



気象レーダーを活用した 火山噴煙観測と降灰予報

気象庁 気象研究所
新堀 敏基

はじめに

• 大規模火山災害対策のための噴煙観測の必要性

2013年5月, 内閣府より「大規模火山災害対策への提言」

現状

- 我が国では, 総噴出量10億 m^3 を超える大規模噴火(VEI ≥ 4)は, 桜島の大正噴火(1914年)以降, 1世紀間, 発生していない
- 2011年3月の東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)以降, 大規模火山噴火の発生が危惧されている

重要な課題

- 大規模な溶岩流, 火砕流, 融雪型火山泥流, 降下火山礫, 降灰対策等, 多岐に渡る災害対策が必要
- 大規模噴火時, 昼夜全天候下で, リモートセンシング観測から噴火現象を即時的に把握できる技術研究が必要 \Leftrightarrow 降水観測の維持にとっても重要

噴火の規模

VEI (Volcanic Explosivity Index) : 火山爆発指数

噴火の規模 ~ エネルギー ~ 噴出物量

VEI	テフラ噴出量(m ³)	規模	過去の主な噴火
8	>10 ¹²	巨大	Yellowstone (更新世), Toba (73000年前)
7	10 ¹¹ ~10 ¹²		鬼界カルデラ (7300年前), Tambora (1815)
6	10 ¹⁰ ~10 ¹¹	非常に大規模	Krakatau (1883), Pinatubo (1991)
5	10 ⁹ ~10 ¹⁰		Vesuvius (79), 榛名山 (550), 浅間山 (1108), 北海道駒ヶ岳 (1640), 有珠山 (1663), 樽前山 (1667), 富士山(1707), St. Helens (1980)ほか
4	10 ⁸ ~10 ⁹	大規模	浅間山 (1783), 桜島 (1914), Eyjafjallajökull (2010) など多数
3	10 ⁷ ~10 ⁸	やや大規模	伊豆大島 (1986), 三宅島 (2000), 新燃岳 (2011) など多数
2	10 ⁶ ~10 ⁷	中規模	浅間山 (2004) など多数
1	10 ⁴ ~10 ⁶	小規模	桜島 (近年)
0	<10 ⁴	非爆発的	

国内の活火山

- 概ね過去1万年以内に噴火した火山と現在活発な噴気活動のある火山
- 全国で110(全世界の約10%)



内 容

- (小規模) 2013年8月18日桜島(昭和火口)噴火の事例
 - 移流拡散モデルによる降灰予報の必要性
- (中規模) 2011年1月26～27日霧島山(新燃岳)噴火の事例
 - 気象レーダーによる噴煙観測の有効性
- (大規模) 1914年1月12日桜島大正噴火の事例
 - 大規模噴火で想定される噴煙観測および降灰予測

事例1：小規模噴火(VEI=1) 2013年8月18日桜島(昭和火口)噴火



第4図 桜島 8月18日16時31分に発生した昭和火口の爆発的噴火の状況

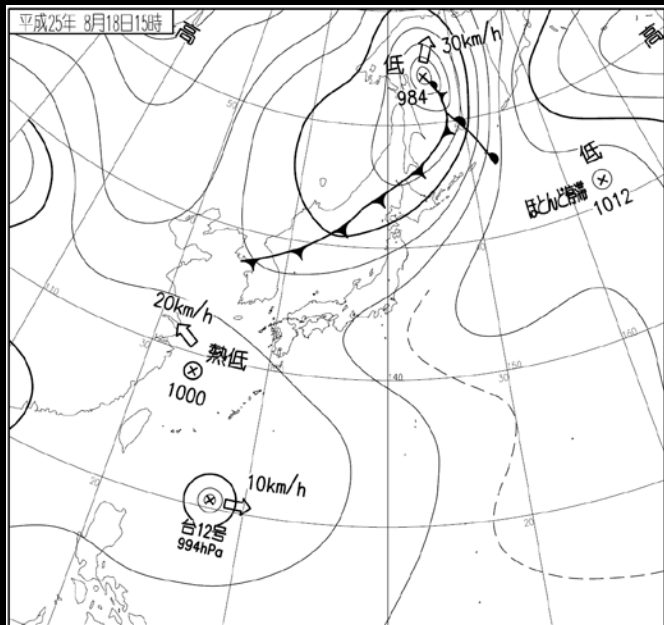
(鹿児島地方気象台(東郡元)から撮影)

左図：噴煙上昇中の状況(16時35分頃)

右図：鹿児島市内方向へ噴煙が流れている状況(17時45分頃)

