

# 課題B：先端的な火山観測技術の開発

## 平成28年度成果・平成29年度計画概要

課題B 事業責任者

東京大学地震研究所 森田裕一



# 次世代火山研究・人材育成 総合プロジェクト

Integrated Program for Next Generation Volcano Research and Human Resource Development

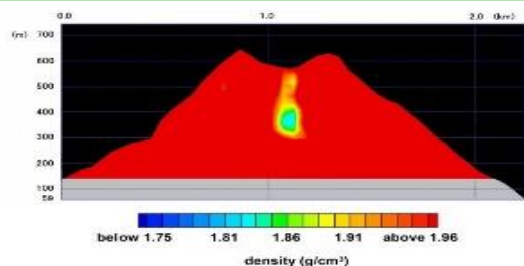
新たな観測情報・技術

課題D：火山災害対策技術の開発

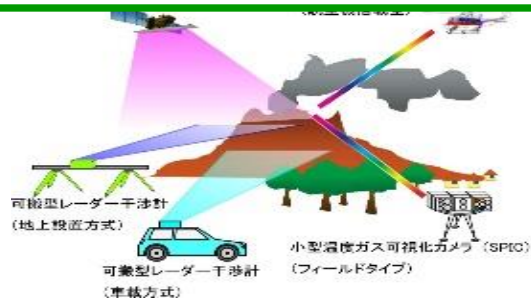
課題C：火山噴火の予測技術の開発

## 課題B：先端的な火山観測技術の開発

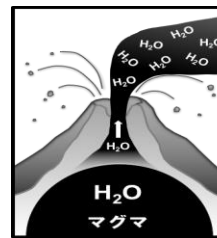
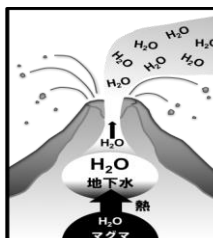
### ①新たな技術を活用した火山観測の高度化



### ②リモートセンシングを利用した火山観測技術の開発

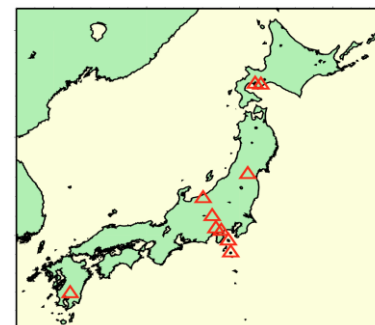
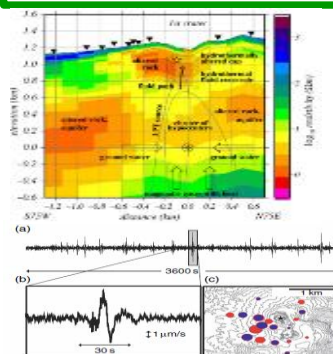


