

# 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4年度 年次報告

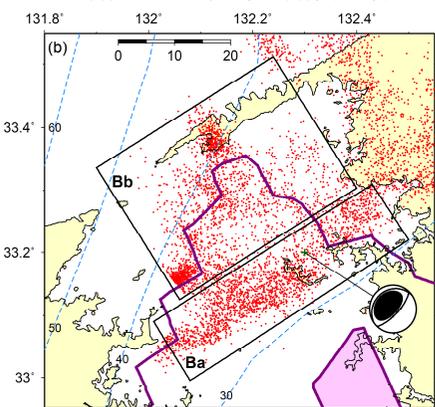


# 気象庁が担当する研究課題

課題内容	JMA-	研究課題名
<u>モニタリング</u>	01	地震活動・地殻変動監視の高度化に関する研究
	02	地殻変動観測等に基づく火山活動評価の高度化に関する研究
	03	火山活動に伴う地殻変動の把握及び評価
	04	地球電磁気学的手法による火山活動評価の高度化
	05	化学的手法に基づく火山活動監視・予測に関する研究
<u>即時予測</u>	06	地震動・津波即時予測の高度化に関する研究
	07	火山噴出物の監視技術とデータ同化に基づく輸送予測に関する研究
<u>推進体制の整備</u>	08	火山活動の総合判断
	09	地震観測、地殻変動観測
	10	潮位観測
	11	地磁気精密観測
	12	全国における火山観測の強化
	13	地磁気観測成果のデータベース化
	14	全国地震カタログの作成
	15	火山現象に関する基礎データの蓄積と活用
<u>社会との共通理解</u>	16	地震・津波・火山防災情報の改善に係る知見・成果の共有
	17	防災・減災に関する知識の普及啓発

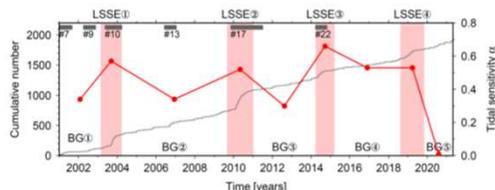
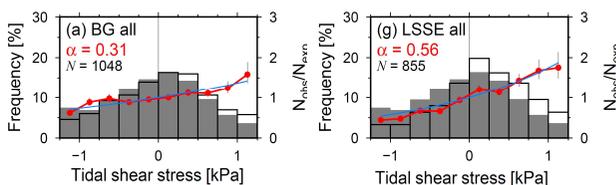
## 豊後水道の深部微動と潮汐との関係

- ・豊後水道の深部微動（特に領域Ba）は、潮汐せん断応力値が大きいほど発生しやすい
- ・LSSE期とそれ以外の期間に分けると、潮汐感度はLSSE期の方が大きい



### 西南日本豊後水道周辺のマップ

赤点は2001~2021年4月に発生した深部微動の震央（防災科研カタログ）、紫エリアは2010年LSSEのすべり量0.1 mコンター及び0.2 m以上域 [Nakata+ 2017, SciRep]。青破線はフィリピン海プレート上面の等深線 [Hirose+ 2008, JGR]。領域Ba, BbはObara+ [2010, GRL]による。深部超低周波地震のビーチボール（下半球等積投影）は、低角逆断層型を示す [Ide & Yabe 2014, GRL]



### 潮汐せん断応力に対する微動の応答

(左) 長期的スロースリップイベント（LSSE）期を除く期間（BG期）、(右) LSSE期。灰棒は全微動発生時の前後1日間の潮汐応力の相対頻度分布（背景分布）、太棒は領域内で発生した微動発生時の潮汐応力の相対頻度分布（左軸、サンプリング間隔15分）。赤シンボルは、 $N_{exp}$ （灰棒）に対する $N_{obs}$ （太棒）の比（右軸）。シンボルの縦棒は $1\sigma$ 誤差。青線は、 $N_{obs}(\Delta S)/N_{exp}(\Delta S) = e^{\alpha\Delta S}$ によるモデル値。 $\Delta S$ は応力binの中間値。潮汐感度 $\alpha$ は最小二乗フィッティングにより算出

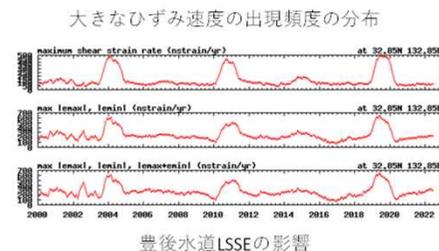
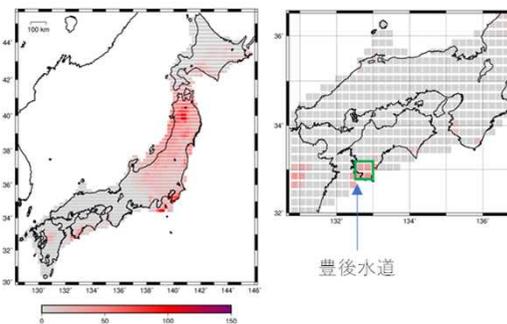
### 潮汐せん断応力に対する微動の感度 $\alpha$ の時間変化

赤線は潮汐感度 $\alpha$ （右軸）。灰線は微動の累積数（左軸）。桃期間は Kobayashi [2017]の手法で決定されたLSSEの活動期（相関係数0.8以上）。#数字付きの灰バーはTakagi+ [2019]によって推定されたLSSEの期間（ここでは参考）。

