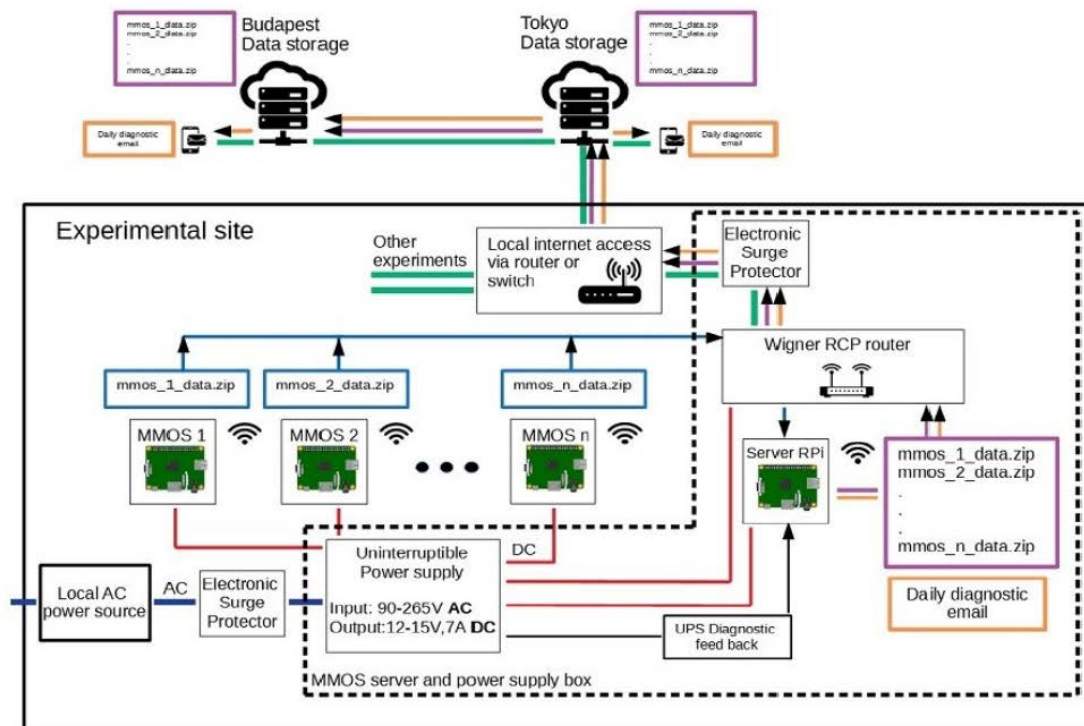


図 2. 桜島におけるミュオグラフィ観測所内で構築されているデータ取得ネットワークシステム。ネットワーク環境への雷サージの影響を回避するためにすべての超軽量高解像度ミュオグラフィ火山観測システムはデータ取得ネットワークシステムと WiFi を介して接続されている。

一方、図 3 に示されるように小型の比例計数管（高密度多線比例計数管）を新たにデザインすることにより、軽量、高解像度火山透過システムの解像度の限界を調査した。採用されたワイヤピッチは従来検出器の半分である。