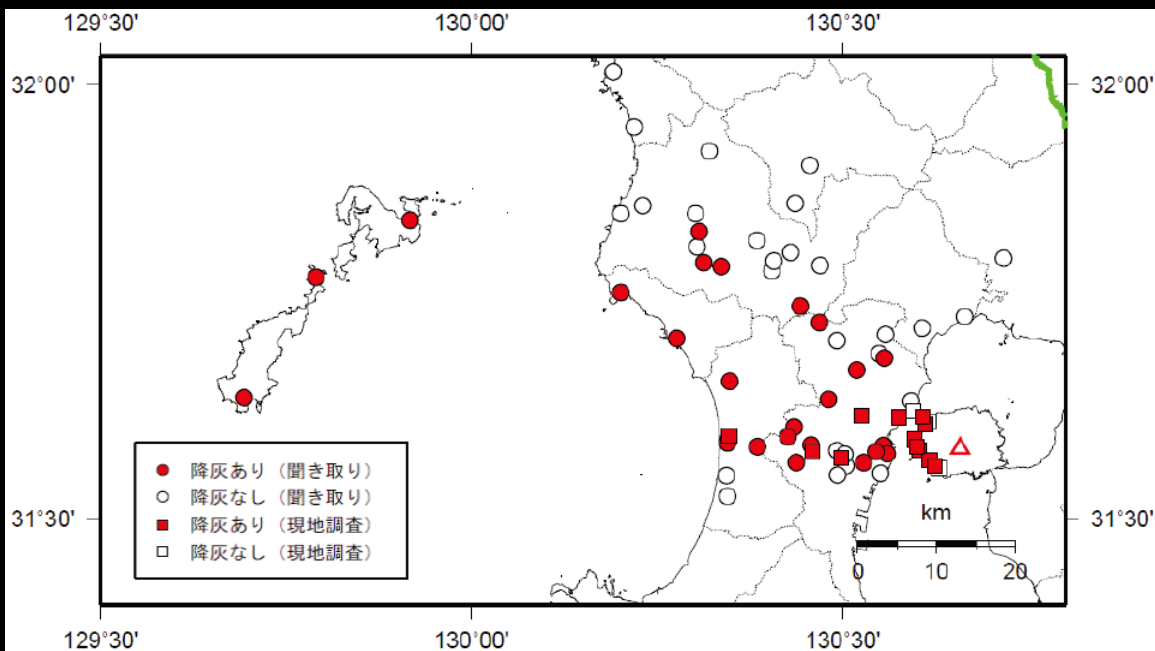
多量の噴煙が火口縁上5,000mに達し、北西へ流れた。

2013年8月18日桜島(昭和火口)噴火 降灰状況



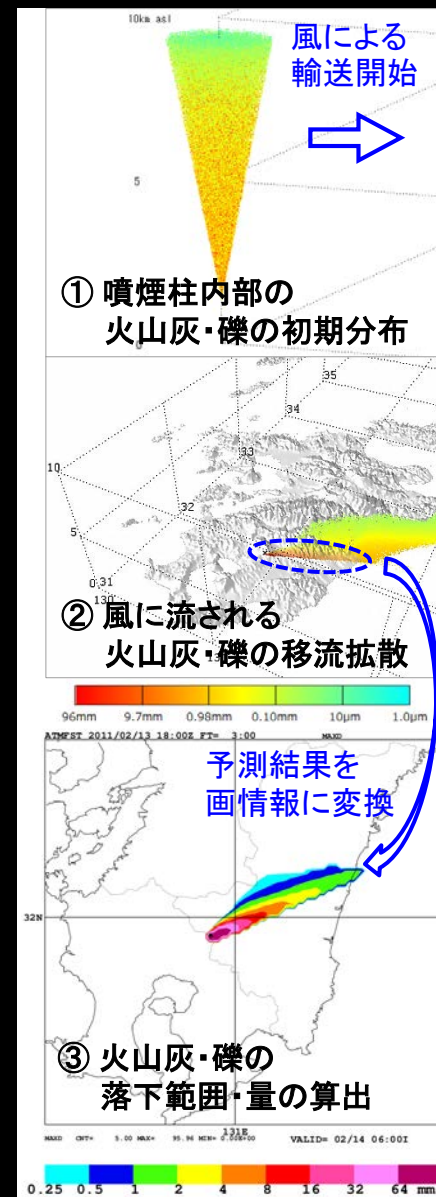
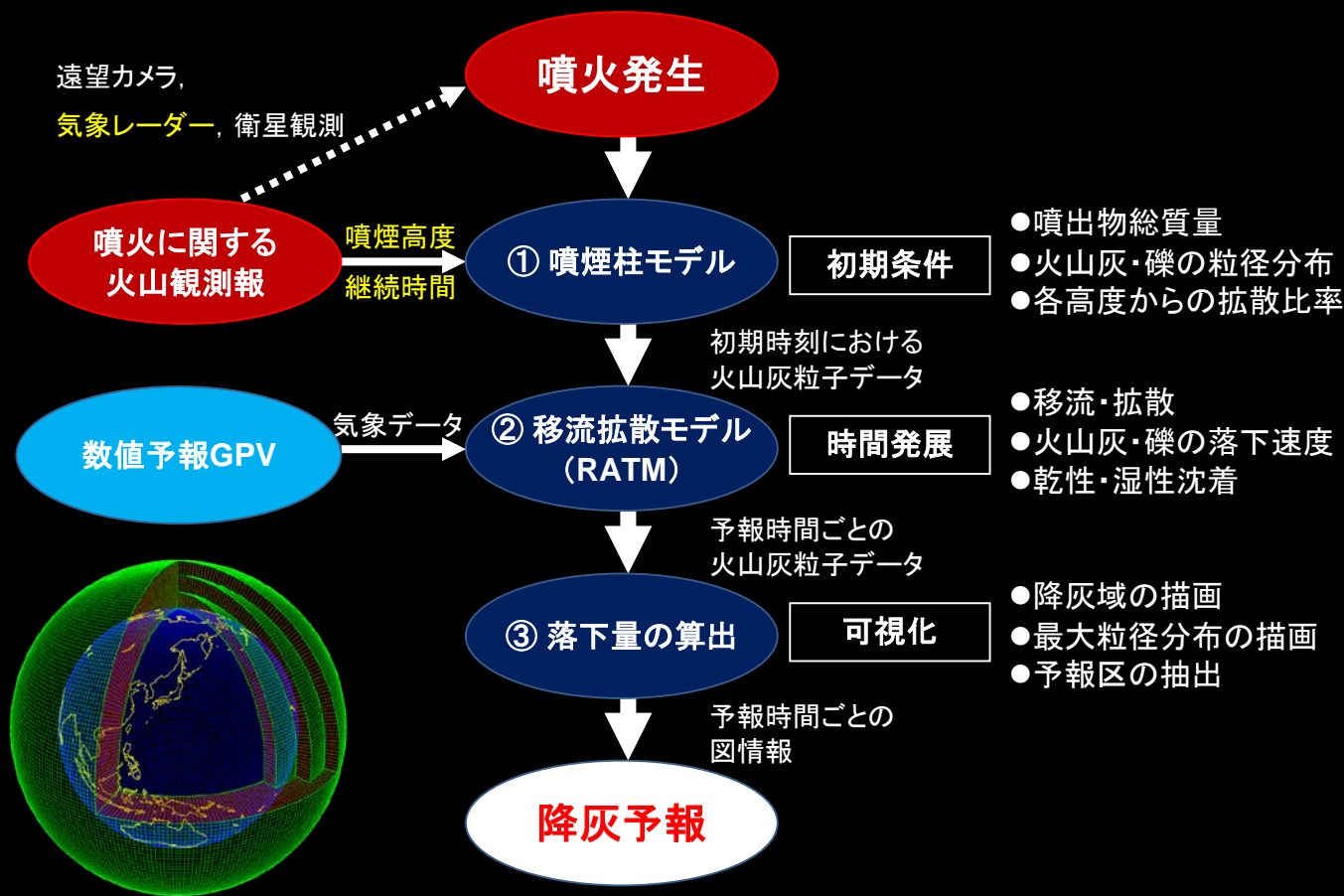
2013年8月18日15時の天気図

鹿児島中央駅付近の降灰状況(8月18日17時10分頃)



第6図 桜島 8月18日16時31分に発生した爆発的噴火による降灰が確認された地点
鹿児島地方気象台による現地調査および聞き取り調査の結果、桜島島内を含む鹿児島市内から薩摩川内市飯島にかけての広範囲で降灰が確認された。

- このような降灰が予想される場合，気象庁では**降灰予報**を発表
- その予測方法は，気象研究所で開発している**領域移流拡散モデル(JMA-RATM)**による



(用語)