## 地殻変動解析

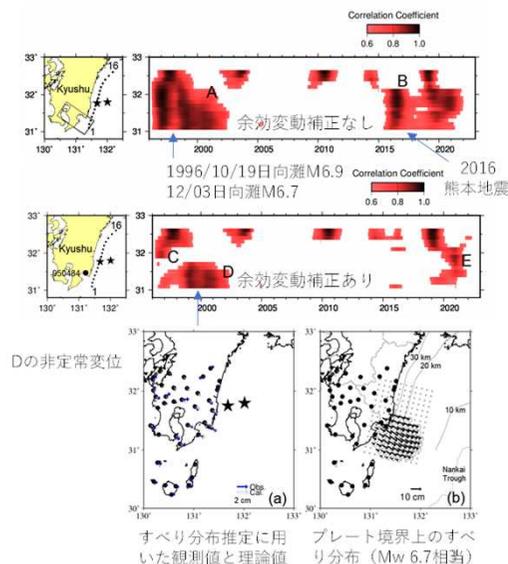
### 全国の地殻変動の指標化：

地殻変動の指標化としてGNSSデータから格子化ひずみ速度場を計算。大きなひずみ速度を示した地域や時期を抽出した結果、2011年東北地方太平洋沖地震などの地震やスロースリップによる影響と関連付けられることを示した。



### 余効変動の除去：

大地震発生後の余効変動の逐次推定・除去処理を開発した。この手法を日向灘のGNSS客観検知に適用し、1996年日向灘の地震に伴う余効変動が除去され、日向灘南部の1998~2001年の長期的スロースリップが検出されることを確認した。



## 火山活動活発化や噴火へ至るプロセスの解明

### 数値気象モデルを用いた光波気象補正

- 伊豆大島における光波連続観測データをもとに、数値気象モデルを用いた気象補正後ノイズレベルと斜距離の関係式を導出
- 光波繰り返し観測データ（東京管区、福岡管区の一部火山）へ同気象補正手法を適用
- ノイズレベルと斜距離の関係式を光波繰り返し観測データへ試験的に適用し、地殻変動の再評価について検討

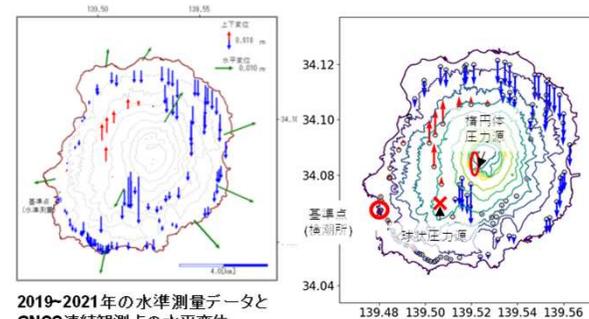
## 火山活動の解析・評価のための手法開発

### 地形を考慮した地殻変動源推定

- 山体地形を考慮した地殻変動源推定法にて、海底地形を考慮した地形モデルの作成とその影響の調査
- 三宅島水準測量データ解析に適用、地形の考慮により、地下浅部の圧力源を火山性地震発生域近傍に推定

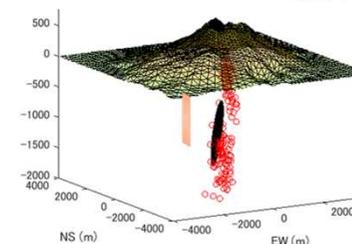
#### 三宅島的水準測量データによる地殻変動源推定

東京都の水準測量データ(2019-2021)から地殻変動源を推定をした。深さ約6kmの球状圧力源と海面下約1kmの浅部圧力源が求められ、地形を考慮すると浅部圧力源は火山性地震の震源付近に決まることが分かった。



2019~2021年の水準測量データとGNSS連続観測点の水平変位。

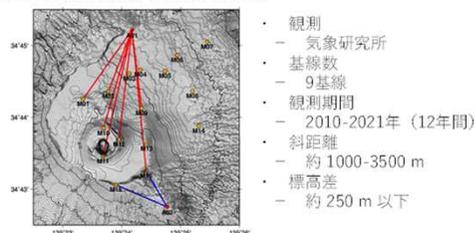
地形を考慮して求めた圧力源による上下変位の空間分布。○は浅部楕円体圧力源、×は深部球状圧力源の位置を示す。



