

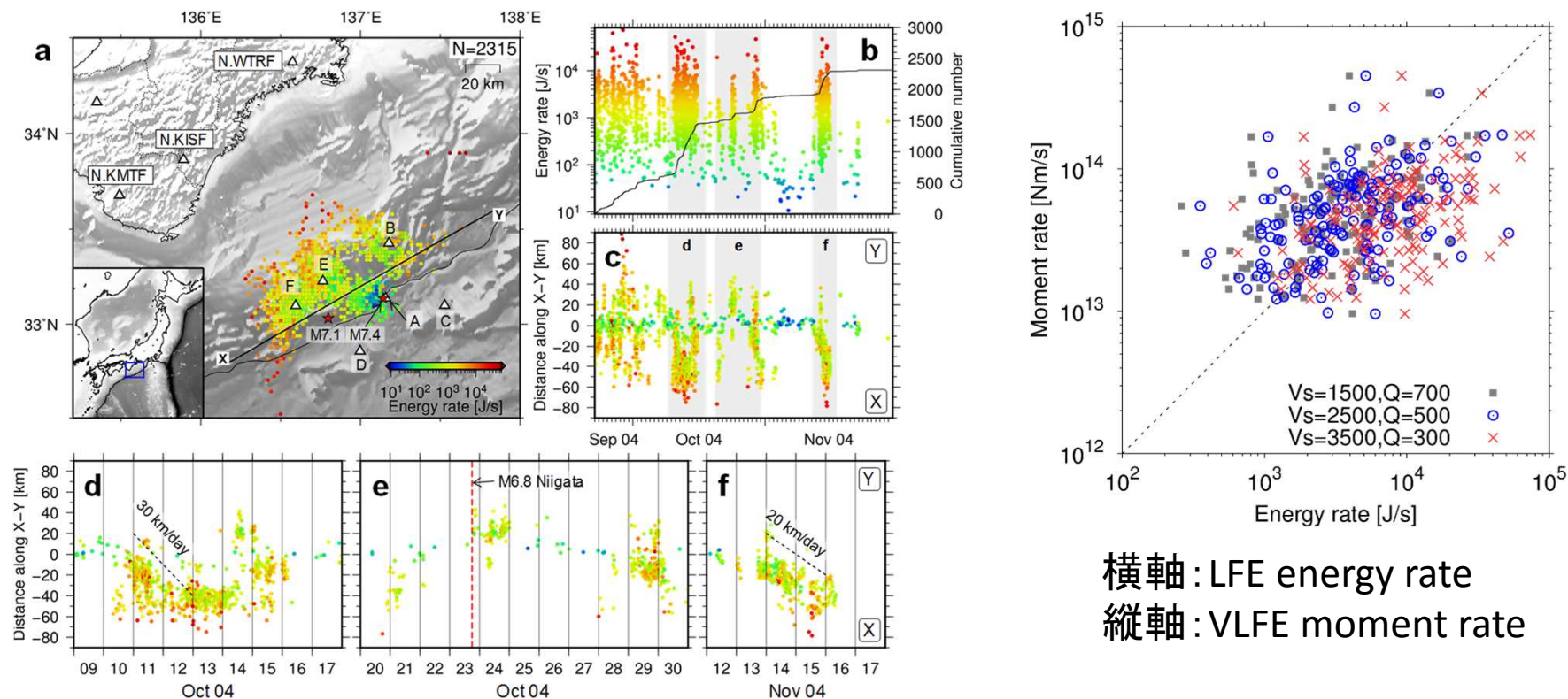


# 災害の軽減に貢献するための 地震火山観測研究計画（第2次）

令和元年度年次報告

気象庁

## 2004年紀伊半島南東沖の地震後の浅部低周波地震

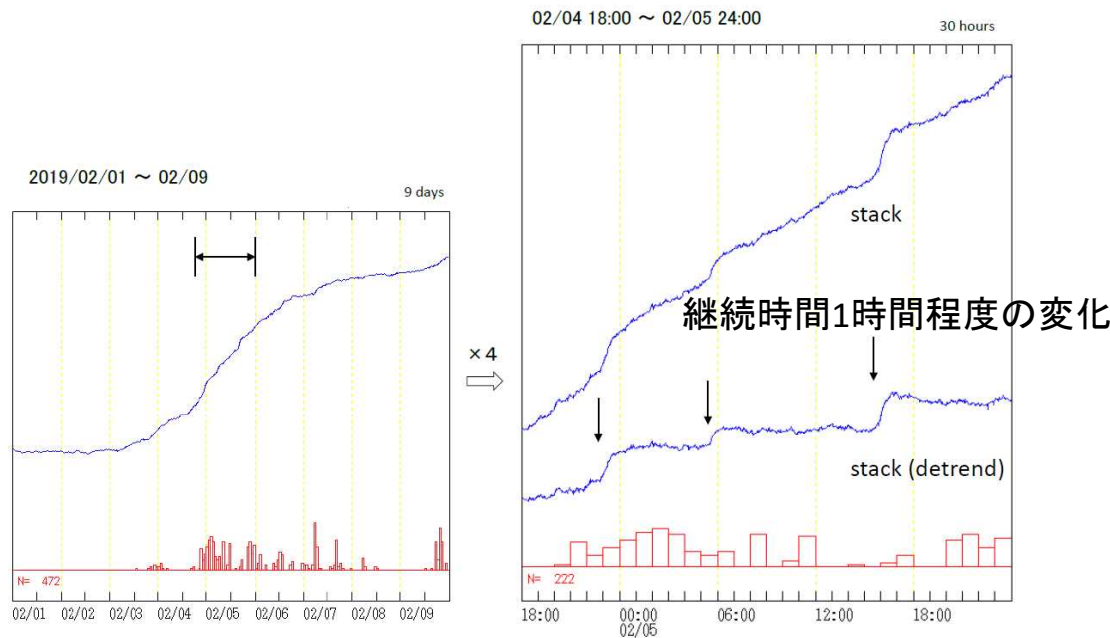


横軸: LFE energy rate  
縦軸: VLFE moment rate

Tamaribuchi et al. (2019)より

2004年紀伊半島南東沖の地震後の海底地震計データから、浅部低周波地震活動を検出した。浅部低周波地震は海溝軸より陸側に多く分布しており、移動や応力変化に伴う活発化が見られた。浅部低周波地震(LFE)と浅部超低周波地震(VLFE)の規模の間には一定の関係が見られ、同じすべり現象と考えられる。