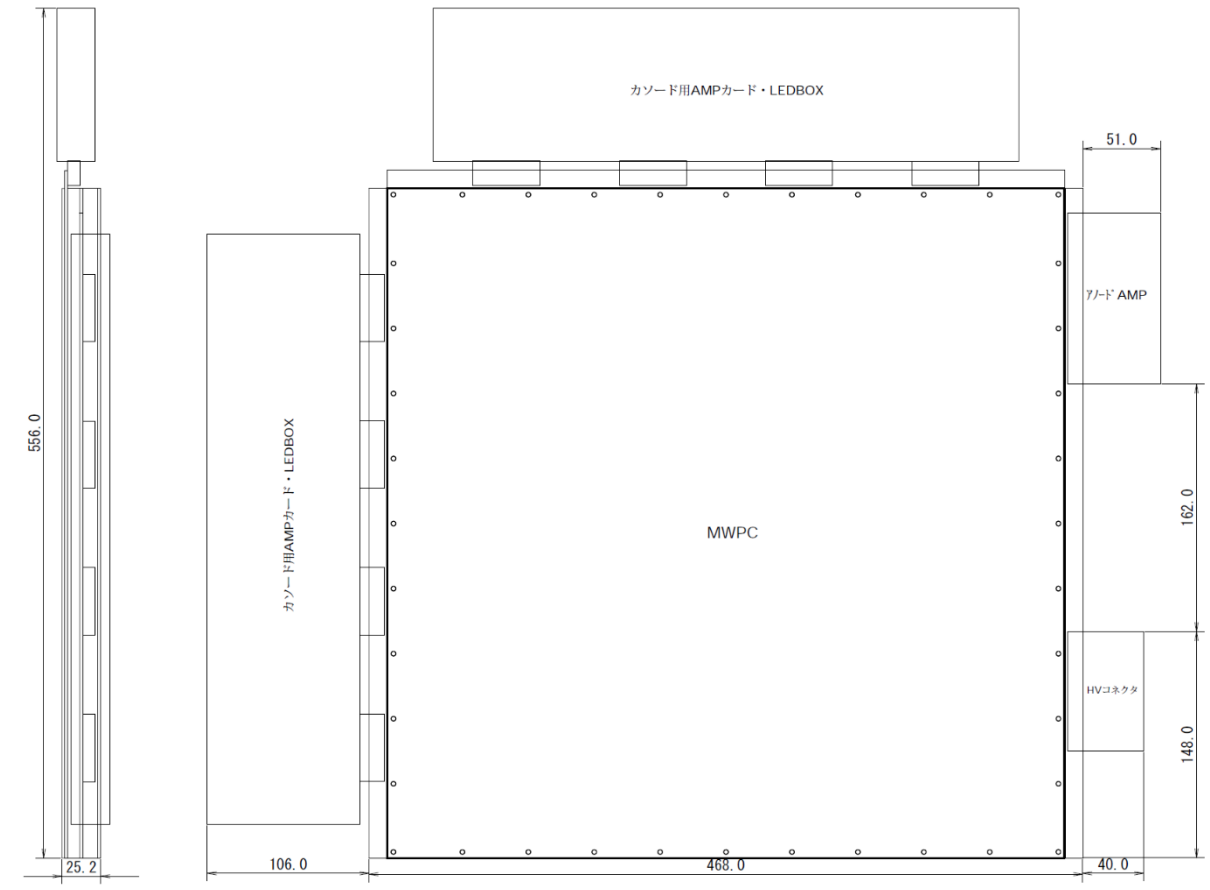


図 3. 新たにデザインされた小型の比例計数管の図面。

高密度多線比例計数管で構成された軽量、高解像度火山透過システムの飛跡を検出した際の実験セットアップを図 4 に示す。図中、青色に発光している部分は検出器からの信号出力を視覚的に示すための青色発光ダイオードであり、検出器の X 方向並びに Y 方向に配してある。ミュオンが検出器に入射すれば、直線状の飛跡が X 方向、Y 方向両方に光の帯として確認される。図中の赤矢印は実験により確認されたミュオグラフィの飛跡を示しており、これにより従来観測システムのさらに倍の解像度が達成できることが検証された。