推定した浅部圧力源と気象庁の火山性地震の震源の空間分布。○はMagCAP-Vで推定した浅部開口圧力源のおよその位置。

### ノイズレベルの定量化

伊豆大島連続観測 | 観測点配置図



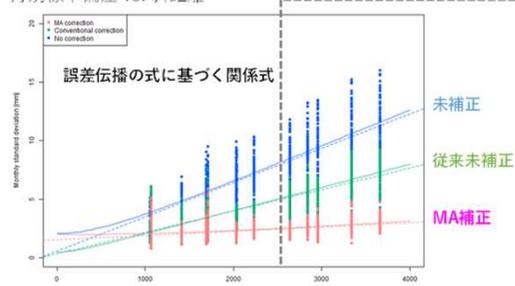
### 繰り返し観測への気象補正適用と地殻変動評価

例、九重山繰り返し観測 (KJU03-SHO4) | 観測点配置図



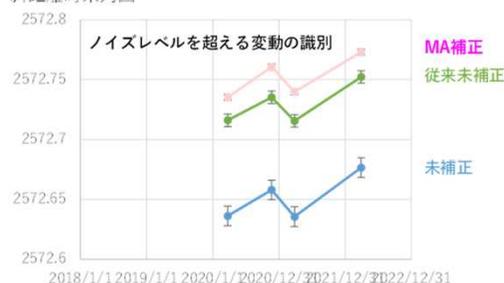
### 月別標準偏差 vs. 斜距離

繰り返し観測へ適用



ノイズレベルと斜距離の関係式を導出

### 斜距離時系列図



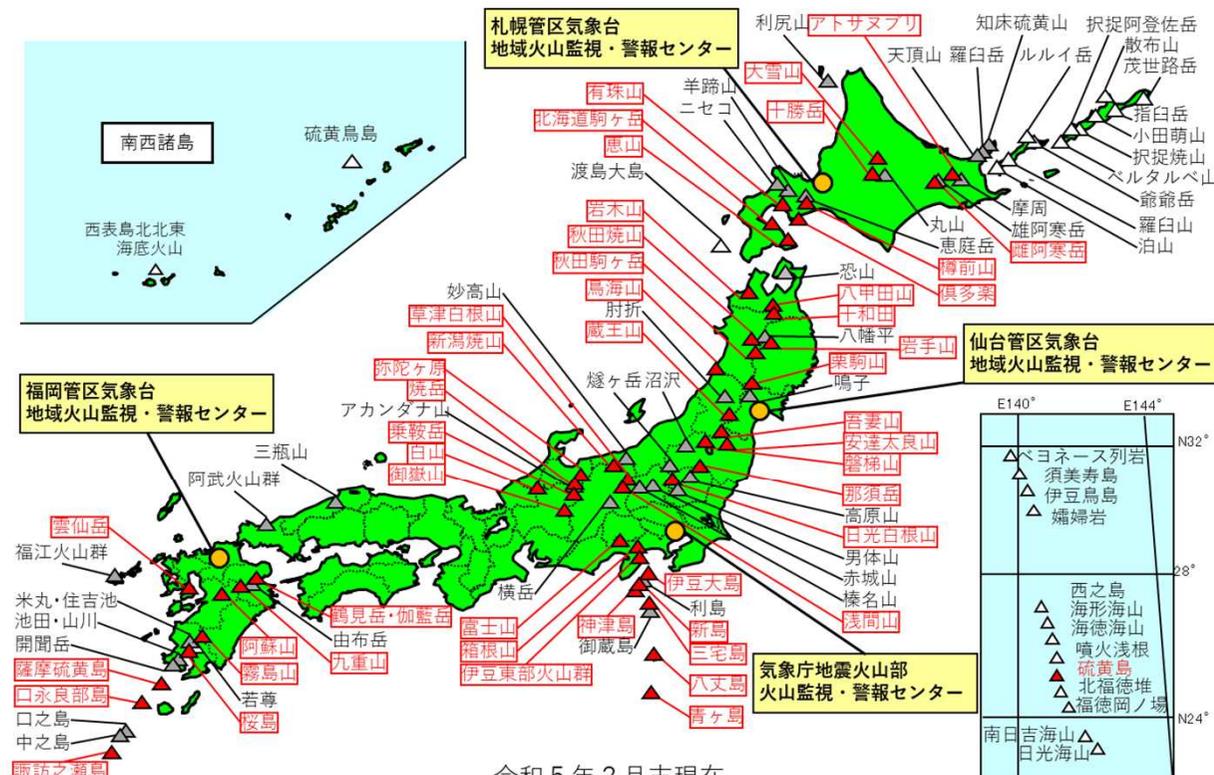
ノイズレベルの関係式を適用することで、地殻変動の評価を可能に

## JMA\_08 火山活動の総合判断

## JMA\_12 全国における火山観測の強化

## JMA\_15 火山現象に関する基礎データの蓄積と活用

- 全国の50火山について、全国4か所の火山監視・警報センターにおいて、地震計、空振計、GNSS、監視カメラ等による連続的な監視観測を継続した。また、全国の活火山について、GNSS繰り返し観測、熱観測等の調査的な機動観測を計画的に実施した。
- 全国の活火山を対象に、火山活動を把握する目的で、気象研究所とともに、だいち2号 (ALOS-2) のSAR解析を行った。
- 令和4年度については、桜島、諏訪之瀬島、硫黄島、西之島等で噴火が発生。阿蘇山、焼岳、鶴見岳・伽藍岳、口永良部島、磐梯山等において火山活動の高まりが見られた。
- 監視・観測の成果は、火山活動評価に活用するとともに、気象庁HPで公開。噴火警報等の防災情報、火山活動解説資料等、防災目的の資料等に随時利用。引き続き、各火山の火山防災協議会と観測データや火山活動解説コメントを共有していく。



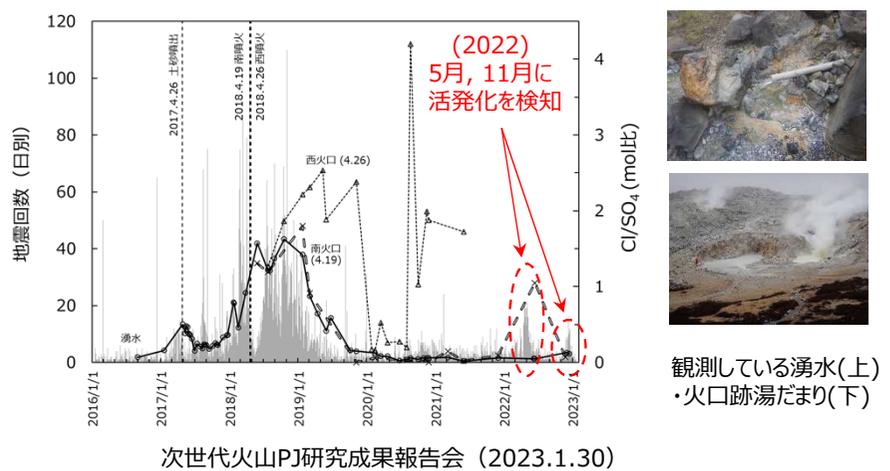
- ▲ : 火山活動を24時間体制で監視している常時観測火山 (50火山)
- △ : 計画的に機動観測を行う火山 (34火山)
- △ : その他の活火山 (無人島・海底火山等) (27火山)
- 火山名 : 噴火警戒レベルが運用されている火山 (49火山)