GPV (Grid Point Value): 気象庁数値予報モデルの格子点値

RATM (Regional Atmospheric Transport Model): GPVを入力値とする気象庁領域移流拡散モデル

2013年8月18日桜島(昭和火口)噴火 発表された降灰予報

火山名 桜島 降灰予報

平成25年8月18日 16時52分


福岡管区气象台・鹿児島地方气象台・気象庁地震火山部

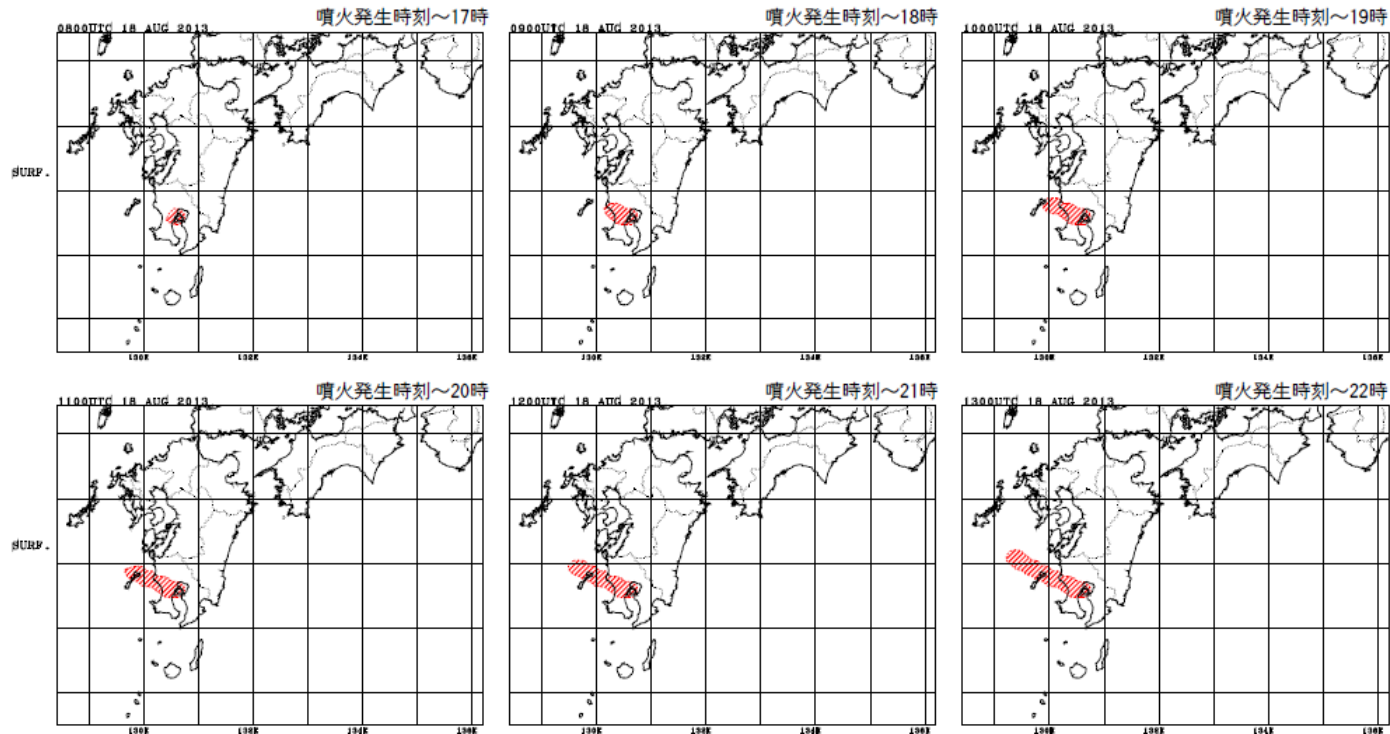
18日16時31分に桜島で噴火が発生し、噴煙は火口縁上5000mまで上がりました。
以下の地域では、降灰が予想されます。

鹿児島県 [福岡管区气象台・鹿児島地方气象台 発表]

この予報は、18日22時までを対象としています。

■図の見方

各図には、噴火発生時刻
から各図に示す当該時刻ま
でに降灰が予想される領域
を  で示しています。



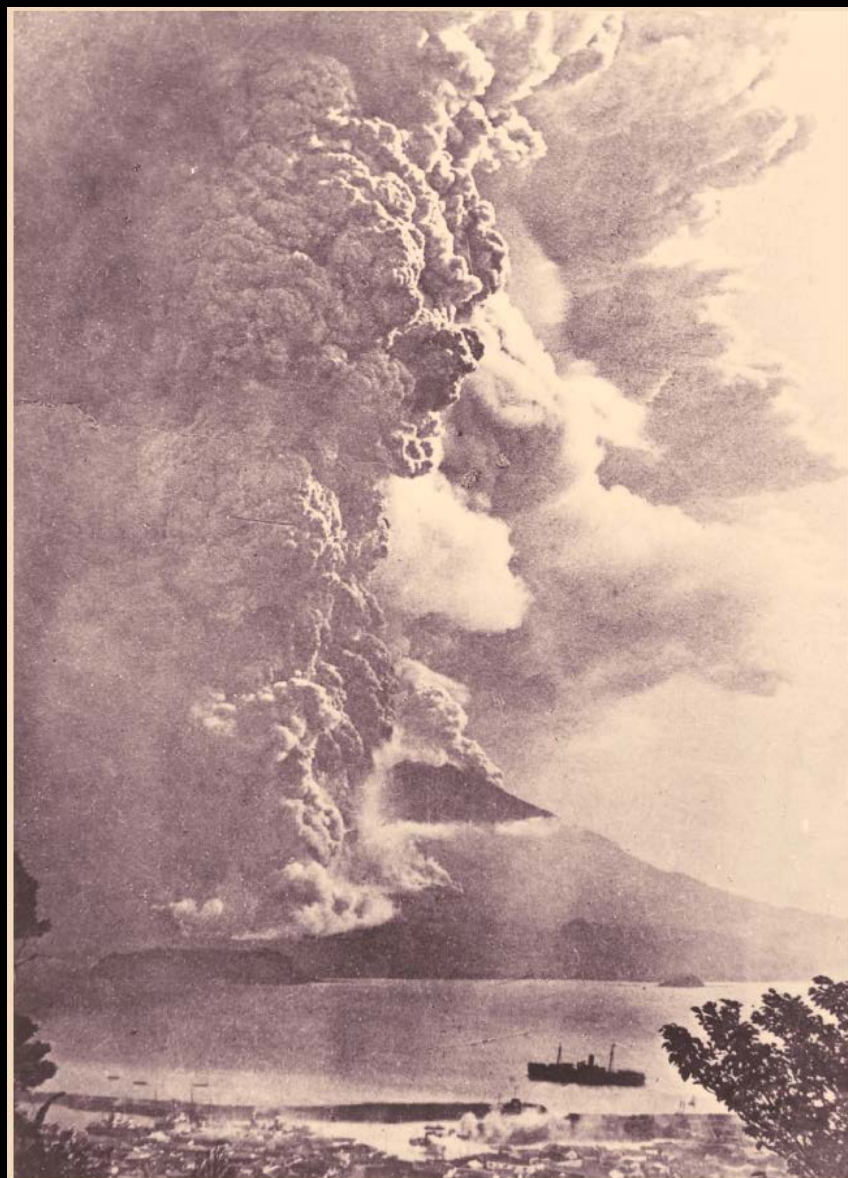
✓ 現在の降灰予報は、噴火開始から6時間先までの降灰域の予想のみ

事例2: 大規模噴火 (VEI=4)