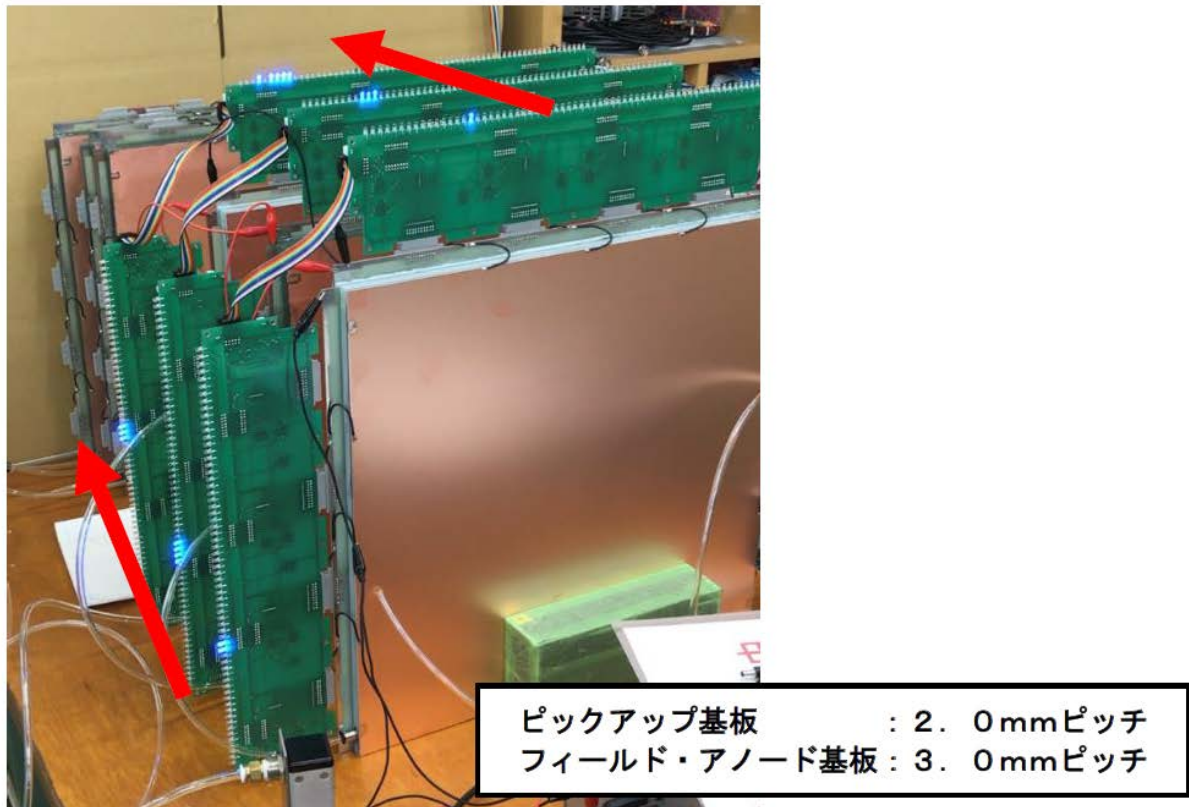


図 4. 高密度多線比例計数管で構成された軽量、高解像度火山透過システムの飛跡を検出した際の実験セットアップ。

2) ミュオグラフィ観測のデータ処理の自動化に関わる研究開発

ミュオグラフィデータの連結プロセス（ミュオン飛跡のトラッキング）を自動化し、表示するシステムをレンタルサーバ上に実装した（図 5）。

- [Dashboard](#)
- [Experiments](#)
- [Muogram Generator](#)
- [Muogram Library](#)
- [Density](#)
- [Search](#)

Supported by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan (MEXT) Integrated Program for the Next Generation Volcano Research and Human Resource Development.

Muogram Generator ?

Experiment

From

To

TimeZone: Asia/Tokyo

図 5. レンタルサーバ上に実装されたミュオグラフィデータの連結プロセス。連結する開始日時、終了日時をユーザーが選択できる。

また、28年度以前に取得され、かつ整合性が取れないミュオグラフィデータファイルをレンタルサーバ上に実装した（図6）。これにより、28年度以前に取得されたデータから現在のデータに至るまでの、桜島浅部の投影情報全てがWEB上で可視化表示可能となった。

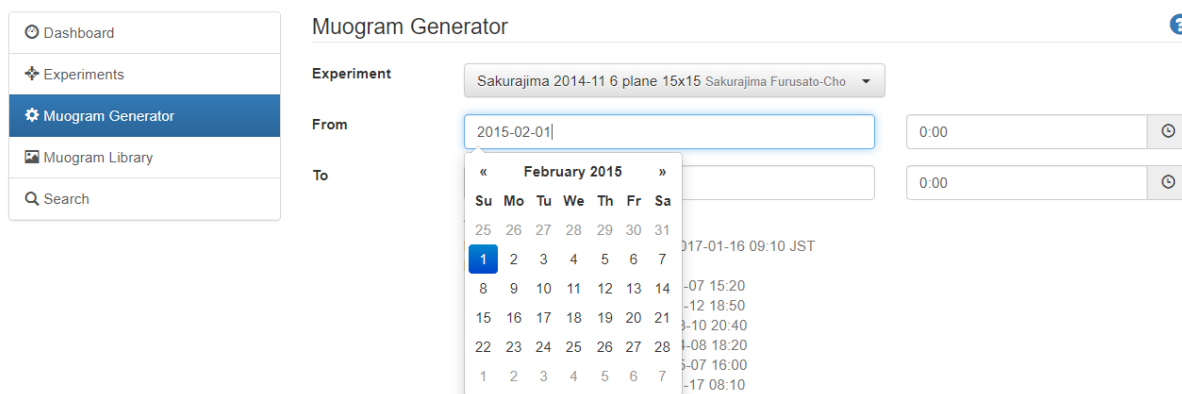


図6. レンタルサーバ上に実装されたミュオグラフィデータの連結プロセス。28年度以前に取得されたデータにもアクセス可能となった。ただし、使用しているシステムは異なる。