## 化学分析に基づく火山活動の理解に関する研究

**目標：**直接採取した火山ガスや熱水の化学・安定同位体組成、および火山灰に付着した火山ガス成分等の分析を通じて、水蒸気噴火を起こす火山におけるマグマ熱水活動の機構解明を目指す。

**成果：**霧島山(硫黄山)で熱水の化学組成を指標とし、2022年5月と11月の活発化を捉えた。

### ◆ 熱水分析による霧島山(硫黄山)の活動評価



霧島山(硫黄山)では、山麓の湧水や火口跡の熱水のCl/SO<sub>4</sub>比が火山活動の監視指標となる。

- ・ 2017年の土砂噴出, 2018年の噴火の前後では顕著な高まりを検知した。
- ・ 2022年には5月, 11月頃にCl/SO<sub>4</sub>比の高まりを検知し, 火山噴火予知連絡会などに報告した。

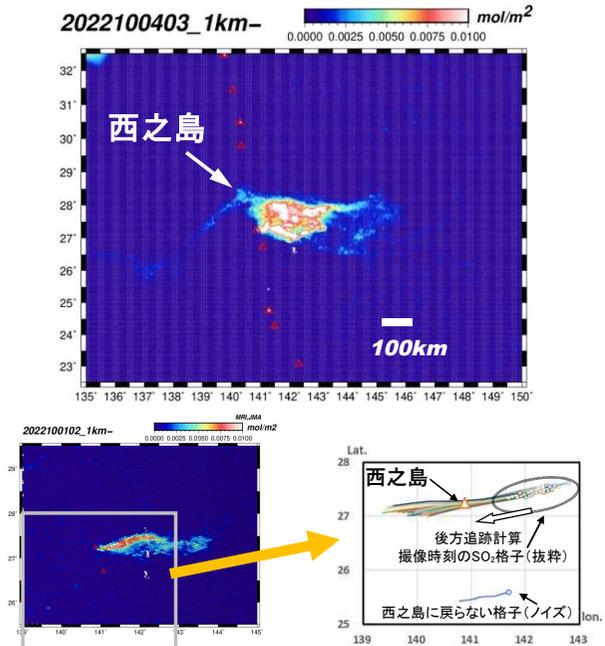
## 火山ガス活動のモニタリングに関する研究

**目標：**火山ガスの放出率や組成比をモニタリング・評価する技術を開発する。火山ガス活動への理解をふまえ、地殻変動などの物理観測データも組み合わせた多項目解析を行うことで、火山活動評価への活用を図る。

**成果：**次期計画に取り組み衛星データを用いた二酸化硫黄放出率の監視技術に関する事前調査を行い、気象モデル(気象庁局地解析値)を活用し活動把握が可能であることを西之島の事例を用いて示した。

### ◆ 衛星データによる二酸化硫黄活動の把握手法

#### ○ 衛星データのLAによる後方追跡計算と放出活動把握

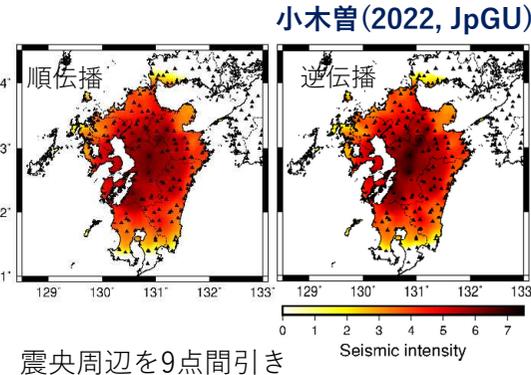


地球観測衛星Sentinel-5Pのデータに対し、気象庁局地解析値(LA)を用い、後方追跡計算により、放出率推定を試みた(第151回火山噴火予知連絡会提出資料より)。

## 地震動即時予測に関する研究

### 地震動の逆伝播を用いた計測震度分布の事後推定手法の開発

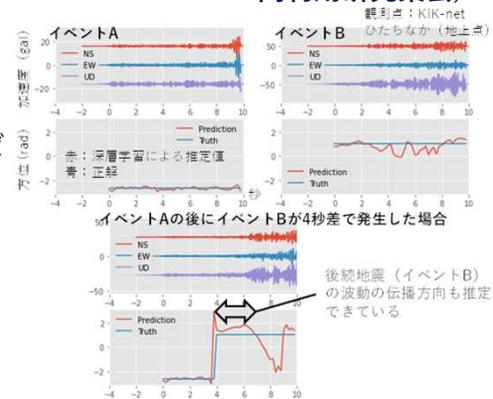
- 波動場モニタリングに基づく地震動即時予測の応用として、地震動の逆伝播を用いた計測震度分布の事後推定手法の開発を行った。
- 2016年熊本地震(4/16)の事例で試行したところ、逆伝播時にも観測地震動を同化することにより、熊本地震の震源断層周辺における大きな震度の分布が明瞭になった。
- 震央周辺の観測点を間引いた場合でも、ある程度は震度分布が復元できる可能性がある。



小木曾(2022, JpGU)