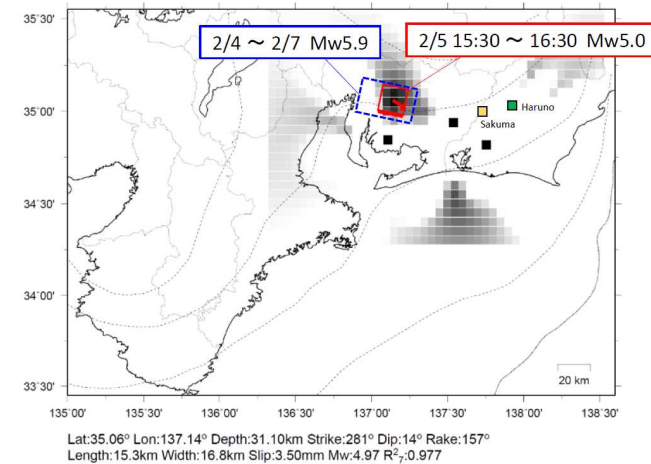
## 継続時間1時間のスロースリップの発見



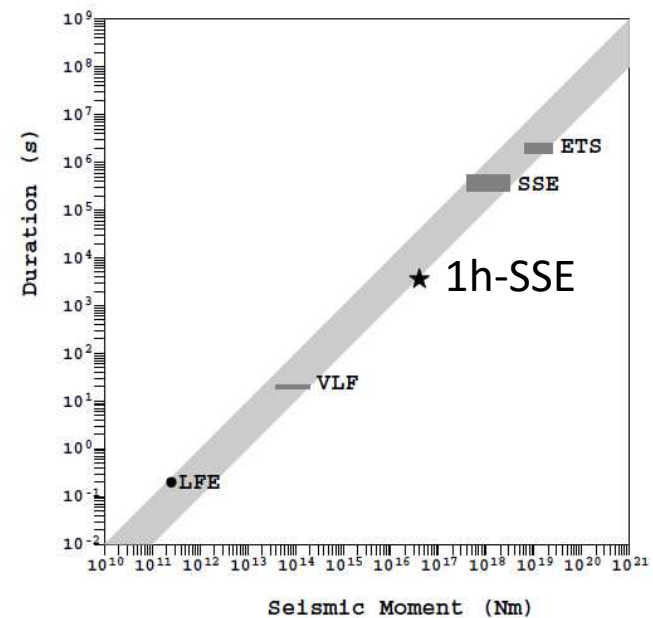
### ひずみスタッキング波形

(左)短期的SSEに伴う変化、(右)左図矢印期間の拡大

レーザー式変位計及びひずみ計データを用い、継続時間約1時間のスロースリップ現象を発見した。そのスロースリップは通常 of 短期的スロースリップが発生している期間中に発生したもので、Mw5.0ほどの規模を持ち、Ide et al. (2007)のスロー地震のスケーリング則と調和的であった。



1h-SSEの変動源は、短期的SSEと同じ場所に求まる



## 伊豆大島火山の坑井温度データの解析 火山の熱水系に関するパラメタの推定

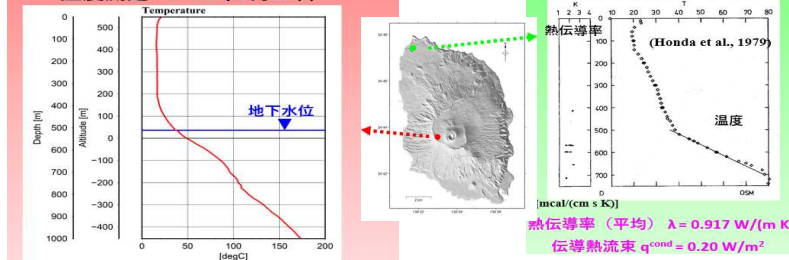
伊豆大島火山の熱・水収支モデルの構築(目標)に向けて、地震研究所による坑井温度データを解析し、熱・流体の流れ、浸透率の分布を推定できた。(産総研と共同)

使用した伊豆大島火山の坑井の温度データ(地震研究所による)

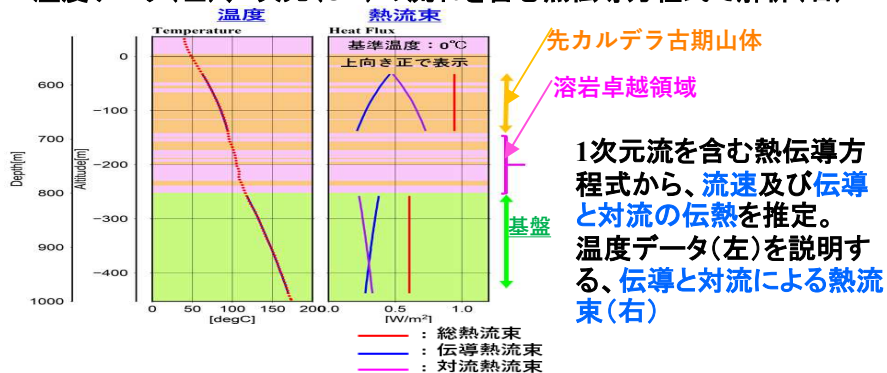
カルデラ内坑井 (東京大学地震研究所)

深度: 1000 m (1998年掘削)

温度測定: 1998年7月15日



温度データ(左)、1次元(UD)の流れを含む熱伝導方程式で解析(右)