### ③地球化学的観測技術の開発



45 cm x 23 cm x 64 cm, 36 kg

### ④火山内部構造・内部状態把握技術の開発



各種観測データ

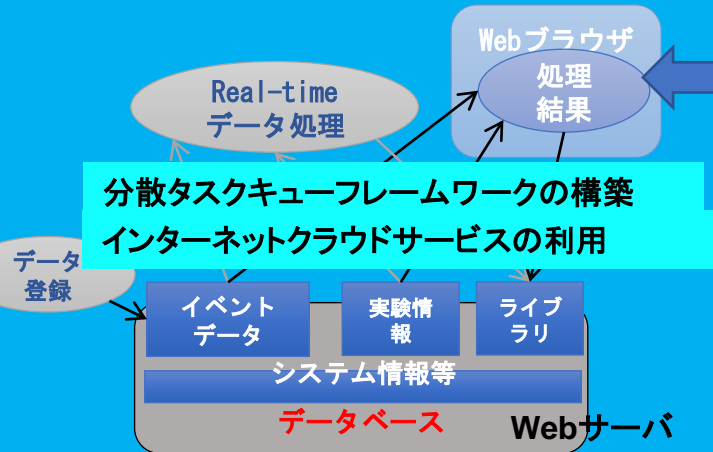
課題A:各種観測データの一元化

# サブテーマ1 新たな技術を活用した火山観測の高度化 平成28年度成果

28年度目標①: データを観測点から高速かつ安定的に自動転送するシステムの構築



桜島ミュオグラフィ  
観測点



インターネットを介した  
データ閲覧システム  
の構築に成功

リアルタイムミュオグラフィデータ処理システムの製作

28年度目標②: 軽量高解像度ミュオン検出器の試作

## Multi Wire Proportional Chamber

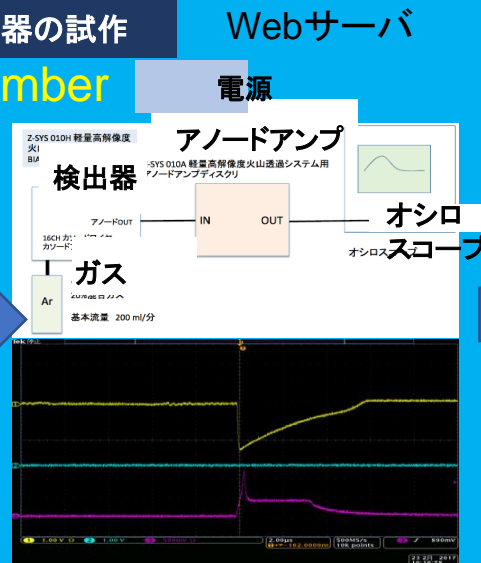
プリアンプにデータ読み出し用  
シリアル入出力ポートの実装

3KVの高電圧電源の製作

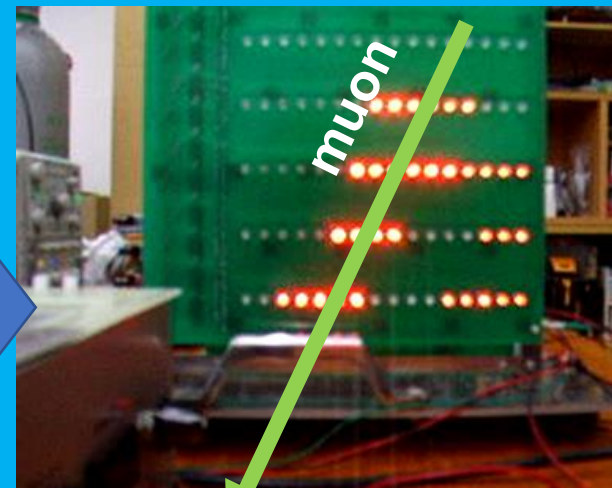
データ収集開始トリガを発生する  
ためアノード用プリアンプの製作

シールドカバー付きプリアンプ基  
板の製作

ガス増幅タイプの検出器製作



性能試験

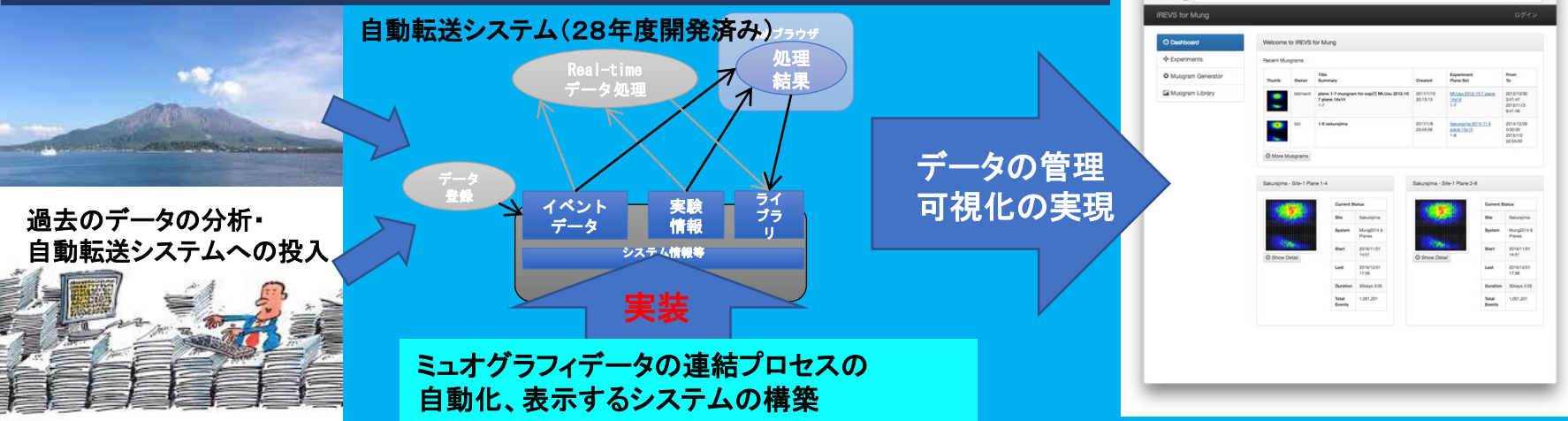


ミュオンの飛跡検出に成功

高解像度ミュオグラフィ観測システムの製作

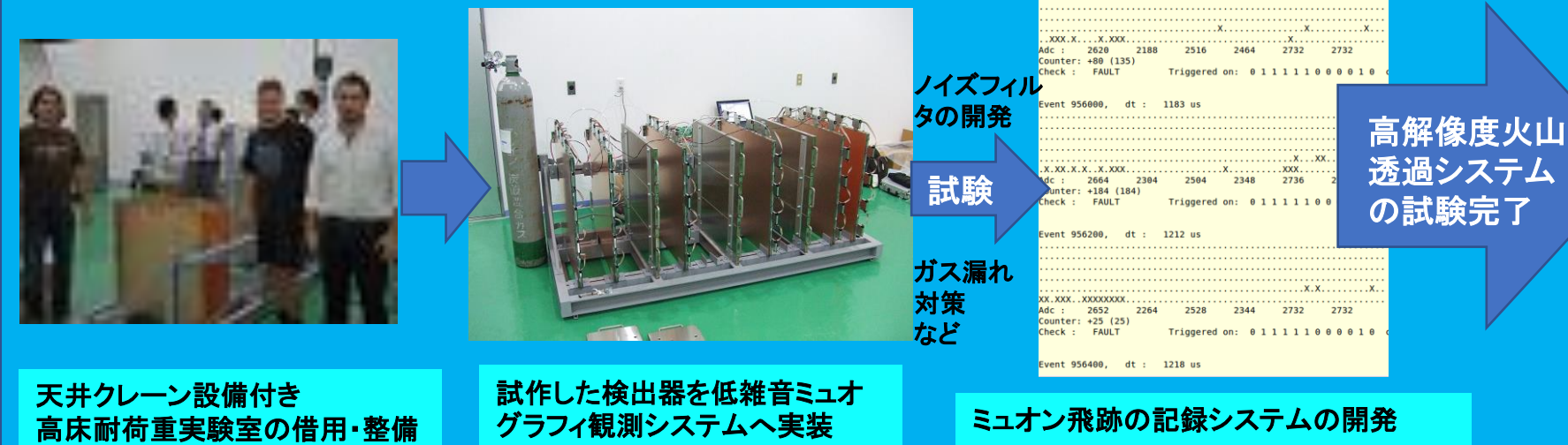
# サブテーマ1 新たな技術を活用した火山観測の高度化 平成29年度の計画

## 29年度目標①:ミュオグラフィデータの連結プロセスを自動化し、表示するシステムの構築



## リアルタイムミュオグラフィデータ処理システムの製作

## 29年度目標②:試作した軽量、高解像度火山透過システムの試験



## 高解像度ミュオグラフィ観測システムの製作

# サブテーマ2: リモートセンシングを利用した火山観測技術の開発

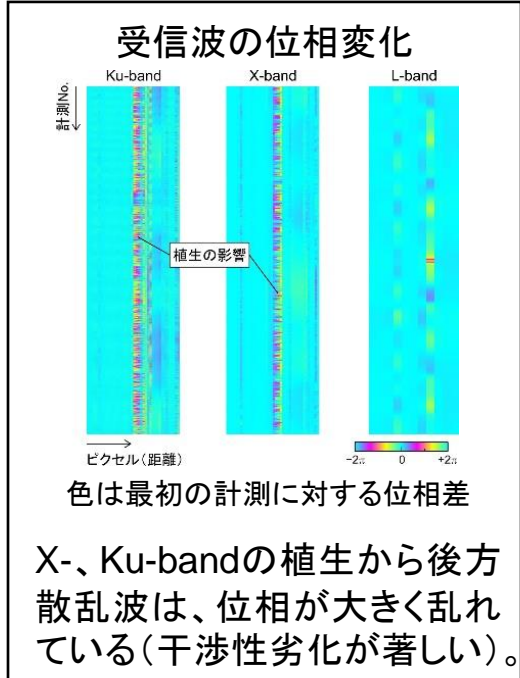
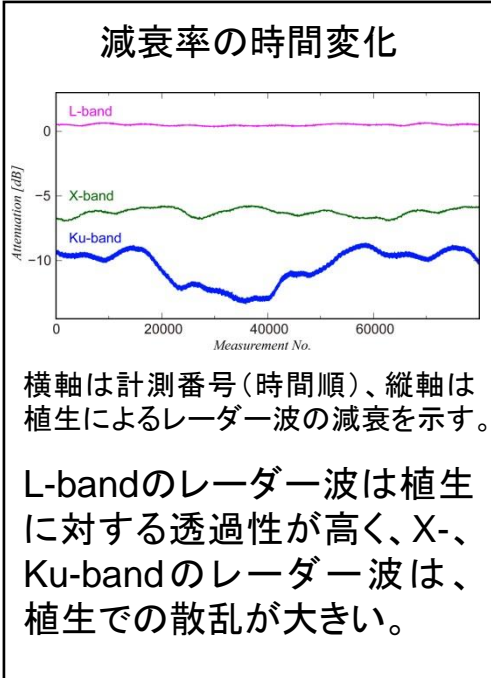
## サブテーマ2-1: 可搬型レーダー干渉計と衛星搭載型合成開口レーダーによる精密地殻変動観測技術の開発

平成28年度成果

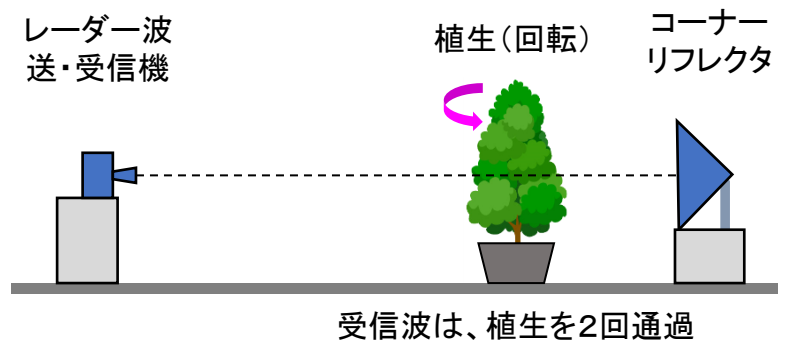