### 深層学習による単独観測点からの波動伝播方向推定

- 揺れの実況把握を高度化するため、単独観測点から波動伝播方向を深層学習で推定する手法を開発した。
- P波到達後2秒までの波形を用いれば約5割の事例で伝播方向が誤差30°以内で推定できることが分かった。
- また、連続して地震が発生するケースであっても適用可能であることを確かめた。

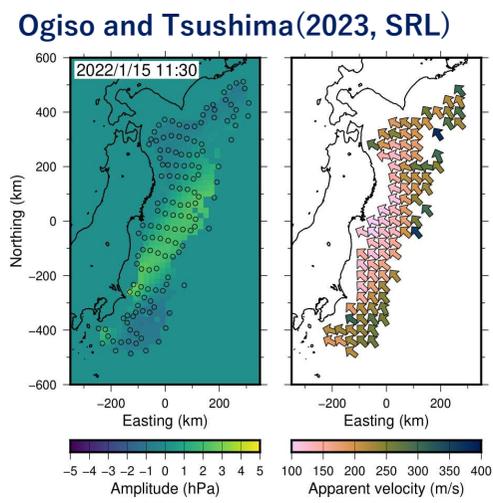


小寺(2023,地震研共同利用研究会)

## 津波即時予測に関する研究

### アレイ解析手法を用いたHTHH火山噴火による津波伝播の解析

- 2022年1月15日のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山の噴火後、全世界で潮位変動を観測
- S-net・DONETで観測された海底水圧変動にWave gradiometryを適用
- 20-60分の帯域におけるコヒーレントな水圧変動は南東(火山の方位)から北西へ向かって津波として伝播していた。
- DONETのみで観測された短周期の水圧変動は火山の方位より南よりから津波として伝播。

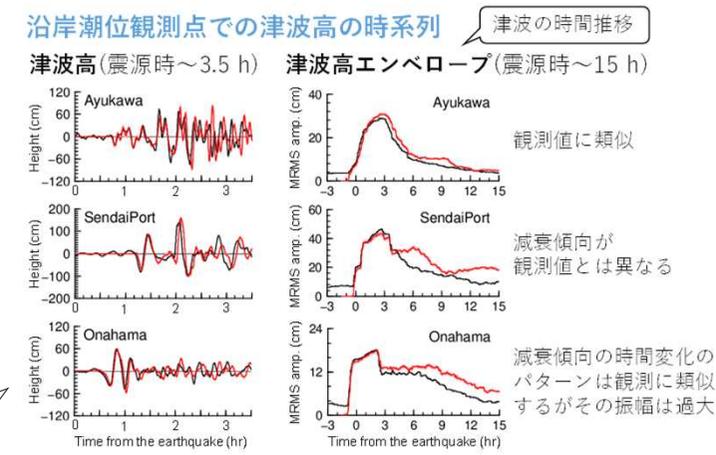


### 現在の津波伝播数値計算手法が有する津波の時間推移の再現性能を検証

2016年福島県沖地震(Mw 6.9)の事例解析

対馬・林・山本(2022, JpGU)

- 時間推移の予測性能は観測点ごとに異なる
- 波源由来の誤差に比べて、観測値と計算値の差の方が大きい。このため、伝播モデルに改善の余地があると考えられる。



### 気象レーダー等による噴火現象の観測

- ・二重偏波気象レーダー等による噴煙の観測結果から、噴煙に含まれる火山灰等の分布を定量的に推定する手法の開発を行った。本手法では、二次元ビデオディストロメーター（2DVD）によって観測された粒径と粒子形状の情報を独立資料として利用する。二重偏波レーダーで観測されたパラメータを説明し得る粒径分布を推定することで、噴出物量を求めることができる。
- ・二重偏波化された一般気象レーダー（福岡）のデータを用いて、2021年阿蘇山噴火の解析を行った。その結果、10月14日・20日の噴火は共に水物質の寄与が大きかったが、20日の噴火の方が、噴煙内部の火山噴出物（火砕物）の量が多いことを示した（図1、2）。

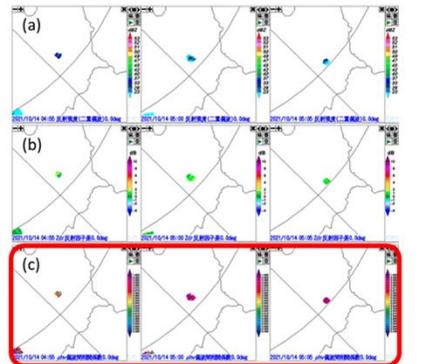


図1：福岡レーダーによる観測（2021年10月14日）  
(a)反射強度、(b)反射因子差、(c)偏波間相関係数

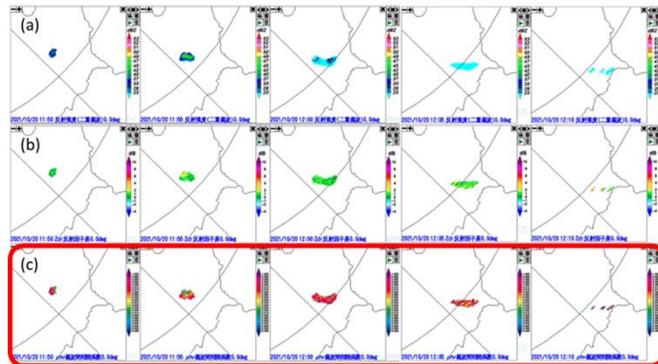


図2：福岡レーダーによる観測（2021年10月20日）  
(a)反射強度、(b)反射因子差、(c)偏波間相関係数

- ・噴煙エコー（10月20日）の偏波間相関係数 $\rho_{hv}$ が前回（10月14日）の噴火より低いことから、噴煙内部の（水物質に対する）火砕物の混在の割合が高いことが考えられる。エコーの面積も広いことから、10月20日の噴火の方が、噴出物量としては多いと考えられる。（※噴煙高度は同程度）