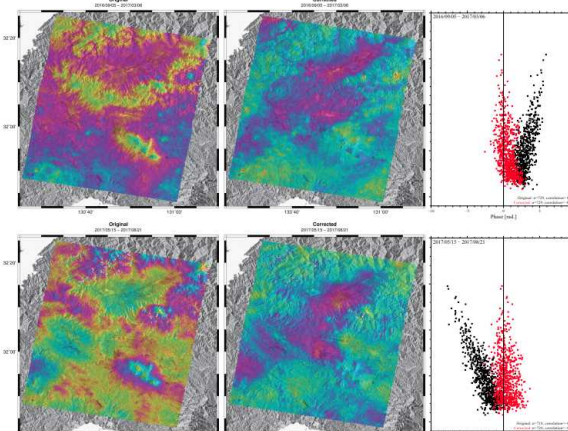
温度勾配から浮力による上昇流を仮定し、推定された流速から浸透率を求める。

- 浸透率: 水平方向 > 鉛直方向
- 鉛直浸透率は深くなるほど小さい

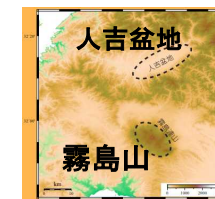
## 干渉SAR対流圏遅延補正プログラム開発

干渉SAR解析における対流圏遅延を、数値気象モデルGPVにより補正する手法の開発中。メソ解析値から視線方向の遅延量を計算する手法を開発し、標高のノイズが顕著に減少する効果を得た。

SAR解析の対流圏遅延補正で、視線方向の遅延量を、気象庁メソ解析値から計算する方法を開発し(ver.1)、結果を評価(屈折率は小澤・清水(2010))。補正により標高のノイズが顕著に減少した(下図はその2例)が、改善しない領域もみられた。

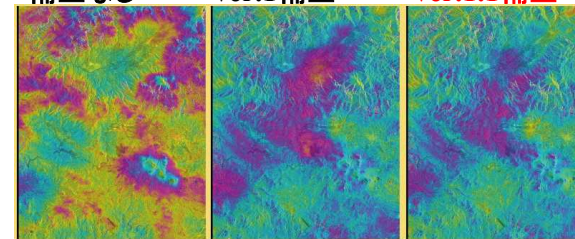


霧島山[夏季-冬季]の干渉ペアで、左は補正無し、右は補正あり。散布図は縦: 標高、横: 位相差 (赤: 補正有)

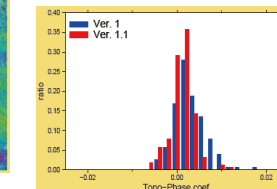


特定領域で改善しない原因は、数値予報モデル地形より実地形の標高が低いことによる。改善法を検討し、適用。(ver.1.1)。

補正なし ver.1補正 ver.1.1補正



標高・位相の1次回帰係数の相対度数分布、ver.1.1で分布が狭くなり改善。



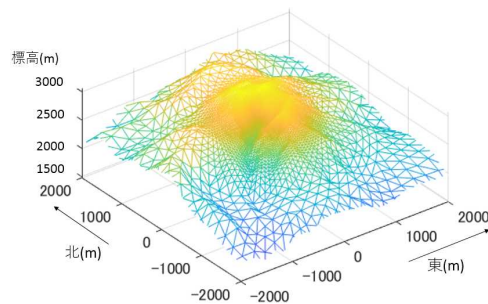
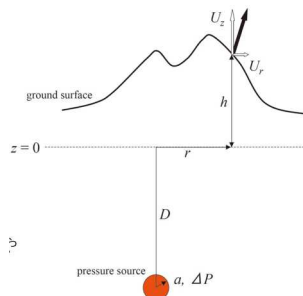
PALSAR-2 データは PIXEL の共有で、JAXAと地震研究所との共同研究契約により JAXA から提供された。所有権は JAXA にある。干渉画像の作成には RINC (Ozawa et al., 2016) を利用。国土情報院の数値地図 10m メッシュ(標高)による DEM を使用。ここに記して御礼申し上げます。本研究の一部は、地震研究所特定共同研究(B) (2018-B-02) で行われた。

### 境界要素法に基づく傾斜計データの評価

浅部圧力源による地殻変動の山体形状の影響を、境界要素法で計算。従来の「標高補正茂木モデル」は地形を含めごく浅部の圧力源に適用できないため、地形の影響を予め評価する必要性を示す。

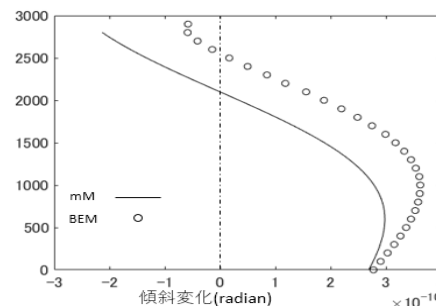
標高の高い火山では、圧力源の標高は山麓観測点と同程度か高くなる場合がある。地殻変動観測データ解釈の問題。

従来の「標高補正茂木モデル」(mM,右図)(技術報告第53号)では、**圧力源が観測点標高より高くなると、傾斜変動が反転する問題。モデルの適用限界を超える。**



より確からしい地殻変動を求めるため3次元「境界要素法(BEM)」で浅部圧力源による変動を計算した。左は御嶽山のモデル。

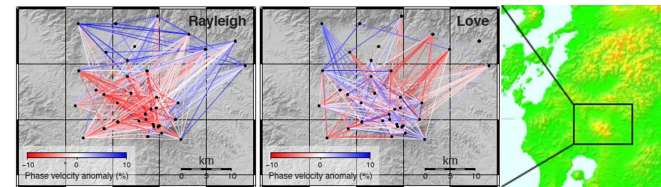
BEMで求めた山体変形では、**圧力源の標高が観測点より高くなっても、傾斜は反転しない。**右は飯森高原傾斜計(標高2130m)の例、反転するのは約400m上。



### 地震波干渉法によるマグマ供給系の解明

霧島山周辺地下のS波速度構造を地震波干渉法で求め、マグマだまりと解釈される $V_{SV}$ の低速度体を検出し、 $V_{SV}$ と $V_{SH}$ の不一致を説明する、内部のシル状構造を推定した。(震研・京大院と共同)