1914年1月12日

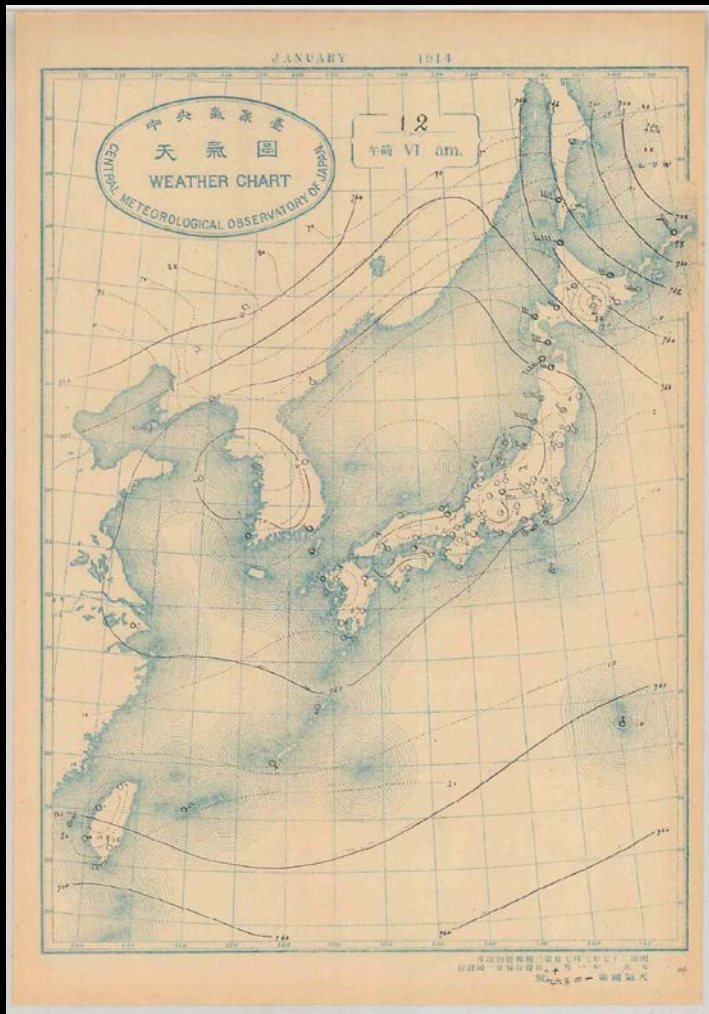
桜島大正噴火

- 今から100年前の大正3年に発生
- 噴火開始: 1月12日10時05分
- 噴煙高度: 最高18,000 m (推定)
- 噴出物総量 (火山灰・礫): 6億 m^3
噴火開始から約1日半で噴出



1914年1月12日10時30分頃
桜島大正噴火100周年記念誌 (2014) より

桜島大正噴火 降灰状況(近地)

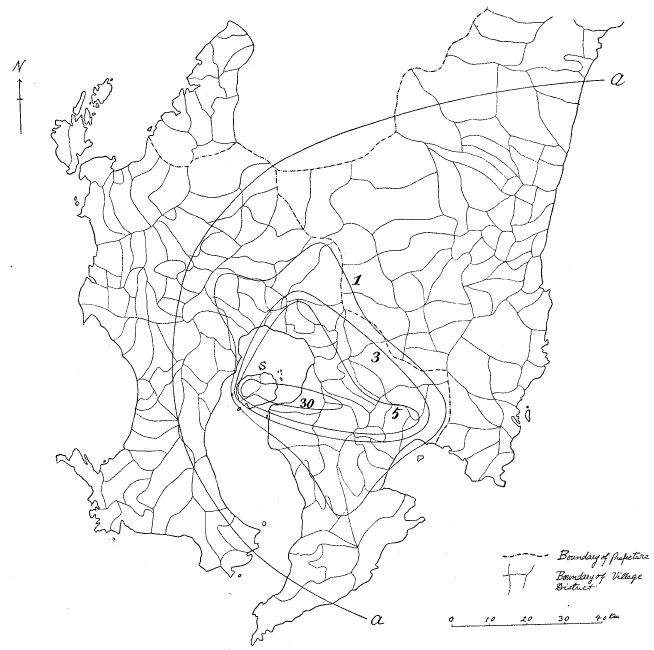


1914年1月12日06時の天気図

Sakura-jima Eruption of 1914.

Fig. 33. Map showing the approximate Ash-distribution in the S. Portion of Kyushu.

The four inner curves are lines respectively of 30; 5; 3; and 1 *sm* accumulation. (1 *sm*=0.1 foot very nearly). The outermost curve (a) marks the boundary of the area of a slight ash-precipitation, about 0.1 *sm* or so. S...Sakura-jima.