### 新しい移流拡散モデルの開発・改良

- ・2021年福徳岡ノ場噴火と2022年トンガ海底火山噴火について、気象衛星ひまわりの画像解析を行った。衛星視差の影響による傘型噴煙の位置ズレは、福徳岡ノ場噴火の事例（図3）では北へ約10 km、トンガ海底火山噴火の事例（図4左）では東南東へ約30 km生じていた。この衛星画像上の位置ズレが傘型噴煙の面積・半径の解析に与える影響については、衛星天頂角が極度に開いていない限り、無視できることを示した（図5）。
- ・気象庁移流拡散モデル（JMA-ATM）による再飛散火山灰の予測において、衛星画像における灰雲の位置ズレが検証に与える影響について調査を進めている。

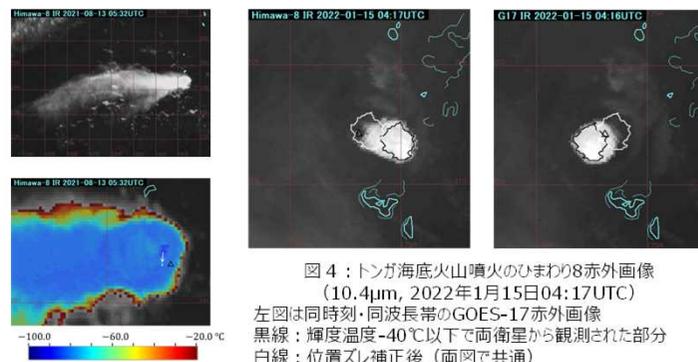


図3：福徳岡ノ場噴火のひまわり8赤外画像（10.4 $\mu$ m, 2021年8月13日05:32UTC）  
拡大図は輝度温度-20℃以下の雲頂強調画像、矢印は位置ズレ補正後の最低輝度温度の雲直下点

図4：トンガ海底火山噴火のひまわり8赤外画像（10.4 $\mu$ m, 2022年1月15日04:17UTC）  
左図は同時刻・同波長帯のGOES-17赤外画像  
黒線：輝度温度-40℃以下で両衛星から観測された部分  
白線：位置ズレ補正後（両図で共通）

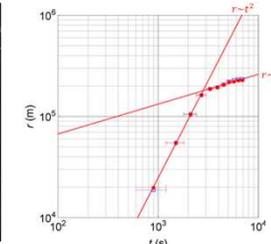


図5：傘型噴煙の円相当半径の時間変化（2022年1月15日05:57UTCまで）  
横軸は04:02UTCを起点に取った経過時間  
赤●：Himawari-8  
青□：GOES-17  
プロットはいずれも10分ごと

### 火山灰データ同化・予測システムの構築

- ・噴煙の力学や周囲の風との相互作用を考慮した1次元噴煙モデル（NIKS-1D）のプロトタイプを作成した（図6）。
- ・現業利用を想定し、到達高度を同化する仕組みを実装した。
- ・噴煙の基本的な性質を再現していることを確認した。
- ・移流拡散モデルの初期値の出力を実装した。