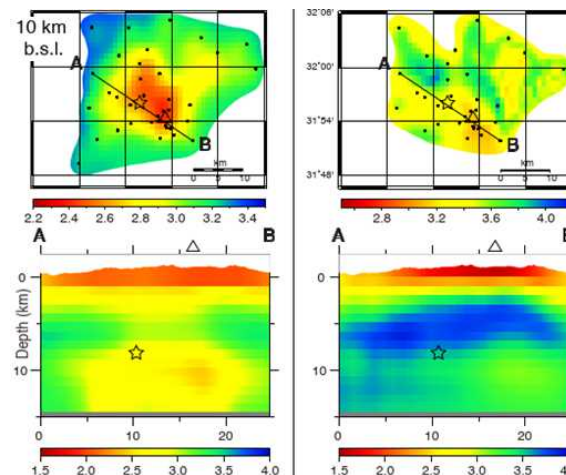
霧島山周辺、2011/4~2013/12 (2年9か月)、各機関37観測点3成分の速度波形によるランダムな波動場(脈動)を使う。



観測点間の相互相関関数によって、↑パスごとに、**Reighly波(左)とLove波(右)**の領域平均に対する速度異常の分布

⇒ 速度異常トモグラフィ

⇒  $V_{SV}$ (左下)と $V_{SH}$ (右下)の速度構造[km/s]: この不一致が、**マグマだまりの内部構造**に制約を与えられる可能性



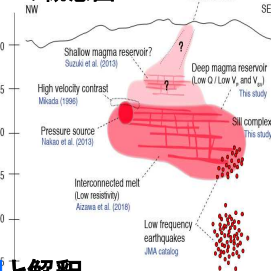
$V_{SV} \sim 2.6$  km/s

$V_{SH} \sim 3.7$  km/s

**不一致** (深さ7~15kmの低速度)

⇒ **マグマだまり内のシル構造**で、説明が可能。

#### 霧島山のマグマ供給系の概念図



$V_{SV}$  構造では**大きな低速度体**を検出。**マグマだまり**と解釈。

$V_{SV}$ と $V_{SH}$ の不一致より、**マグマだまり内のシル状構造**を示唆。

地殻変動源や深部低周波地震活動と合わせ、**マグマ供給系**を考察。

## ・地磁気永年変化によるD I 効果の補正手法の開発

火山活動に伴う全磁力変化を抽出するために、通常、火口周辺での全磁力と火山活動の影響を受けない参照点の全磁力の差を求める。しかし、両地点での偏角・伏角の違いから、全磁力差には見掛け上の変化が生じる(D I 効果)。このD I 効果は、参照点に設置された地磁気三成分磁力計データを用いて補正することができる(D I 補正)。

しかしながら、長期的に安定した地磁気三成分のデータを得ることはかなり困難であり、地磁気永年変化のD I 補正が課題として残っていた。そこで、人工衛星観測に基づく高精度の全球地磁気モデルによる地磁気三成分値を使う方法を考案し、伊豆大島をテストフィールドとしてD I 補正を適用した。ここで、D I 補正係数は全磁力観測点および参照点での偏角・伏角の直接測定によって求めた。

三原山火口北側に設置された2つの観測点(図1)では、40m程しか離れていないにもかかわらず、その全磁力の永年変化の傾向(トレンド)は大きく異なっている(図2のグレー)。これらに対して上述したD I 補正を施すと、そのトレンド差の大部分が解消することが確かめられた(図2の青と緑)。すなわち地磁気永年変化に伴うD I 効果が、全磁力観測値のトレンドに大きな影響を与えていたということがわかった。

今回の研究によって、地磁気永年変化に対するD I 効果の有効な補正法が示された。このD I 補正手法により、火山活動に伴う全磁力変化の抽出がより正確にできるようになり、火山活動の活発化に伴う火山体内の熱源の規模や位置を特定する精度が向上すると期待される。

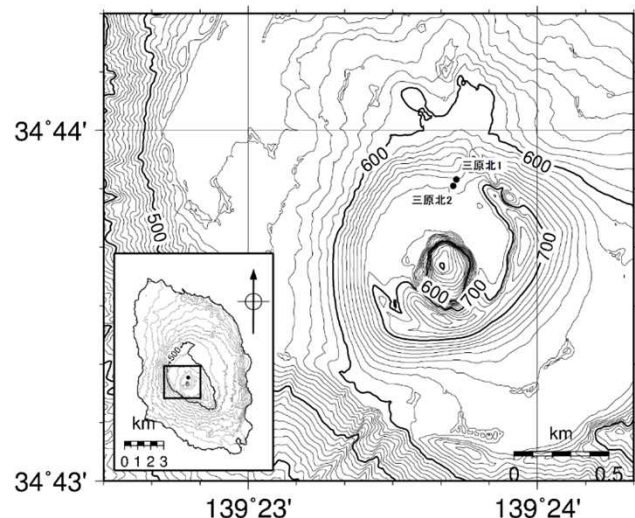
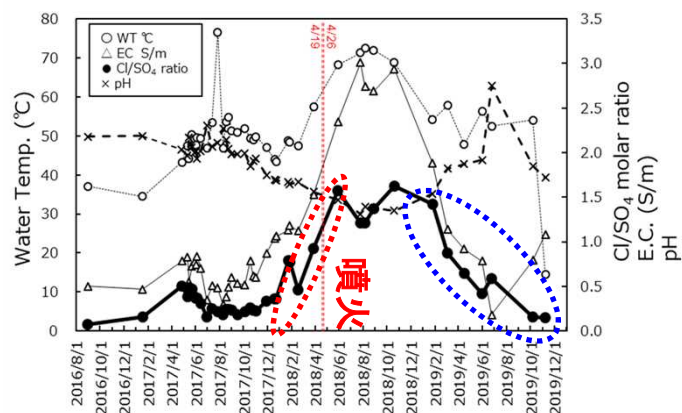


図1 伊豆大島の三原山北1、三原山北2観測点



図2 三原山北1、三原山北2観測点におけるDI補正前後の全磁力変化(縦軸の単位はnT)