### a. 可搬型レーダー干渉計による火山性地殻変動検出に関する技術開発

植生域でも地殻変動を精度良く計測可能な可搬型レーダー干渉計を開発するためには、植生に対する透過性が高いレーダー波を使用する必要がある。一方、植生に対する透過性が高い長波長のレーダー波を用いると、原理的に大きなアンテナが必要であり、可搬性が劣化する。

⇒ どの周波数帯のレーダー波が適切か？



Ku-、X-、L-bandレーダー波の植生透過性を計測



### b. 衛星SAR解析による火山性地殻変動データベースに関する技術開発

本課題においては、東京大学地震研究所を中心として活動しているSAR研究コミュニティ(PIXEL)と連携して、標準的解析手法に関する検討や衛星SAR解析を進める。



PIXELで衛星SARデータを共有するためのデータサーバー(実行容量850TByte)を東京大学地震研究所のサーバー室に設置した。



SARデータ共有サーバー

(結論) L-bandのレーダー波を用いたレーダー干渉計は可搬性が劣るといふ不利を考慮しても、植生域においても地殻変動を精度良く計測するためには、L-bandのレーダー波を用いることが不可欠である。

# サブテーマ2: リモートセンシングを利用した火山観測技術の開発

## サブテーマ2-1: 可搬型レーダー干渉計と衛星搭載型合成開口レーダーによる精密地殻変動観測技術の開発

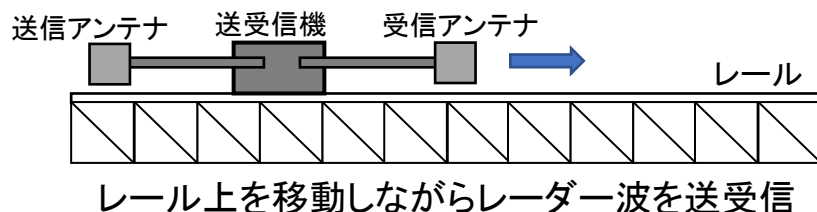
### 平成29年度計画

#### a. 可搬型レーダー干渉計による火山性地殻変動検出に関する技術開発

##### 可搬型レーダー干渉計実験機の作製

H28年度の計測実験の結果に基づき、本課題で開発する可搬型レーダー干渉計はL-bandのレーダー波を採用することとした。H29年度においては、H30年度から開始する実験に向けた、**L-bandの可搬型レーダー干渉計の実験機(地上設置方式)**を作製する。

##### 作製予定の実験機の概要図



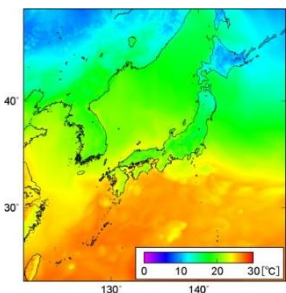
#### b. 衛星SAR解析による火山性地殻変動データベースに関する技術開発

衛星SARによる地殻変動データベース作成のための標準的解析手法における大気遅延誤差軽減手法に関する検討

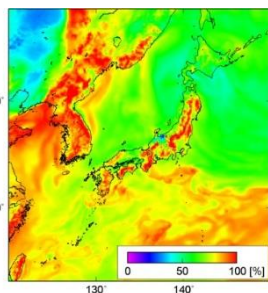
衛星SARを用いた干渉解析による地殻変動検出においては、大気によるレーダー波の伝搬速度の変化が、大きな誤差要因の一つである(大気遅延誤差)。H29年度においては、数値気象モデルの解析値を用いて大気遅延誤差を軽減する手法に注目し、最新の数値気象モデルを用いることによる精度向上を図ると共に、ルーチ的にデータベース作成における解析(標準的解析手法)に組み込む方法について検討を進める。