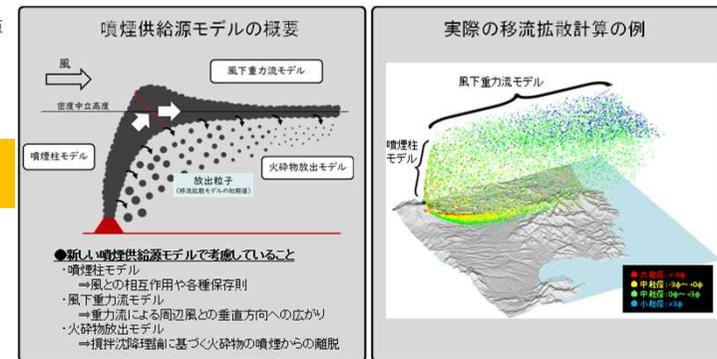


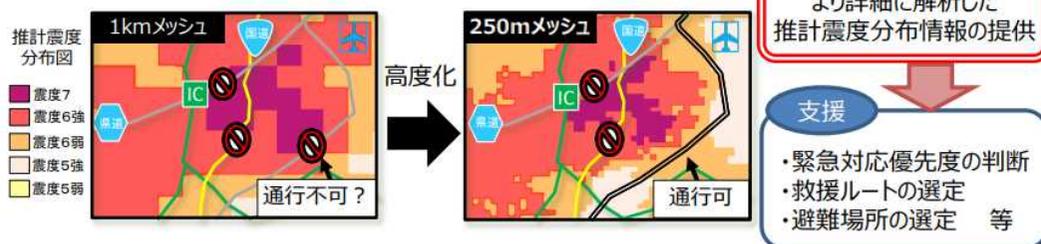
図6：噴煙供給源モデルの概要と実際の移流拡散計算の例

## EPOS（地震活動等総合監視システム）の更新

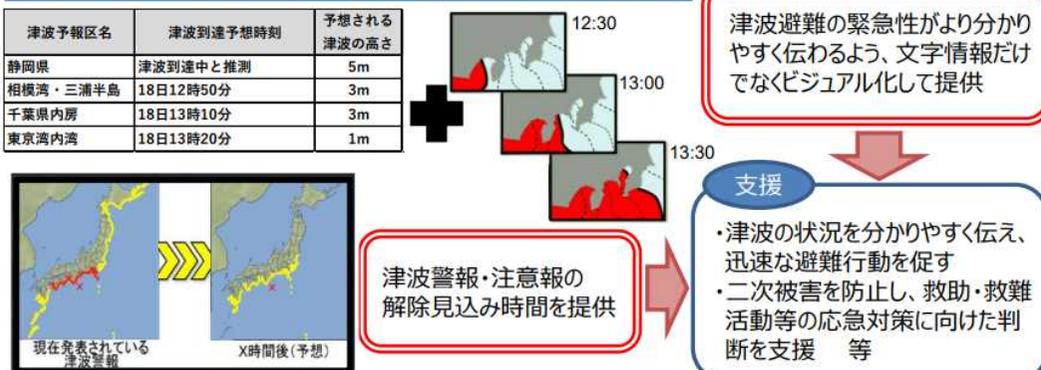
（東京：2022年3月、大阪：2022年10月）

◎地震発生直後の迅速な救助活動を支援するため、より詳細な推計震度分布情報を提供するとともに、津波発生が予想された際に適切な避難行動を促進するため、津波避難の緊急性がより分かりやすく伝わるよう、津波到達予想時刻をビジュアル化して提供する。また、津波発生後の適切な救助活動等の応急対策を支援するため、津波警報・注意報の解除見込み時間を提供する。

### ●地震の二次被害防止や迅速な救助活動を支援する情報の充実



### ●津波の二次被害や避難・応急対応を支援する情報の充実



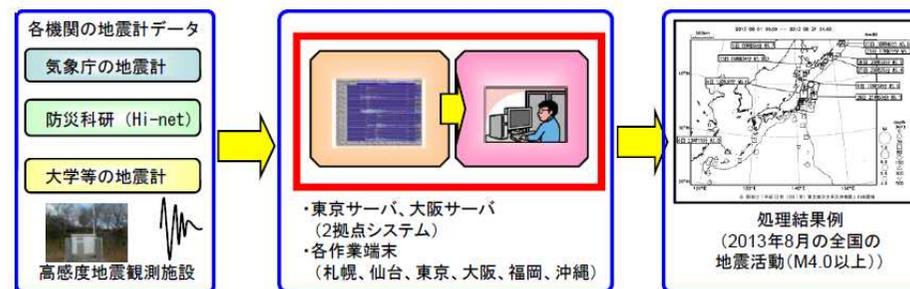
## REDC（一元化システム）の更新

（2022年3月）

### 地震観測データ集中化の促進

気象庁、防災科学技術研究所、大学等の地震波形データを一元的に収集・処理することにより、詳細な震源決定作業等を実施。

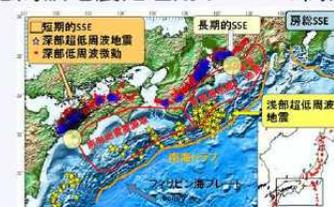
⇒ 地震本部の長期評価等に活用、大学等の研究機関の研究活動に活用



増大するデータ処理に対応するため、システムを更新。

さらに、低周波地震の解析強化を目指し、準リアルタイム震源決定を自動化するためのサーバの高度化を行う。

### 低周波地震処理用サーバの高度化



⇒ 地震活動のより詳細な把握により、南海トラフ地震をはじめとする海溝型地震のモニタリング・発生予測手法の高度化に資する

## 全国地震カタログ（一元化震源）の作成

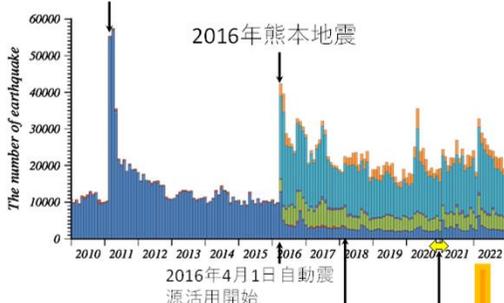
令和4年度に2020年9月～2021年3月の地震月報（カタログ編）を公開した  
 2022年1月～12月の期間で291030個（暫定）の震源を決定した

震源区分（検出方式と誤差等の震源決定精度による区分）

精査検測：気象庁震源 K	参考震源 S	参考震源 s
簡易検測：気象庁震源 k	参考震源 s	参考震源 a
自動震源：気象庁震源 A	参考震源 a	

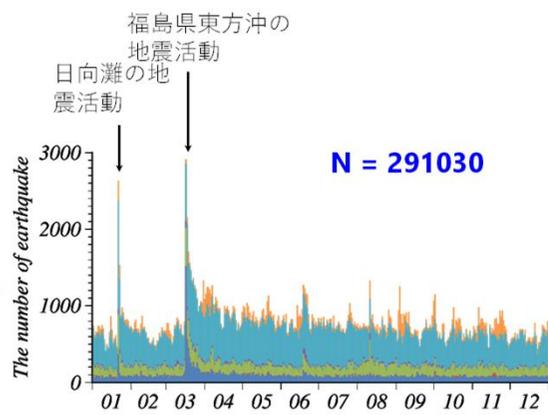
### 2010年～2022年の一元化震源数（月別）

2011年東北地方太平洋沖地震



2016年4月1日自動震源活用開始  
 2018年3月22日深部低周波地震MF法自動処理開始（参考震源a）  
**令和4年度に地震月報（カタログ編）を公開**