29年度に試作したWEBベースリアルタイム解析環境をレンタルサーバ上に実装した。これによりミュオグラフィ観測開始時点から現時点までのデータにおいて、ユーザーが特定の方向領域を指定することで、その領域から到来するミュオン数の確認、そしてその時系列変化を確認することができるようになり、バーチャル・プライベート・ネットワークを介して、リアルタイムにシステムにアクセスできる環境の構築、桜島でプロトタイプ観測の実施を行った（図7）。

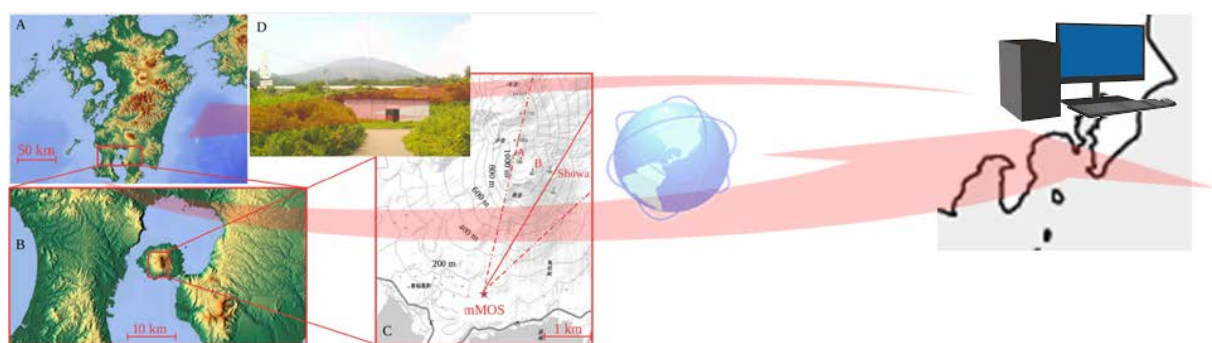


図7. レンタルサーバ上に実装されたWEBベースリアルタイム解析環境の概念図。

更に高画素データに対応するミュオグラフィデータの解析を自動化し、表示するシステムとしてWEBベースリアルタイム解析環境をサーバ上に実装した（図8）。

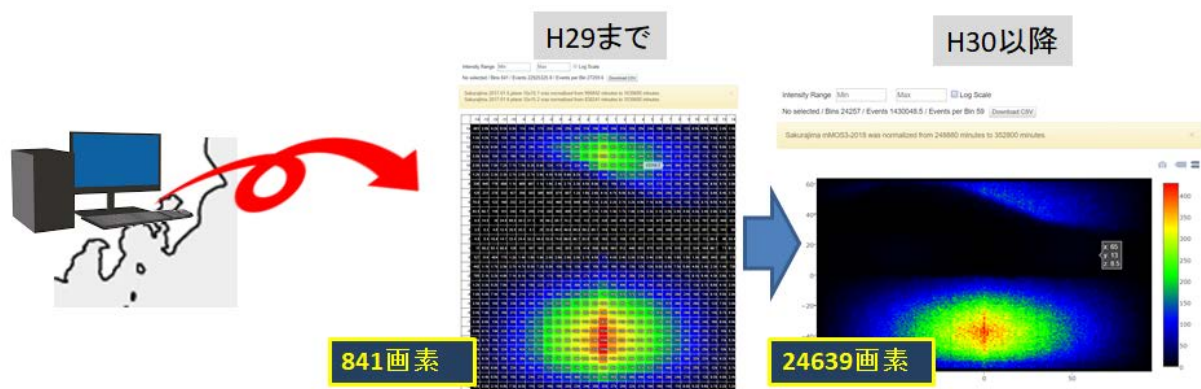


図 8. 高画素対応化により可能となった、火山透視高精細画像の自動処理及び表示。

得られた観測データが火山のどのような性質を示し、火山噴火予測にどう役立つかの検討を目的とした火山学の各分野の研究者との連携を可能とするように、公開する観測データセットの吟味を行い、合成開口レーダー以外の観測量との比較も行った。その結果、合成開口レーダーでは影となって見えない部分に密度変化が生じたことがわかった（図 9）。