- 霧島山(硫黄山)で2018年4月噴火前に急増したCl/SO<sub>4</sub>比が、2019年に明瞭に低下したことを明らかにした。
- 浅間山2019年8月7日噴火火山灰の水溶性成分を分析、新鮮なマグマの関与はなく、水蒸気噴火により既存山体の一部が破碎・放出されたことを明らかにした。
- 可搬型多成分ガス観測装置(Multi-Gas)および気象庁の設置型 Multi-Gas 連続観測と、噴気ガスの直接採取・化学分析の結果の比較から、Multi-Gasを用いた観測データが、火山活動監視を行うにあたり一定の有意性を持つことを確認した。

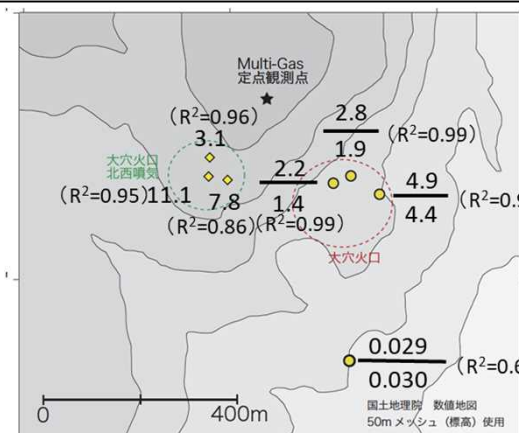


【霧島山(硫黄山)の熱水の分析結果】

霧島山(硫黄山)山麓の湧水の化学組成を分析し、2018年4月噴火前のCl/SO<sub>4</sub>モル比急増と、2019年の明瞭な低下を捉えた。

Eruptions	Water-soluble components		
	Cl mg/kg	SO <sub>2</sub> mg/kg	Cl/SO <sub>2</sub> molar ratio
Aug. 7, 2019*	8,710	49,100	0.48
Sep. 1 - 14, 2004**	1,270-5,990	23,100-41,900	0.09-0.41
Sep. 16 - 18, 2004**	72.3-996	204-2,980	0.08-4.84
Oct. 28 - Nov. 14, 2004**	239-2,320	2,090-14,300	0.08-0.48

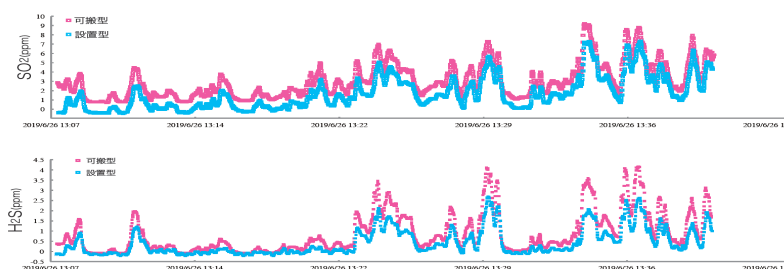
水溶性成分が多量



【大穴火口および大穴火口北西噴気における火山ガスの解析および分析結果】

上: 噴気から直接採取したガスの分析値 (小沢, 1968の手法による)

下: 可搬型Multi-Gasによる測定値 (R<sup>2</sup>=0.6以上をデータの信頼値として採用)



【設置型および可搬型 Multi-Gas による同時刻観測の時系列】

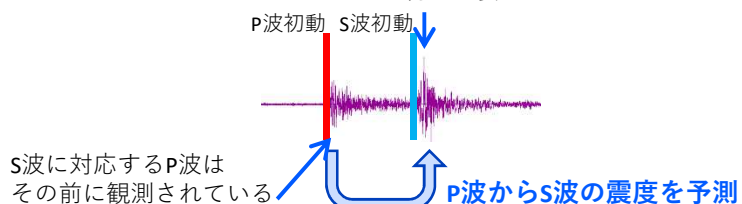
SO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>S濃度の比較(2019年6月26日13:07~13:40)ピンクが可搬型、ブルーが設置型設置型のセンサーに感度低下がみられるものの、傾向としては概ね相関のある変動が観測

# 2019年度の成果 (地震動)

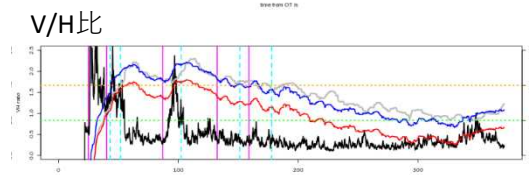
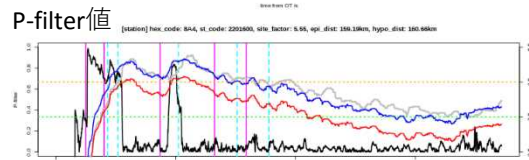
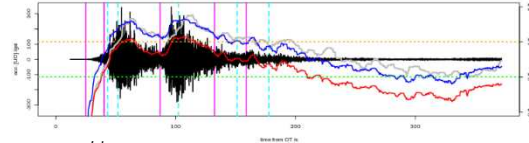
## PLUM法の改良：P波の利用

P波検知方法、上下  
動震度の活用を検討

現在は、S波が観測されるまで  
待つ必要がある



加速度 (UD) 東北地方太平洋地震



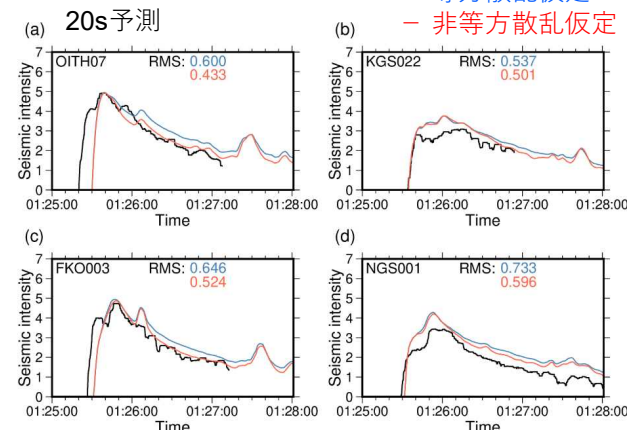
灰線：リアルタイム震度 (3成分)  
赤線：リアルタイム震度 (上下動)  
青線：リアルタイム震度 (上下動) + 1.0