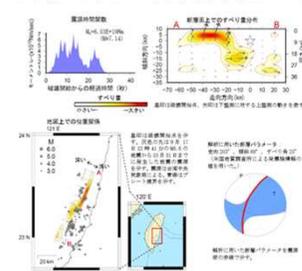
### 2022年の一元化震源数（日別）



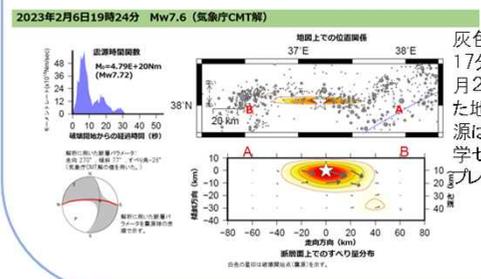
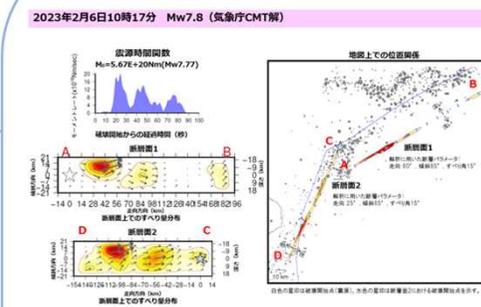
## 震源過程解析

2022年9月18日の台湾付近の地震（Mw7.0）、2023年2月6日のトルコの地震（10時17分：Mw7.8、19時24分：Mw7.6）で海外の広帯域地震波形を用いた解析を行った。台湾付近の地震は気象庁HPに公開、トルコの地震は地震調査委員会に報告した。

### 2022年9月18日の台湾付近の地震（Mw7.0）



### 2023年2月6日のトルコの地震（速報解）



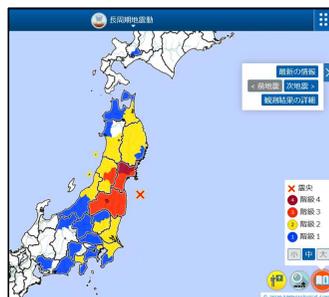
灰色の丸は2月6日10時17分のM7.8の地震から2月21日09時までに発生した地震の震源を示す。震源はヨーロッパ地中海地震学センターによる。青線はプレート境界を示す。

**長周期地震動に関する予測情報(緊急地震速報の改善)**  
 緊急地震速報の発表条件に長周期地震動階級の予測値を追加して提供。長周期地震動階級3以上を予測した場合でも、緊急地震速報(警報)を発表(R05.02.01~)。

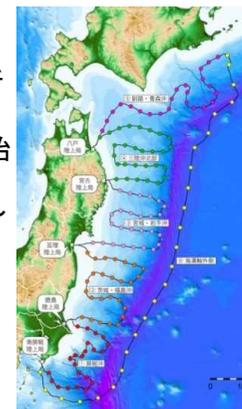
○緊急地震速報(警報)の発表条件 赤字:変更点

発表条件	震度5弱以上を予想した場合 + (または) 赤字:長周期地震動階級3以上を予想した場合
対象地域	震度4以上を予想した地域 + (または) 赤字:長周期地震動階級3以上を予想した地域

**長周期地震動に関する観測情報**  
 気象庁HPで提供してきた長周期地震動に関する観測情報をオンライン配信開始(R05.02.01~)。

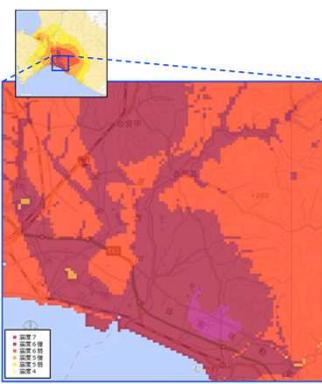


**日本海溝海底地震津波観測網の活用**  
 防災科学技術研究所のS-net観測データを、R01.06.27~活用開始(海溝軸外側の観測網についてはR02.03.24~活用開始)



画像提供: 防災科学技術研究所

**推計震度分布図の高度化**  
 推計震度分布図を  
 ・1kmメッシュ⇒250mメッシュに高解像度化  
 ・緊急地震速報の震度予測技術を活用して高精度化して提供(R05.02.01~)。

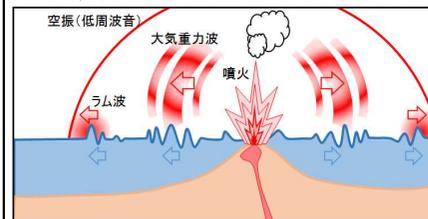


250mメッシュ推計震度分布図 (イメージ)

**北海道・三陸沖後発地震注意情報**  
 日本海溝・千島海溝で想定されている巨大地震の想定震源域やその周辺でMw7.0以上の地震が発生し、大規模地震の発生可能性が平常時より相対的に高まっている際に情報発表(R04.12.16~)

**火山噴火等による潮位変化に関する情報改善**  
 トンガ諸島での大規模噴火に伴う潮位変化を受けて情報改善。  
 ・火山噴火による潮位変化でも、「津波」として注意警戒を呼びかけ  
 ・火山噴火による気圧波に起因する潮位変化に対しては、日本に潮位変化が到達するまでの間に丁寧な解説や情報提供(R04.7.27~)

■大規模噴火による気圧波に伴う津波



火山噴火→気圧波の発生→潮位の変化

**火山噴火応急支援サイト(令和2年3月運用開始)**  
 火山噴火後の救助・捜索活動及び的確な防災対応を支援するため、最新の観測データを用いて火山の活動状況を解説する。そのため、自治体との双方向での情報交換を行う。



火山噴火応急対策支援サイト (Webを強化・拡充)

一般向けHPの強化も推進