また密度変化をした領域は幅 75m、高さ 25m 程度のサイズであり、経路に沿った平均密度の変化が $0.2\text{g}/\text{cm}^3$ 程度であることから、その領域に 2017 年から 2018 年にかけて 50 万トン程度の質量増加があった計算となる。昭和火口爆発回数と南岳爆発回数の日推移を比較すると 2017 年以前は昭和火口で噴火が起きていたが、2018 年以降は南岳で噴火が起きていることがわかる（図 9）。したがって、この質量増加量は 2017 年から 2018 年にかけての昭和火口から南岳への活動推移に対応していると考えられる。また、昭和火口における噴火の終焉に伴う、マグマ流路のプラグインの可能性も示唆された。これが活動の実況を反映しているのか、切迫性評価を示す材料になるかについては、火山学の各分野の研究者とさらに連携して検討していく。

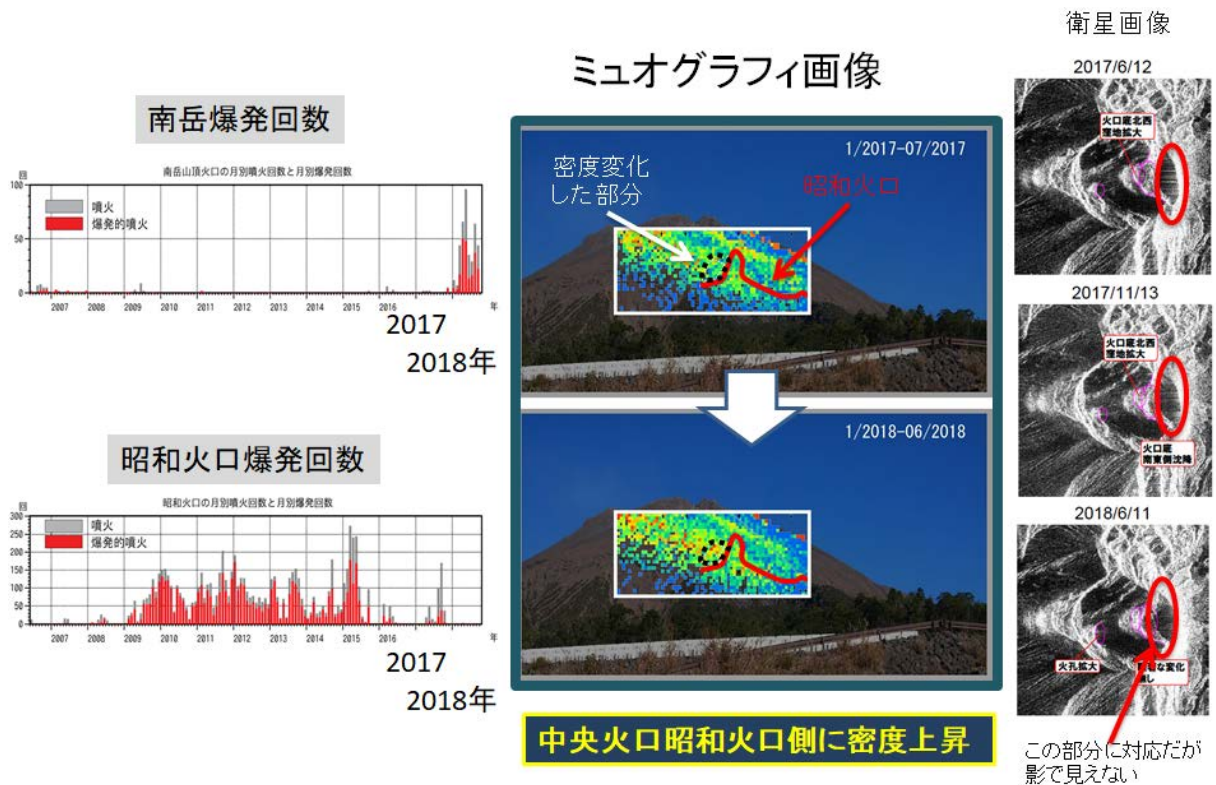


図 9. ミュオグラフィ画像、2017 年から 2018 年にかけての昭和火口から南岳への活動推移、衛星画像の比較。

桜島の 2017 年 8 月や 11 月の顕著な噴火イベントで、実際にどのように観測されたか、解析を試みたが、その間の観測データは欠損していることがわかり、観測システムの更なる安定化が検討された。桜島以外の火山におけるミュオグラフィ観測の可能性については引き続き検討を行った。