##### 数値気象モデルの解析値

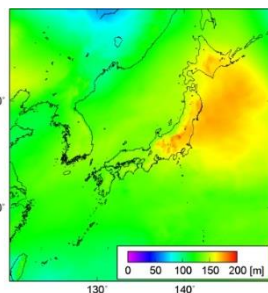
気温



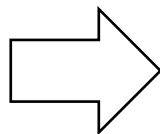
湿度



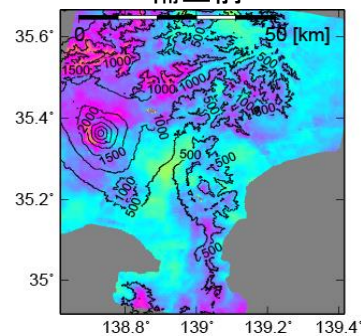
気圧面高度



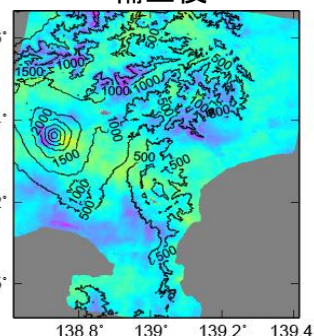
大気遅延量の推定



補正前



補正後



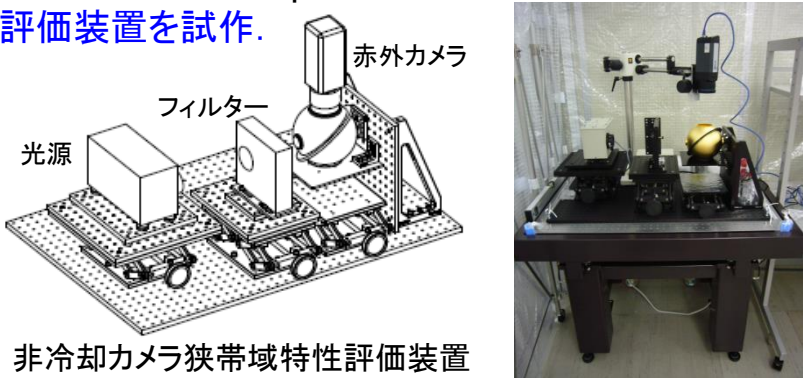
最新の気象モデル(気象庁局地モデル(LFM)など)の利用、標準解析手法への組み込み

サブテーマ2: リモートセンシングを利用した火山観測技術の開発  
サブテーマ2-2: 火山表面現象遠隔観測技術の開発(分光スペクトル画像計測)  
平成28年度成果

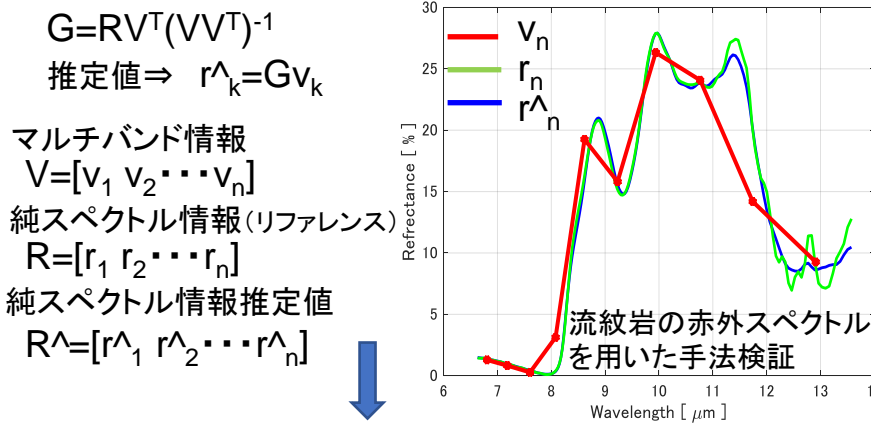
a. SPIC-UC, SH, SPIC-SSの開発

(SPIC:小型温度ガス可視化カメラ(-UC:非冷却赤外型, -SS:推定型), ISH:画像分光前置光学系)

- ・非冷却型カメラ(8-14μm型)狭帯域波長感度特性検証  
⇒評価装置を試作。

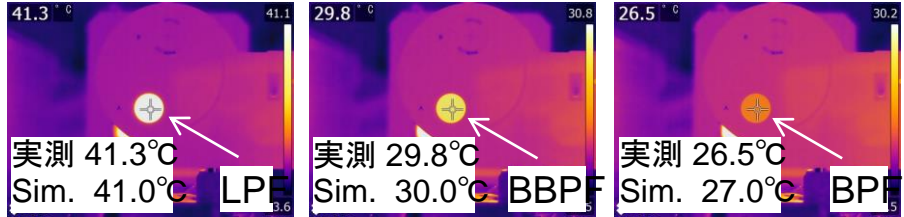


- ・SfM(マルチベースラインステレオ)用ソフト, カメラ制御ソフトの導入, スペクトル多変量解析処理手法の検討  
⇒マルチバンド情報  $v$  から純スペクトル情報  $r$  を推定(計算)する重回帰分析手法を検討(SPIC-SS).



(結論)マルチバンド情報(10バンド)から純スペクトル(200バンド)を推定可能. 純スペクトルデータ量が推定精度向上に重要.