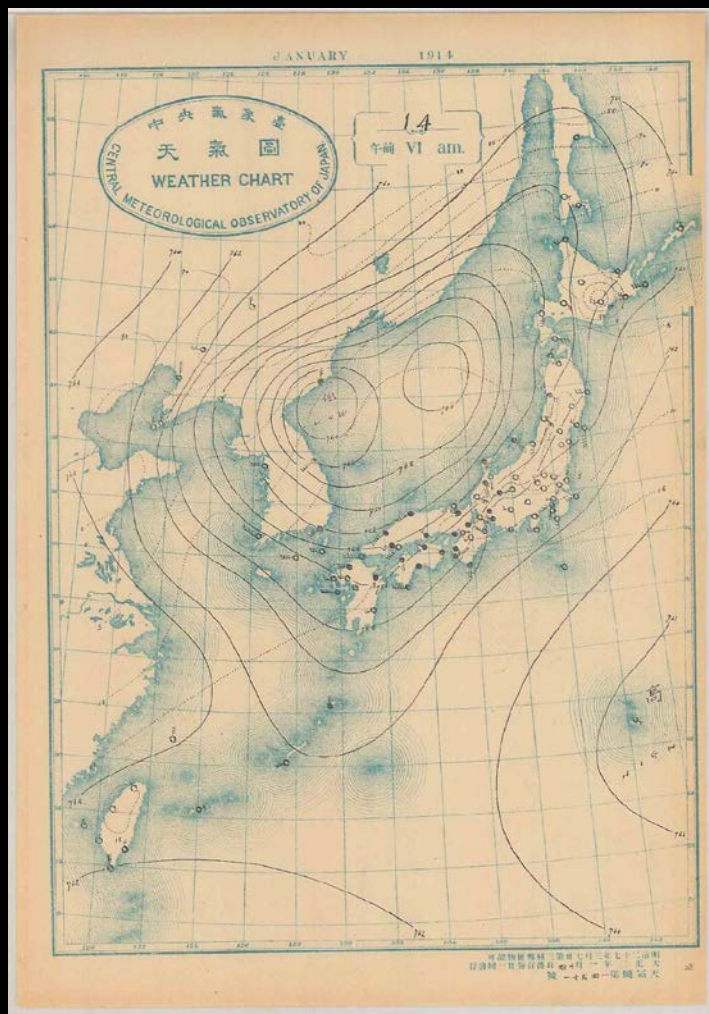


単位:寸(×3.03 cm)

大森, 震災予防調査会紀要8(1916)113

➤桜島島内は1 m以上の降灰

桜島大正噴火 降灰状況(遠地)



1914年1月14日06時の天気図



長谷川, 中央气象台気象要覧170(1914)1

➤東北地方でも降灰が確認

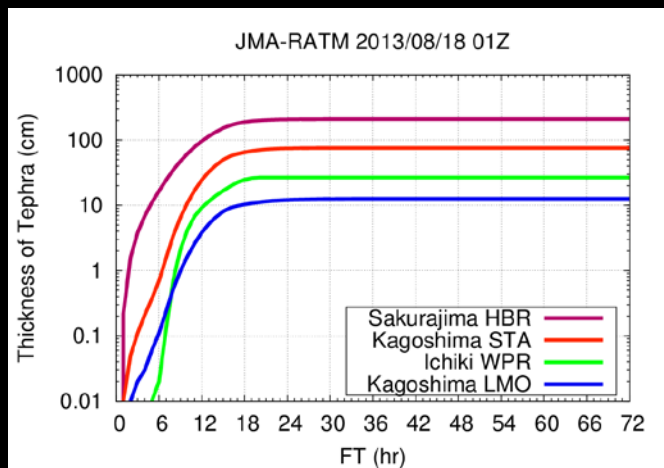
RATMによる予想降灰量

噴火開始から36時間先まで(積算)

仮定1:

2013年8月18日噴火が大正規模の場合

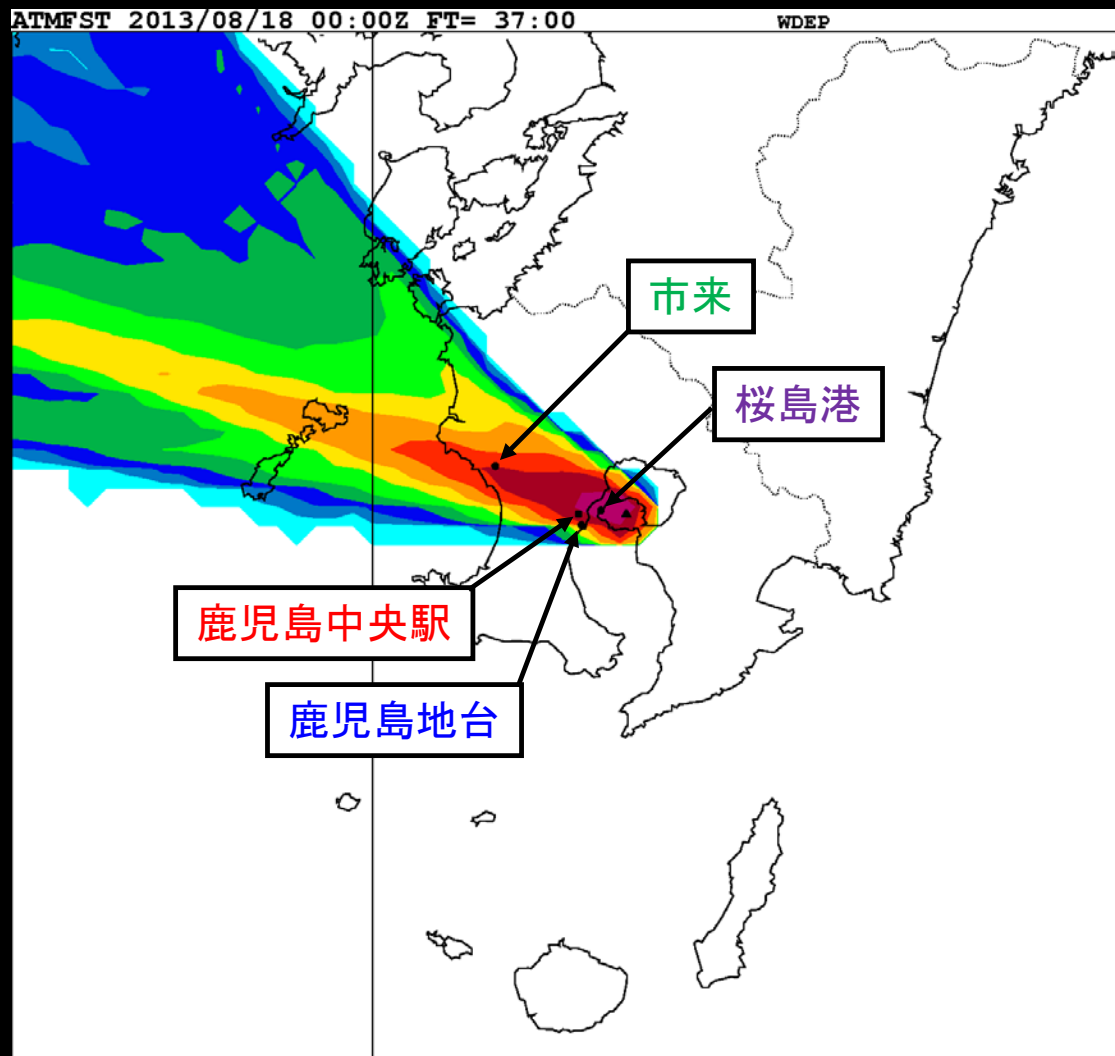
各地点の予想降灰量(近地)