## 振幅および継続時間の予測の精度向上

熊本地震

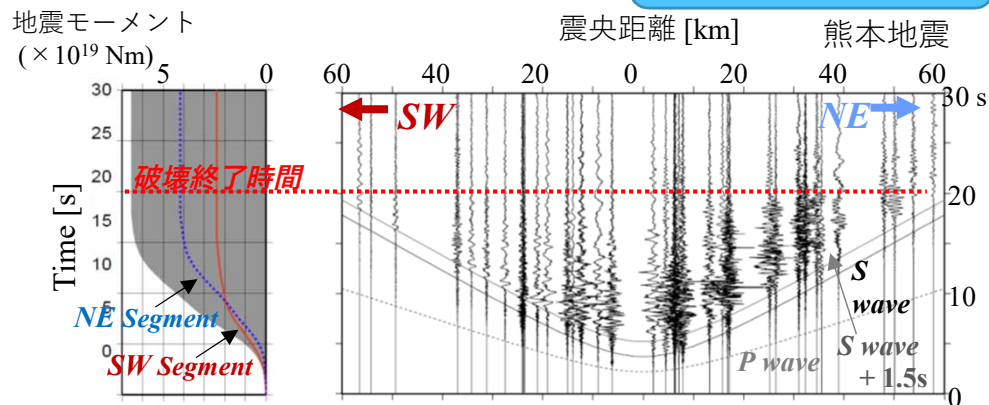
— 観測  
— 等方散乱仮定  
— 非等方散乱仮定

波動伝播モデルの  
高度化の検討



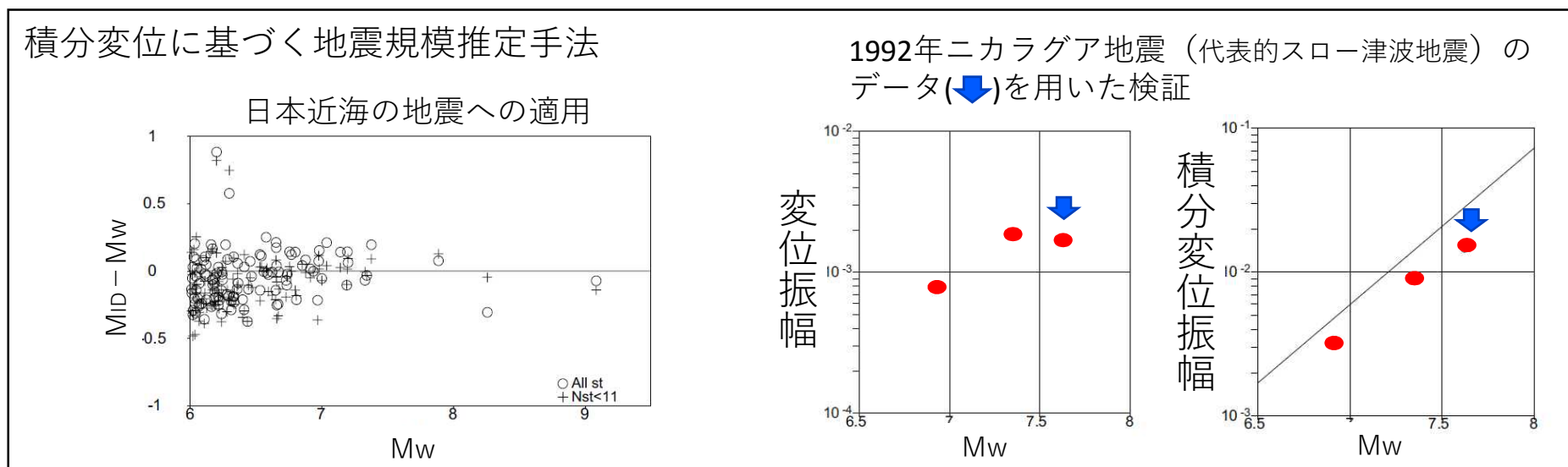
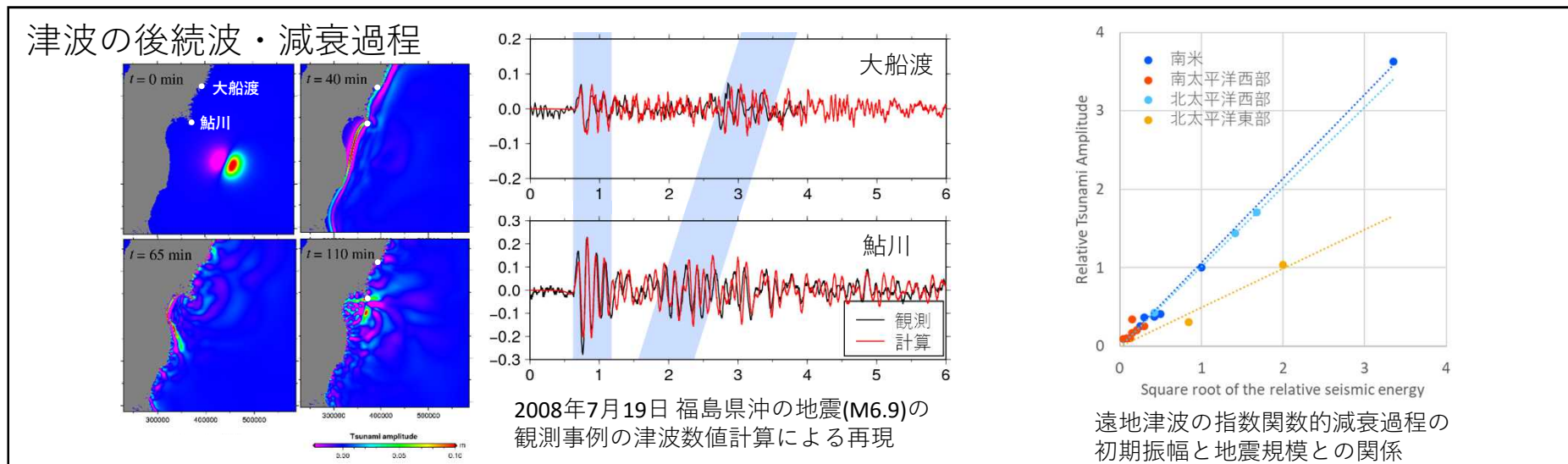
## 震源過程と強震動の出現時の比較