- ・評価装置での50℃黒体の輝度温度実測とシミュレーション  
⇒ISHの候補の干渉フィルター(3種)と非冷却赤外カメラを評価

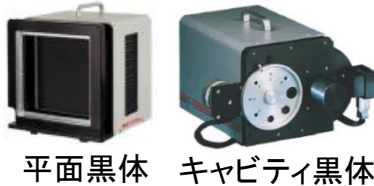


3種の干渉フィルタ(LPFP:9000nm-, BBPF: 8000-9200nm, BPF:8370-8920nm)の実測結果とシミュレーション(Sim)

(結論)背景50℃以上で, BPF:8370~8920nmのエネルギー計測が十分可能. SO<sub>2</sub>ガス吸収特性(8650±300nm)の計測可能性有.

b. 較正装置整備

- ・研究開発の基盤となるカメラ開発用較正装置の整備  
⇒平面黒体、キャビティ黒体、クリーンブース、除振台を導入.



c. スペクトル推定用データベース構築のためのデータ取得装置整備

- ・SPIC-SSで使用するスペクトル推定用データベース構築用データ取得装置の整備  
⇒紫外可視近赤外分光装置、顕微紫外可視近赤外分光装置、精密切断機、攪拌撹潰機を導入.



顕微紫外可視近赤外分光装置

# サブテーマ2: リモートセンシングを利用した火山観測技術の開発

## サブテーマ2-2: 火山表面現象遠隔観測技術の開発(分光スペクトル画像計測)

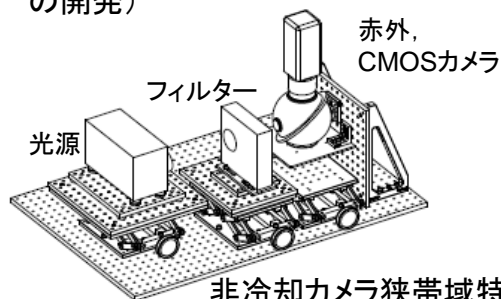
### 平成29年度計画

#### a. SPIC-UC, SPIC-C, ISH, SPIC-SSの開発

(SPIC:小型温度ガス可視化カメラ(-UC:非冷却赤外型, -C:冷却型, -SS:推定型), ISH:画像分光前置光学系)

- ・非冷却型カメラ(8-14 $\mu$ m型)狭帯域波長感度特性検証, 冷却型赤外カメラセンサーヘッド部構築  
⇒画像分光用前置光学系ブレッドボードモデル(非冷却型赤外FPA+フィルター分光). MWIR波長域冷却型カメラ導入
- ・スペクトル・構造推定カメラ(SPIC-SS)整備(カメラセンサーヘッド整備)  
⇒カメラセンサーヘッド+分光フィルター導入. スペクトル推定手法, ストラクチャ推定手法を検討.

画像分光用前置光学系ブレッドボードモデル(非冷却型赤外FPA, CMOS FPA+フィルター分光)構築(SPIC-UC, SPIC-SS, ISHの開発)



非冷却カメラ狭帯域特性評価装置(H28年導入)を活用

電動フィルターを導入



MWIR波長域(3-5 $\mu$ m)冷却型カメラ導入(SPIC-Cの開発)



導入候補のMWIR波長域冷却型カメラ(InSb or MCT素子)

#### b. スペクトル推定用データベース構築(データ取得装置整備、スペクトル計測)

- ・SPIC-SSで使用するスペクトル推定用データベース構築用データ取得装置の整備  
⇒スペクトルデータベースを取得するための画像分光装置の導入と岩石スペクトル計測を実施.



導入候補の画像分光装置(室内用, フィールド用)



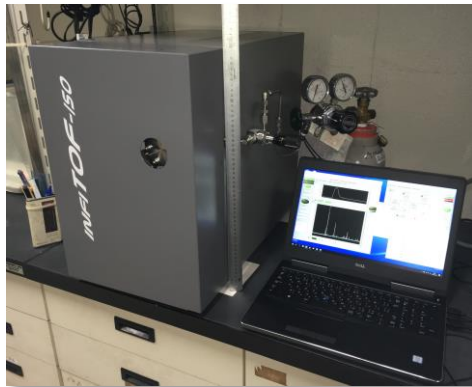
H28年導入の装置(紫外可視近赤外, 顕微紫外可視近赤外分光装置等)を活用しスペクトル計測を実施

# サブテーマ3: 地球化学的観測技術の開発

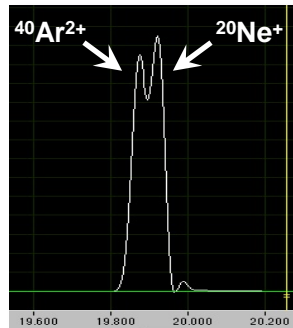
## 平成28年度成果 と 平成29年度計画

- ① マグマ起源ヘリウム測定用自動精製・分離ラインの開発
- ② 可搬型質量分析計を用いたマグマ起源ヘリウム検出の検討
- ③ 水蒸気の高感度同位体比分析システムの構築
- ④ 航空機等搭載用の自動噴煙試料採取装置の設計
- ⑤ 底層水の採取・分析法の検討@琵琶湖
- ⑥ 平穩時のヘリウム・炭素同位体比データの蓄積  
@伊豆大島、草津白根山、霧島山硫黄山、霧島山新燃岳、那須岳
- ⑦ 定期的な噴気の採取と、化学組成と多成分同位体比の連続測定@箱根山

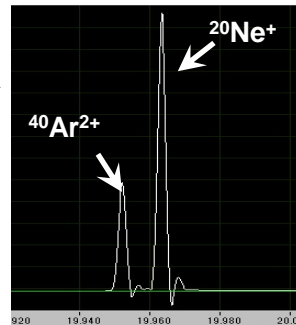
飛行時間型質量分析計  
“*infITOF*”  
36 × 63 × 54 cm, 48 kg



従来の可搬型装置  
 $^{20}\text{Ne}^+$ と $^{40}\text{Ar}^{2+}$ を  
区別できない

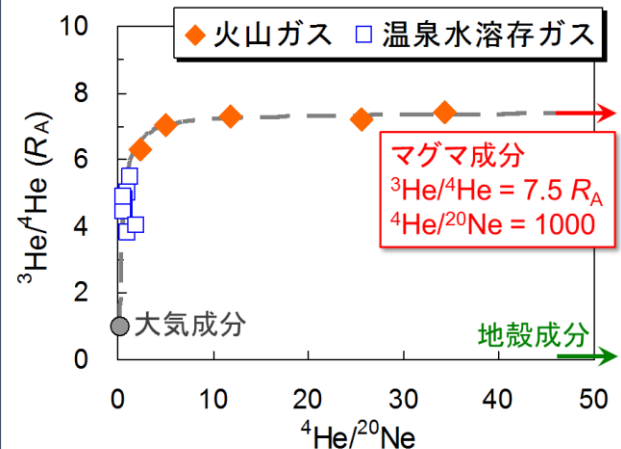


高分解能モード  
 $^{20}\text{Ne}^+$ と $^{40}\text{Ar}^{2+}$ を  
完全に分離  
⇒ 前処理なしで  
 $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ を  
測定可