軽石(密度: 1 g/cm^3)の場合,

- 桜島島内で1 m以上
- 鹿児島市内で数10 cm

の降灰が予想



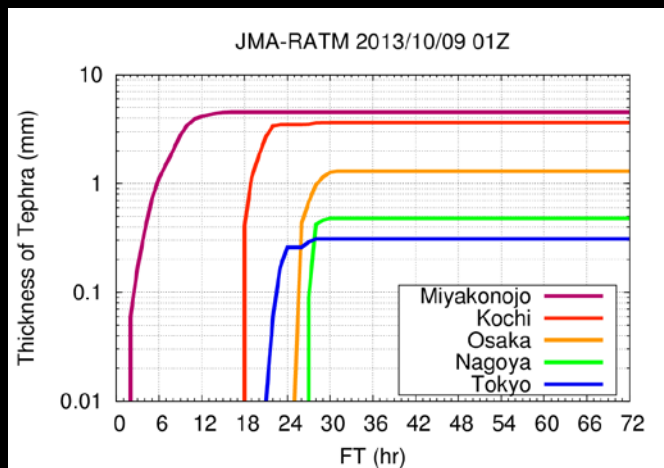
RATMによる予想降灰量

噴火開始から72時間先まで(積算)

仮定2:

大正噴火のときと同様、
南西風が卓越する場合
(2013年10月9日の気象場)

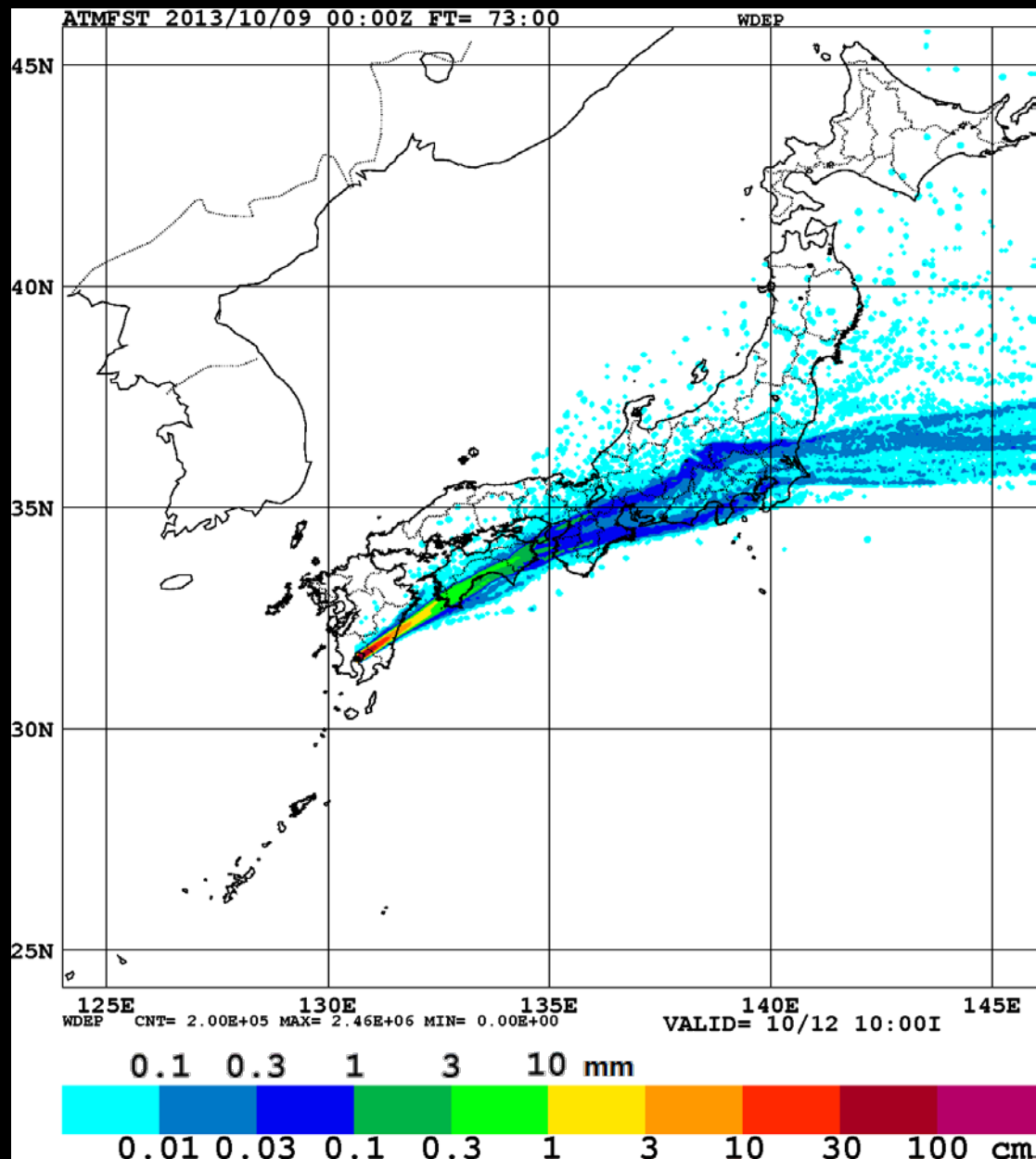
各地点の予想降灰量(遠地)