3) 次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの統合推進

本課題で開発を目指す先端的な火山観測技術を効率的に推進するための、2018 年 1 月 10 日に開催された本課題の分担責任者会議において、各課題、サブテーマの連携方策、各サブテーマの成果についての情報交換をスライドやフォローアップ資料等を持ちより行った。上記に示すようなミュオグラフィ観測により得られた観測データが火山のどのような性質を示し、火山噴火予測にどう役立つかの検討を行った。

4) ミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動

a) ミュオグラフィの正しい理解展。多摩美術大学美術館（2018年5月）、グランフロント大阪（2018年7月）、関西大学博物館（2018年12月-2019年1月）にて展示を実施した。多摩美術大学美術館ではデジタルモデリングした3次元火山幾何学データをベースに3Dプリンターで火山の立体模型を製作し、そこにミュオグラフィ映像を投影した。火山内部活動に同期した映像が、大地に降り注ぐミュオンのイメージ映像で囲まれる仕組みをつくり、ミュオグラ

フィの定点計測によって得られた、火山のマグマの活動のデータをわかりやすく示した。グランフロント大阪では、ミュオグラフィの測定結果の画像とCGのモデリングソフトによるデータ作成を行い、さらにVR（人工現実感）やAR（拡張現実感）技術を用い、開発した表示システムをヘッドマウントディスプレイを用いた体験型シミュレータへと展開することでミュオグラフィと得られた火山内部の透視画像に関する理解の普及啓発に用いた（図10）。関西大学博物館での展示は、多摩美術大学美術館で実施した内容を関西で実施したものである。



図10. 火山体をデジタル化した3DCGモデルデータ、パノラマ画像、ミュオンパーティクルをミュオグラフィ画像に組み合わせたシミュレータ。

- b) 公開講演会。a)の展示に合わせて、多摩美術大学美術館で2018年5月20日及び5月26日、関西大学博物館にて2018年12月08日一般向け公開講演会を実施した。
- c) ミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動。テレコムセンターにて、ミュオグラフィの原理や装置を記したポスター、大地に降り注ぐミュオンのイメージ映像を拡張現実化するゴーグル、火山内部をミュオンが透過する様子を再現した3次元模型などを駆使することによりアウトリーチ専門員が訪れた来場者に対してミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動を実施した（図11）。

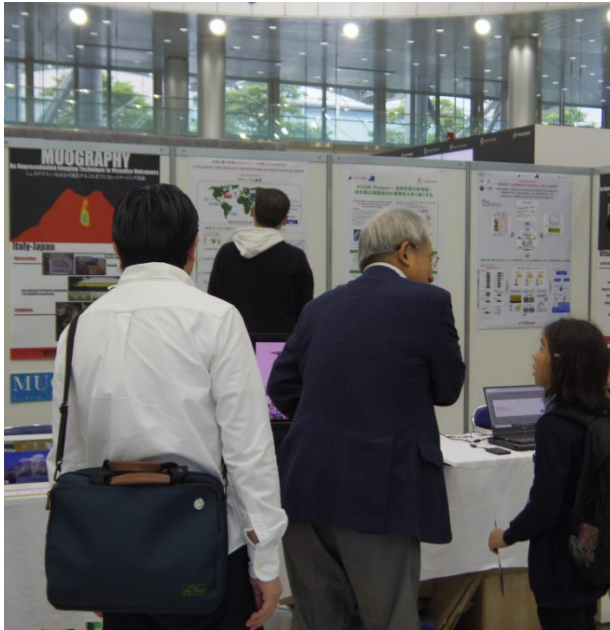


図 11. テレコムセンターにて実施されたアウトリーチ専門員によるミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動。

(d) 結論ならびに今後の課題

超軽量高解像度ミュオン検出器の開発を継続し、火山透過システムの完成形に近づけた。この超軽量高解像度ミュオグラフィ観測システムにより生成されるデータをミュオグラフィ観測のデータ処理の自動化に関わる研究開発へとつなぐことで、桜島透過像を従来の 841 画素から 24639 画素へと大きく飛躍させる高解像火山透過システムが構築された。その結果、半年という時間分解能ではあるが、中央火口近傍において 2017 年から 2018 年にかけての昭和火口から南岳への活動推移に対応した密度変化の検出に成功した。この分解能を今後さらに向上させていくことにより、より他の観測結果との比較検討が容易になる。大口径化や機械学習を利用した高時間分解能観測の実現が今後の課題である。

(e) 引用文献

1) Oláh, L., Tanaka, H.K.M., Ohminato, T., Varga, D.: High-definition and low-noise muography of the Sakurajima volcano with gaseous tracking detectors, Scientific Reports, Vol 8, No. 3207, 1-13, 2018.