$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ を指標に、マグマ  
起源ヘリウムを検出可能

草津白根山の例: マグマ成分は  
高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ と高い $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ が特徴



( $^3\text{He}/^4\text{He}$ の単位  $R_A = 1.4 \times 10^{-6}$ )

今後の課題

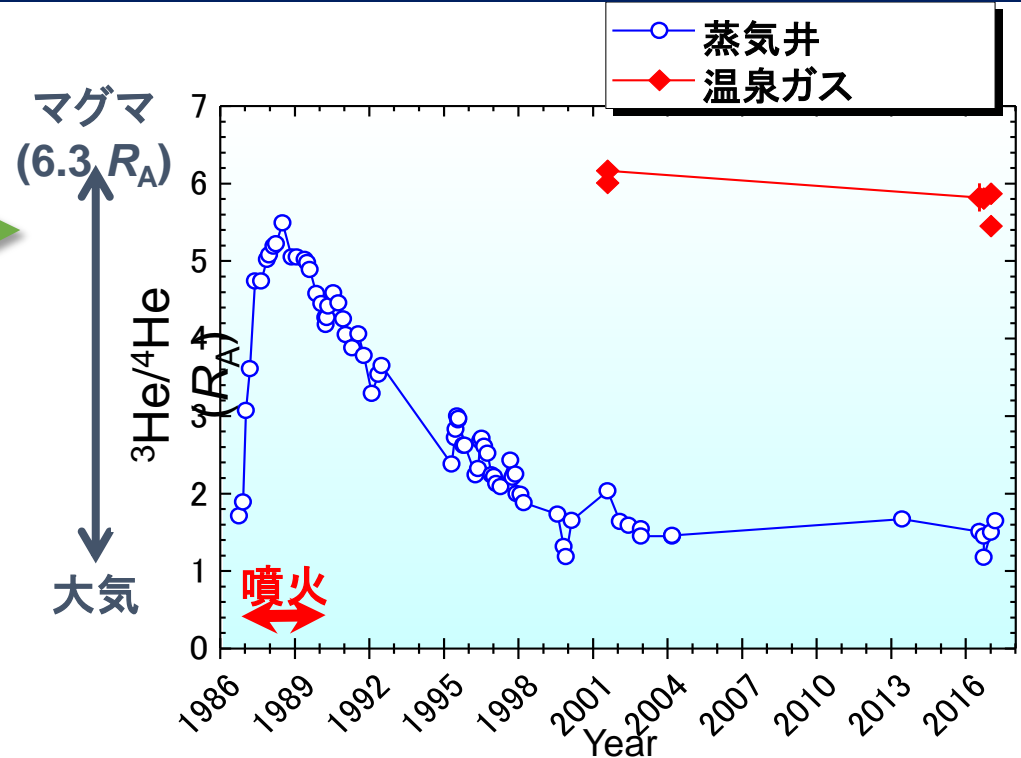
- ・  $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ の定量性・安定性の検討
- ・  $^3\text{He}$ 検出には、ヘリウム以外のガスを極力少なくする必要あり  
( $^3\text{He}/^4\text{He} < 10^{-5}$ ) ⇒ 簡便な前処理・導入系の開発

# サブテーマ3: 地球化学的観測技術の開発 平成28年度成果 平穏時のヘリウム・炭素同位体比データの蓄積@伊豆大島



(一):  $^3\text{He}/^4\text{He}$ が大気値(1  $R_A$ )に近く(=大気混入率が高い)  
信頼できる大気補正 $^3\text{He}/^4\text{He}$ が得られない

平成29年度は平穏時のヘリウム・炭素同位体比データを、草津白根山、那須岳、霧島山硫黄山、桜島、九重山、阿蘇山でも計測予定



(1999年以前のデータ: Sano et al. 1991; Shimoike & Notsu 2001)