軽石(密度: 1 g/cm³)の場合,

- 大阪で1 mm程度
- 名古屋, 東京で0.1~1 mm
- 東北・北海道地方まで

降灰が予想



降灰量の階級表

『降灰予報の高度化に向けた提言(平成25年3月, 気象庁)』より

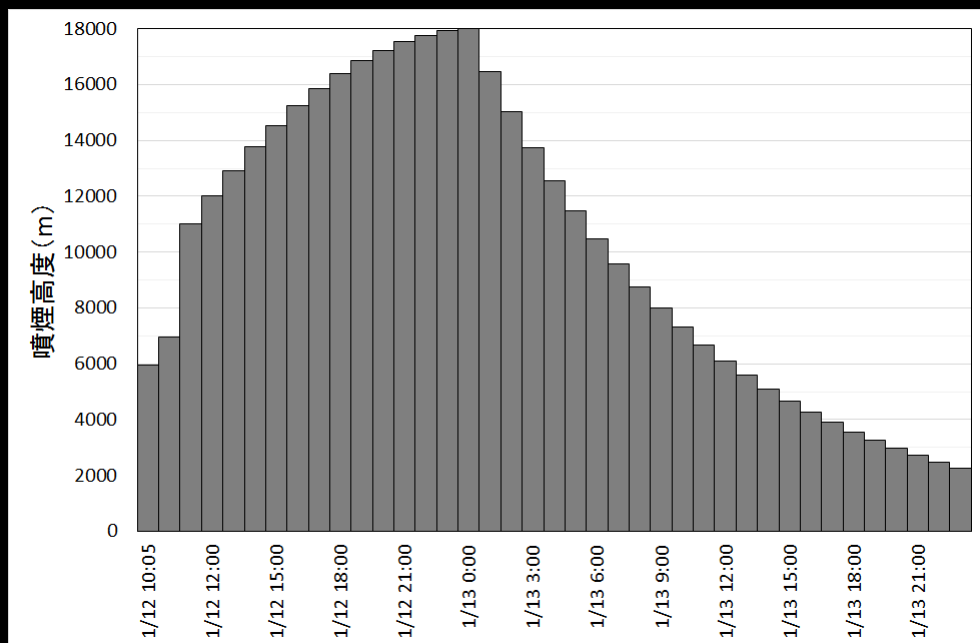
名称	表現例			影響ととるべき行動		その他の影響
	厚さ キーワード	イメージ※1		人	道路	
		路面	視界			
多量	1mm 以上 【外出を控える】	完全に覆われる 	視界不良となる 	外出を控える 慢性の喘息や肺気腫が悪化し健康な人でも目・鼻・のど・呼吸器などの異常を訴える人が始める	運転を控える 降ってくる火山灰や積もった火山灰をまきあげて視界不良となり、通行規制や速度制限等の影響が生じる	がいしへの火山灰付着による停電発生や上水道の水質低下及び給水停止のおそれがある
やや多量	0.1mm ≤ 厚さ < 1mm 【注意】	白線が見えにくい 	明らかに降っている 	マスク等で防護 喘息患者や呼吸器疾患を持つ人は症状悪化のおそれがある	徐行運転する 短時間で強く降る場合は視界不良の恐れがある 道路の白線が見えなくなるおそれがある(およそ0.1~0.2mmで鹿児島市は除灰作業を開始)	稲などの農作物が収穫できなくなったり※2、鉄道のポイント故障等により運転見合わせのおそれがある
少量	0.1mm 未満	うっすら積もる 	降っているのが ようやくわかる	窓を閉める 火山灰が衣服や身体に付着する 目に入ったときは痛みを伴う	フロントガラスの除灰 火山灰がフロントガラスなどに付着し、視界不良の原因となるおそれがある	航空機の運航不可※2

※1 掲載写真は気象庁、鹿児島県、(株)南日本新聞社による

※2 富士山ハザードマップ検討委員会(2004)による想定

降灰予測に必要な観測データ

桜島大正噴火を想定した噴煙高度の時間変化



予測に用いた仮定

噴出物総質量(火山灰・礫):

6億ton

噴煙高度:

およそ3,000~18,000 m

継続時間:

38時間(噴火開始10時05分)

井口, 桜島大正噴火「防災」100年式典
講演資料(2014)などに基づく

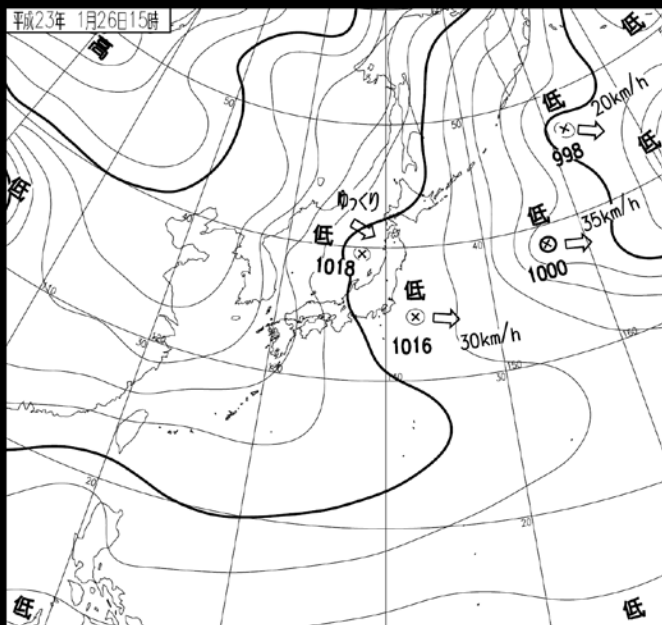
- 精確に予測するためには、**観測データに基づく初期条件**が必要
- 大正噴火当時は目撃資料しかなく、**仮定した噴煙高度は推定**(上図)
- 噴煙高度の観測値は、**降灰の範囲と量の双方の予測に影響**するのでとても重要
- 高度や粒径など、噴煙状態をリアルタイムで観測できる可能性
 - **気象レーダー、衛星などのリモートセンシングデータ**
- 気象レーダーが噴煙観測にも威力を発揮した近年の事例を次に紹介

事例3：中規模噴火 (VEI=3)

2011年1月26～27日霧島山(新燃岳)噴火



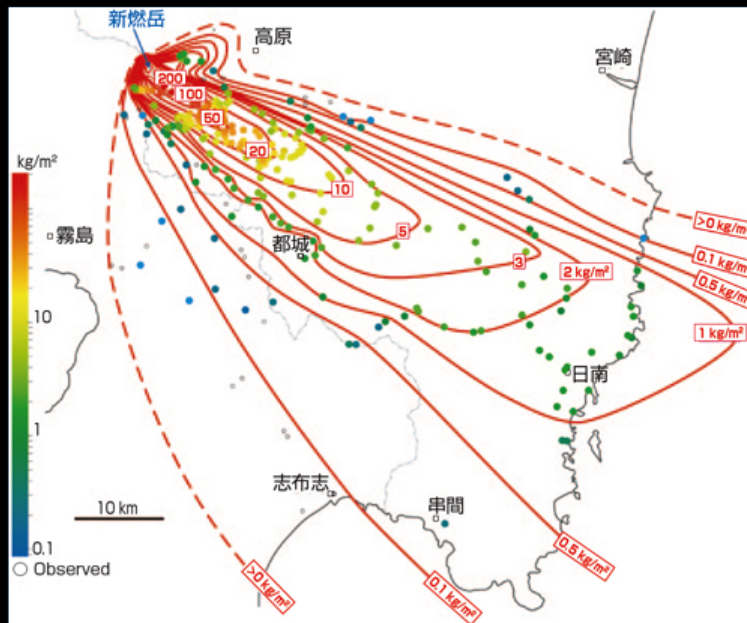
2011年1月26～27日新燃岳噴火 降灰状況



2011年1月26日15時の天気図

新燃岳の火山灰が降り積もる中、マスク姿で登校する子供たち＝28日午前7時45分、都城市 (asahi.comより)