予測モデルによる  
迅速性の検討





# 2019年度の成果（津波）



(本課題の5か年の到達目標)

気象レーダー等の観測データを用いて、噴火現象の検知や噴煙に含まれる火山灰等の定量的推定手法を開発する。浮遊火山灰や降灰等を統一的に予測するための新しい移流拡散モデルを開発・改良する。さらに火山灰データ同化システム（プロトタイプ）と結合させることにより、気象レーダー等による観測値と移流拡散モデルの予測値に基づく火山灰データ同化・予測システムを構築する。

研究フロー（年次計画表）

	令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度	令和5年度
気象レーダー・衛星等による噴火現象の観測	気象レーダー等による噴火現象の観測・解析				
	↓	↑	↓	↑	
	気象レーダーによる解析結果の検証スキームの確立		噴煙内部の火山灰量等の定量的推定手法の開発		とりまとめ
新しい移流拡散モデルの開発・改良	新しい移流拡散モデルの開発 (技術報告の作成)		新しい移流拡散モデルの改良 (凝集、再飛散課程の導入)		とりまとめ
火山灰データ同化・予測システムの構築	↓	火山灰データ同化システムの開発 (旧移流拡散モデルでの試験)		↓	
		↓	火山灰データ同化システムの開発 (移流拡散モデルとの結合)	↓	火山灰データ同化・予測システムの実事例実験による評価

(令和元年度の成果)

気象レーダー・衛星等による噴火現象の観測

- 気象研究所XバンドMPLレーダーおよびKuバンド高速スキャンレーダーによる噴煙観測と2次元ビデオディストロメーター（2DVD）による降灰観測を実施した。2DVDによる観測では、扁平な小粒子が多いことが確認された（図1）。このことは、大きな粒子の離脱によって、小さな粒子が数多く残った噴煙または火山灰雲をMPLレーダーで観測した際に、扁平度を表すパラメータ（反射因子差）が増加することに対応すると考えられる。
- 気象庁一般気象レーダーにより噴火事例（2019年8月7日浅間山、2020年1月11日・2月3日口永良部島）を解析した。
- 一般気象レーダーによる噴煙高度の確率的推定手法について、桜島の遠望観測データを用いて手法の検証を試行し、降水エコーとの区別など、検証をする上での問題点を整理した。

新しい移流拡散モデルの開発・改良と火山灰データ同化・予測システムの構築

- 全球移流拡散モデルと領域移流拡散モデルを統一した新しい気象庁移流拡散モデル（JMA-ATM）について、開発に着手した。
- 火山灰データ同化システムをJMA-ATMに結合した。
- 2016年10月8日阿蘇山噴火の事例について、降灰データを逆解析してJMA-ATMを実行し、初期値の不確定性を示した（図2）。

気象レーダー・衛星等による噴火現象の観測

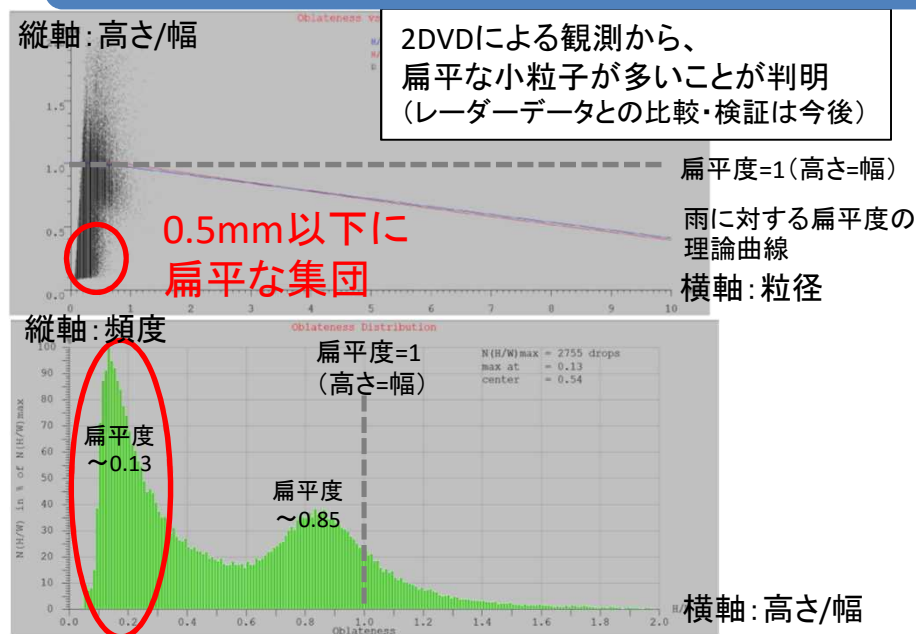


図1：2DVDによる降灰データの取得（2019年10月14日桜島（黒神）での観測例）

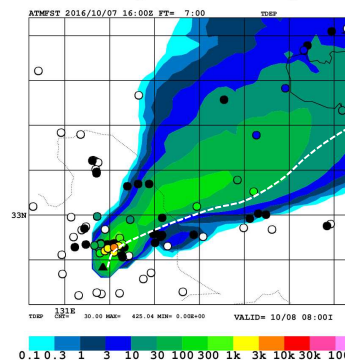
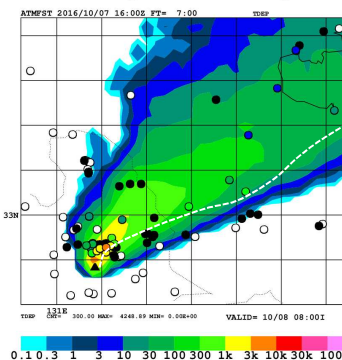
新しい移流拡散モデルの開発・改良と火山灰データ同化・予測システムの構築