## 平成29年度実施計画

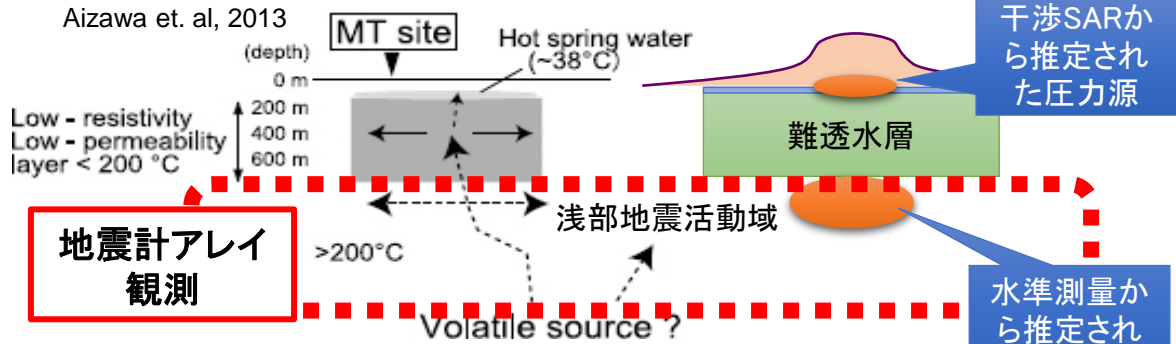
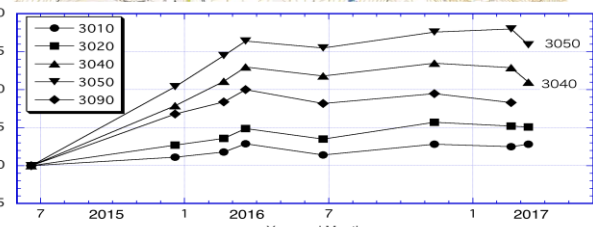
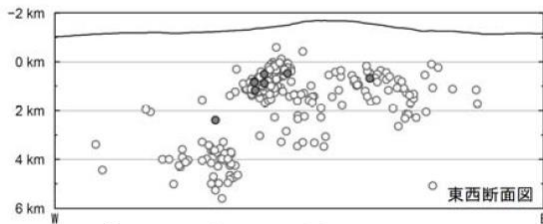
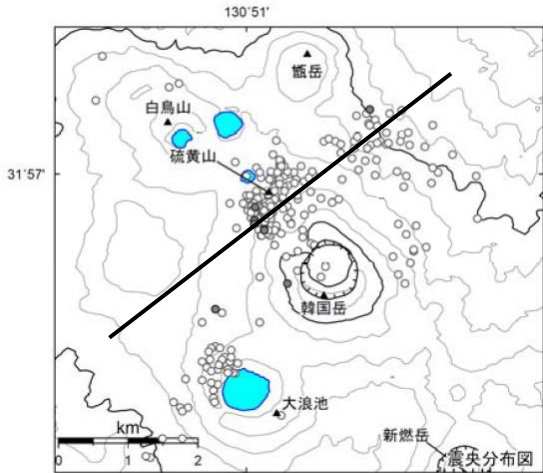
- ① マグマ起源ヘリウム測定用自動ヘリウム精製・分離ラインの開発  
⇒ 分析プログラムの構築
- ③ 水蒸気の高感度同位体比分析システムの構築  
⇒ 分光型水同位体比分析装置の導入
- ④ 航空機等搭載用の自動噴煙試料採取装置の製作準備
- ⑤ 底層水の採取・分析法の検討  
⇒ pH・温度センサー付き採水器のテスト@摩周湖
- ⑦ 定期的な噴気の採取と、化学組成と多成分同位体比の連続測定  
@箱根山

# サブテーマ4： 火山内部構造・状態把握技術の開発 平成28年度成果 と 平成29年度計画

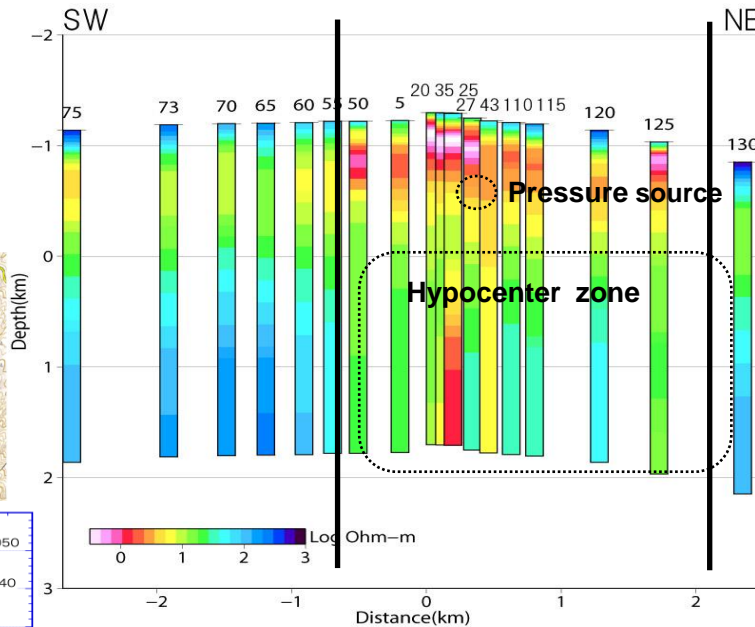
	H28	H29	H30	H31	H32	H33	H34	H35	H36	H37
調査・解析	霧島山(九大)			草津白根(東工大)	有珠(北大)			富士山(九大)		
	倶多楽(北大)	三宅島(地震研)		蔵王(東北大)					新潟焼山(東工大)	
	箱根(温地研)						伊豆大島(地震研)			
システム開発	●地震計アレイデータ解析システム									
	設計, プロトタイプ制作				複数の火山で実用化試験			実用化のためのパッケージング		
	●地下比抵抗・熱水流動解析システム									
	設計, 比抵抗解析, プロトタイプ制作				浸透率変換, 熱水流動解析			噴火ポテンシャル評価試行		
	●火山性地震活動総合解析システム									
	設計, プロトタイプ制作				複数の火山で実用化試験			実用化(高速化)の試行		
	●遠隔熱情報観測解析システム									
	小型カメラ(免振装置), 採水器開発				採水器実用化試験, ガス組成装置			高高度・長距離での観測実験		
	●地震波動場連続解析システム									
	設計, プロトタイプ制作				複数の火山で実用化試験			実用化のためのツール構造化		