2) László Oláh, Hiroyuki K. M. Tanaka, Gergő Hamar and Dezső Varga, Investigation of the limits of high-definition muography for observation of Mt Sakurajima, Phil. Trans. R. Soc. A 377: 20180135, 2018.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
László Oláh, Hiroyuki K. M. Tanaka, Gergő Hamar and Dezső Varga	Investigation of the limits of high-definition muography for observation of Mt Sakurajima	Phil. Trans. R. Soc.	2018年11月 1日

(g) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

名称	機能
なし	

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 令和元年度業務計画案

(a) ミュオグラフィ技術の高度化に関わる研究開発

1) 新たな技術を活用した火山観測の高度化に関わる技術開発

2019年度は2018年度に開発が完了した超軽量高解像度ミュオン検出器をミュオグラフィ観測システム(MOS)へ実装する。そのために天井クレーン設備付き高耐床荷重実験室を引き続き借用する。2018年度までに実地観測試験を完了した高解像度火山透過システムを桜島ミュオグラフィ観測所において、並列的に展開することで、従来システムと比して有感面積を拡大した観測を実現する。有感面積を拡大することで、データの時間分解能が向上する。ハンガリー科学アカデミーウィグナー物理学研究センター出身の比例計数管のエキスパートを2019年度も引き続き採用する。その一方で、小規模の観測装置で測定可能な火山を検討する。

2) 技術検討会の実施

本事業の他の課題及び本委託業務のサブテーマと連携した、軽量、高解像度火山透過システム技術検討会を実施する。

(b) ミュオグラフィ観測のデータ処理の自動化に関わる研究開発

1) ミュオグラフィ観測のデータ処理の自動化に関わる研究開発

2019年度は、2018年度までに構築したインタラクティブデータ集計ソフトウェアで得られる行列情報を自動的に画像化する業務を実施する。そのためにインタラクティブデータ集計ソフトウェアの出力結果から自動で画像を生成し、データベースに順次格納していくソフトウェアの開発を行う。ウェブサイトには画像の検索機能も実装する。そして、超軽量高解像度ミュオン検出器を用いて得られる高精細ミュオグラフィデータの自動処理から1日1枚の高精細火山密度マッピングの提供を開始する。また、並行してミュオグラフィ画像集計アプリケーションの提供を開始する。そのために、2019年度も高速大容量サーバを引き続き賃借する。得られた観測データが火山のどのような性質を示し、火山噴火予測にどう役立つかの検討を目的とした火山学の各分野の研究者との連携を可能とするように、公開する観測データセットの吟味を行う。合成開口レーダーやそれ以外の火山観測結果との比較を行う。

2) 技術検討会の実施

本事業の他の課題及び本委託業務のサブテーマと連携した、軽量、高解像度火山透過システム技術検討会を実施する。

(c) 本委託事業の推進

1) サブテーマ1「新たな技術を活用した火山観測の高度化」の推進

本サブテーマの代表機関、協力機関が参加する「新たな技術を活用した火山観測の高度化検討会」を開催し、具体的な実施内容を検討する。各種ツールの開発状況について

の情報交換も行う。

2) ミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動

a) 展示事業

ミュオグラフィの正しい理解展。大型商業施設、博物館等で展示を行う。そのために桜島を対象とした3DCGモデルデータ、パノラマ画像、ミュオンパーティクルなどのエフェクトを制作する。桜島並びに軽量、高解像度火山透過システムをデジタルモデリングしてミュオグラフィの理解の普及啓発に用いる。大阪市立科学館でミュオグラフィ観測装置に拡張現実を付加したシステムを導入することにより、ミュオグラフィの理解の普及啓発に用いる。そのために無線ルータ、データサーバを借用する。

b) 講演事業

公開講演会。一般向け公開講演会を実施する。

c) ミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動

ミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動。アウトリーチ専門員に外部委託することにより、ミュオグラフィの正しい理解の社会への普及活動を実施する。WEB等を活用した一般への情報発信や普及啓発に努める。