現初期値 (Suzuki, 1983)  
+ 新ATM (開発中)

逆解析値 (Ishii, 2018)  
+ 新ATM (開発中)

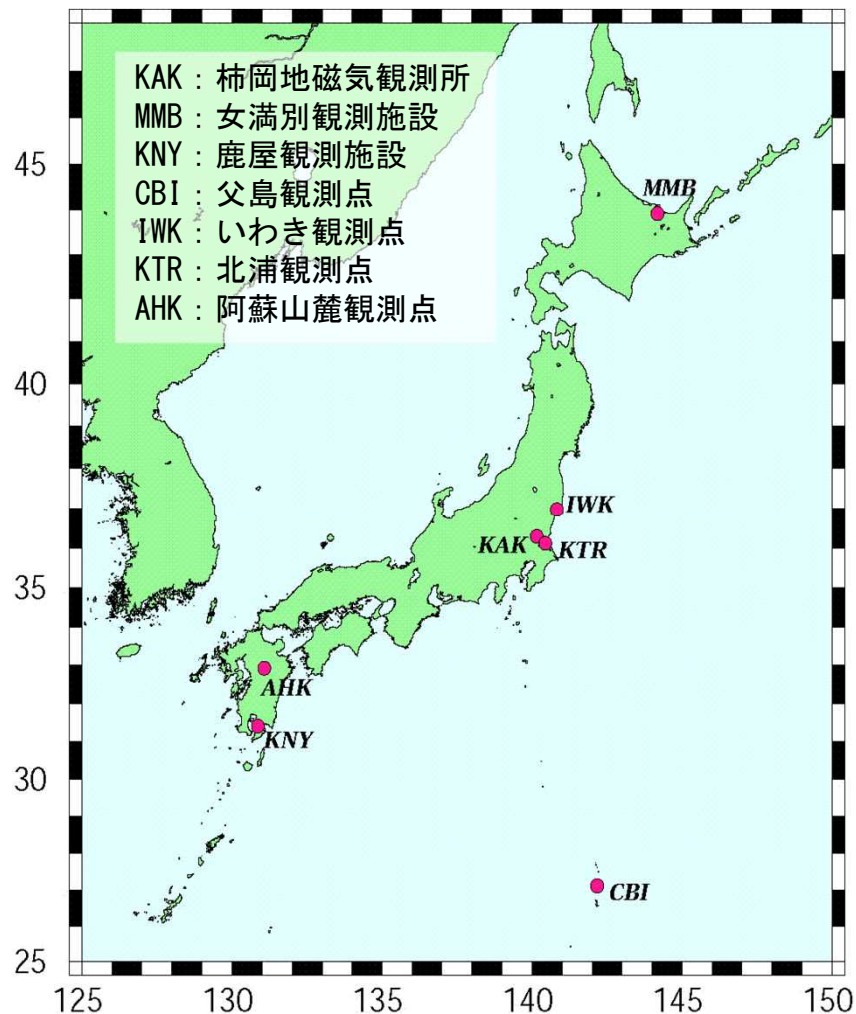
Total Deposition (g/m<sup>2</sup>)

Total Deposition (g/m<sup>2</sup>)



●：降灰あり  
○：降灰なし  
白点線：観測主軸  
緯経線間隔：0.1°

図2：降灰のデータ同化による初期値の不確定性（2016年10月8日01時46分阿蘇山噴火の新ATM（開発中）による降灰予測例）



気象庁地磁気観測所では、定期的に絶対観測及び観測値の較正を行い、観測データの精度向上及び編集・解析作業の効率化、及びデータ取得の安定性を図りながら数10年～100年スケールにわたる精密連続観測を継続実施し、高精度の地磁気基準値として迅速に提供する。

○柿岡、女満別、鹿屋、父島：地磁気4成分連続観測  
(全磁力・水平成分・鉛直成分・偏角)

○いわき、北浦、阿蘇山麓：全磁力連続観測

○データ提供

柿岡・女満別・鹿屋・父島の水平 (H, D, X, Y) 成分、鉛直 (Z)成分、全磁力 (F)について

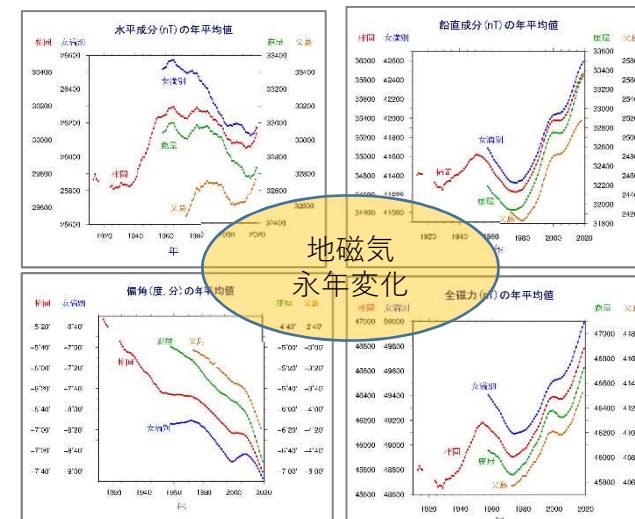
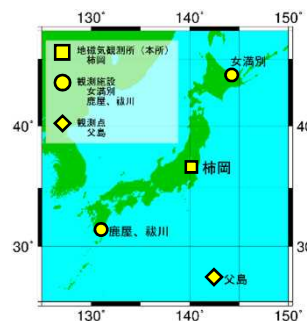
0.1秒値・1秒値・1分値・1時間値をHPで提供。

■ 地磁気4成分連続観測データのデータベース化

定常観測点（柿岡・女満別・鹿屋・父島）、祓川の5観測点の地磁気基準観測データ



- 地磁気観測所データベースに登録、公開
- 定常観測点のデータは国際的なデータセンターに提供



■ 地磁気ブロマイド（印画紙）記録のデジタルデータ化

印画紙に記録された柿岡、女満別、鹿屋の過去の地磁気アナログデータ



過去に遡ってのデータ解析を可能とするため、高時間分解能のデジタルデータへ変換