# サブテーマ4： 火山内部構造・状態把握技術の開発

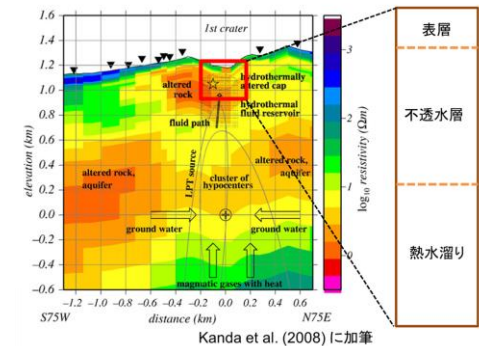
## 平成28年度成果 霧島山硫黄山



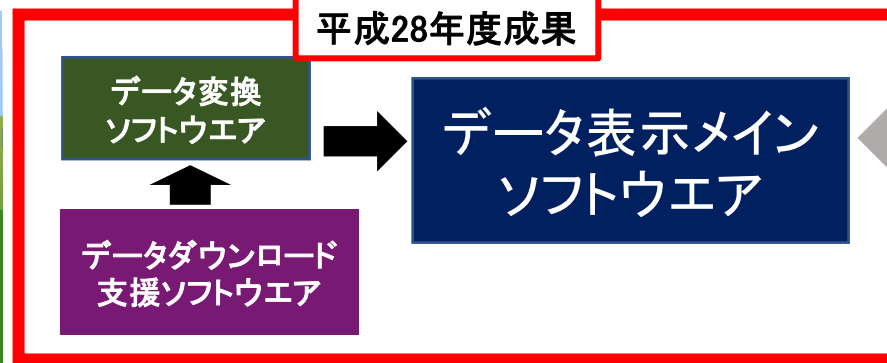
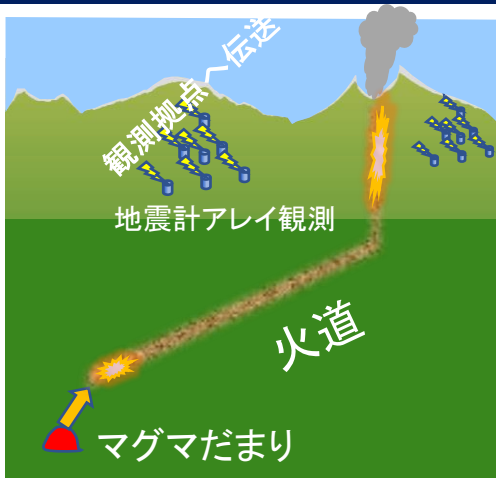
地殻変動、地震活動、比抵抗構造から水蒸気噴火の発生場の構造と状態を把握する。  
 さらに、それらの時空間変化から、水蒸気噴火準備中の圧力蓄積過程を解明し、噴火切迫性の評価を試みる。



阿蘇山や草津白根山との比較

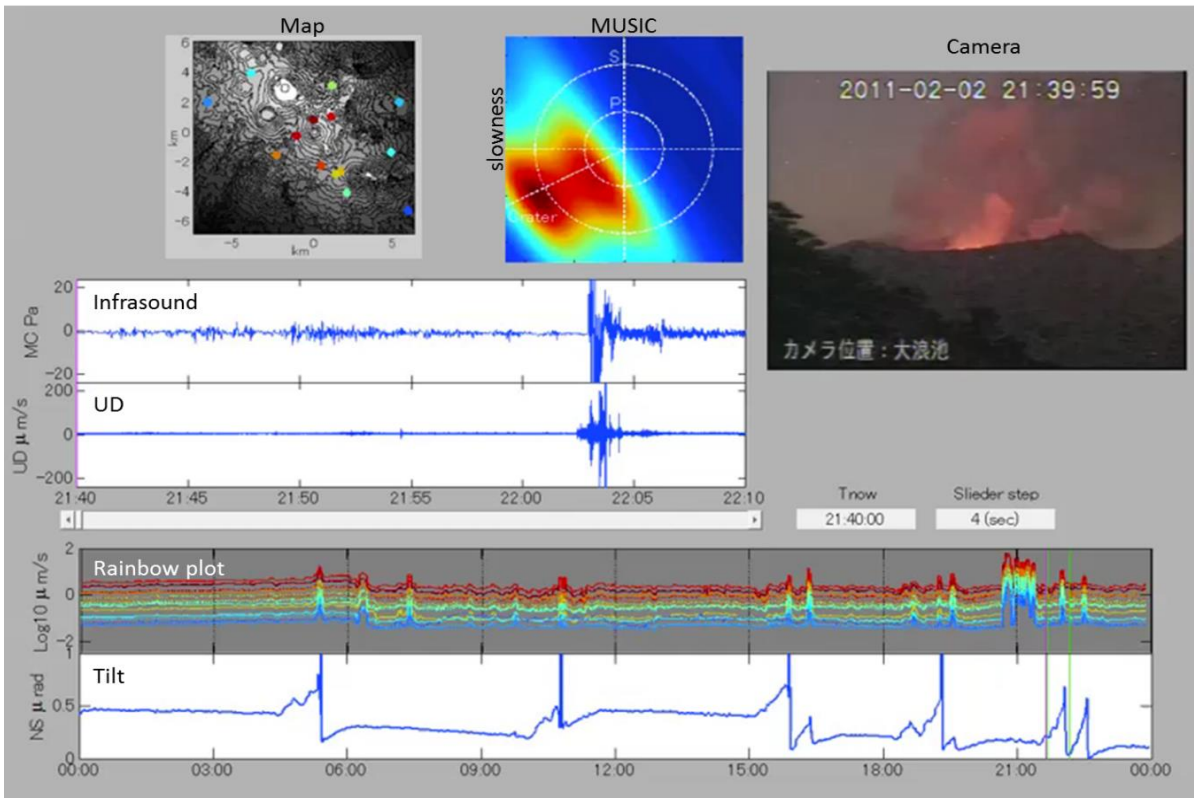


# サブテーマ4: 火山内部構造・状態把握技術の開発 平成28年度成果 地震計アレイデータ解析システムの開発

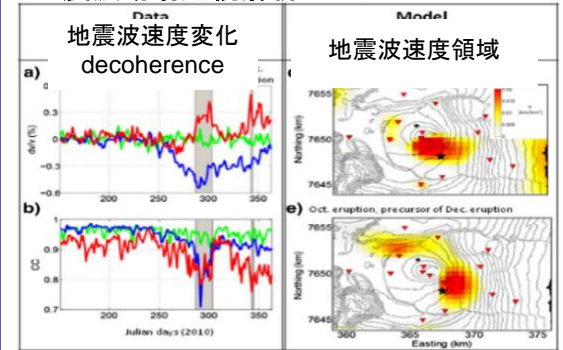


構造化されたプログラム群  
他の解析ツールとの共有化

平成29年度以降

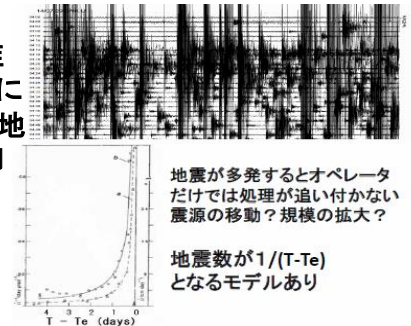


## 地震波動場連続解析システム



## 火山性地震活動総合解析システム

震源自動推  
定システムに  
よる火山性地  
震活動の即  
時推定



# サブテーマ4: 火山内部構造・状態把握技術の開発 平成29年度計画 倶多楽電磁気構造探査