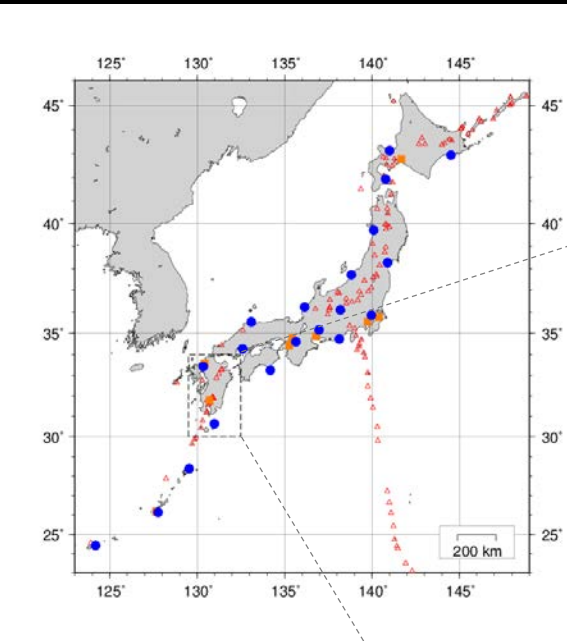
新燃岳噴火の影響で、宮崎空港発着の航空便には欠航が相次いだ＝28日午前10時27分、宮崎市 (asahi.comより)



現地調査に基づく降灰量

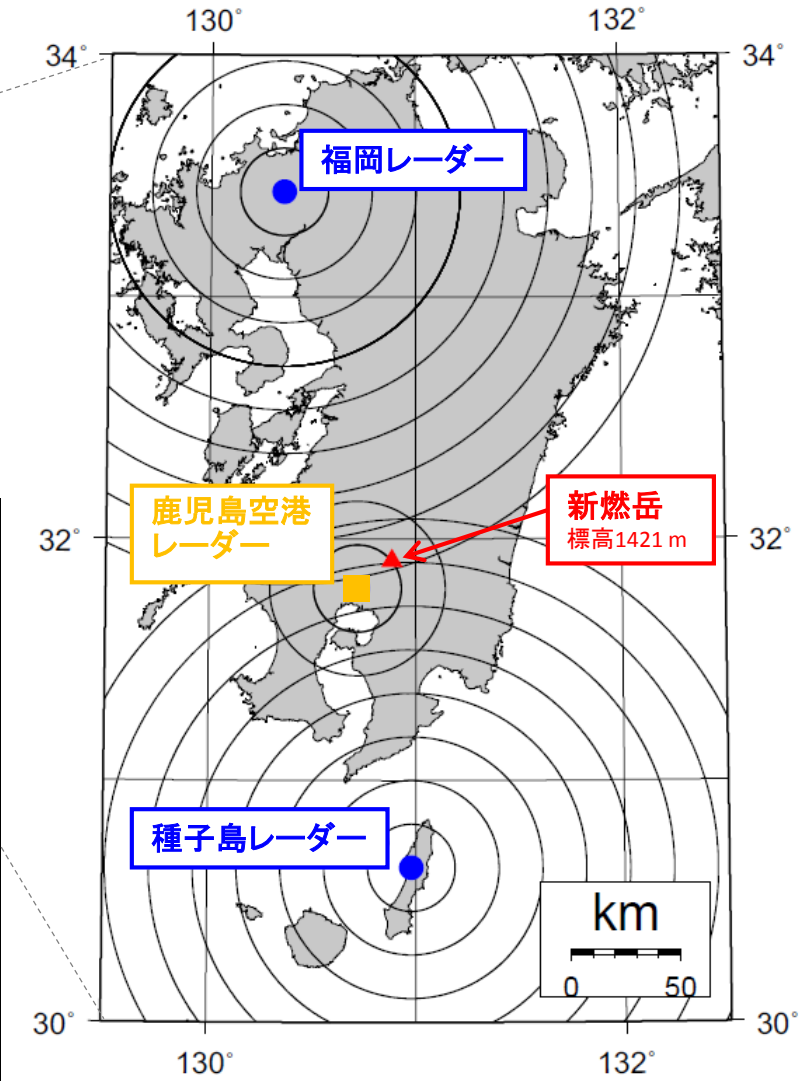
国土交通省・気象庁レーダー観測網

(右図) 気象庁Cバンド
レーダー観測網
(2014年2月現在)

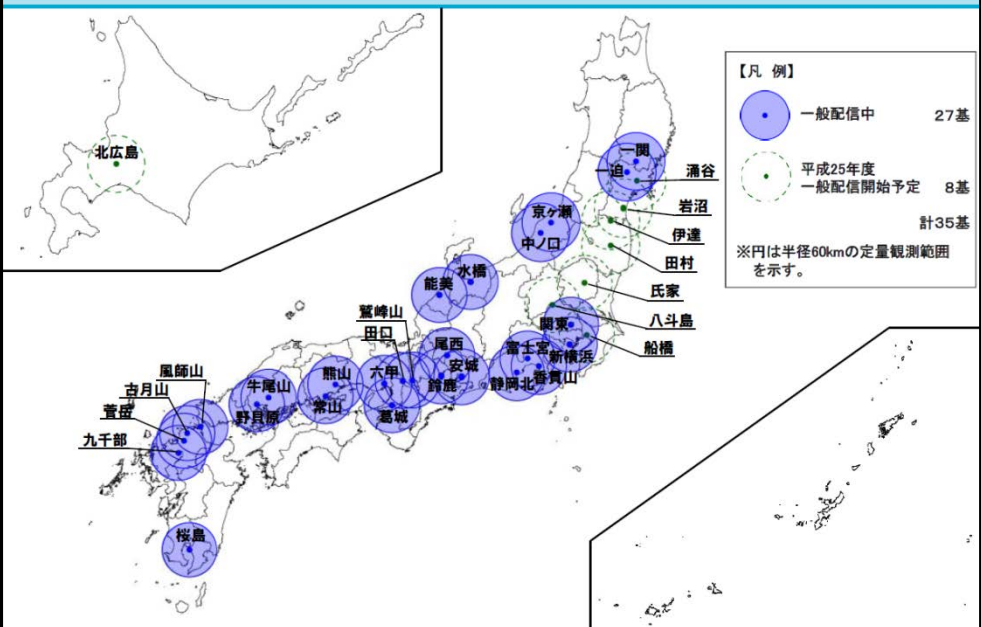


- 気象ドップラーレーダー 20基
- 空港気象ドップラーレーダー 9基
- △ 活火山 110山

(下図) 国土交通省Xバンド
レーダー観測網
(平成25年6月13日
国土交通省報道発表資料より)



XRAINの整備状況(平成25年度一般配信予定含む)

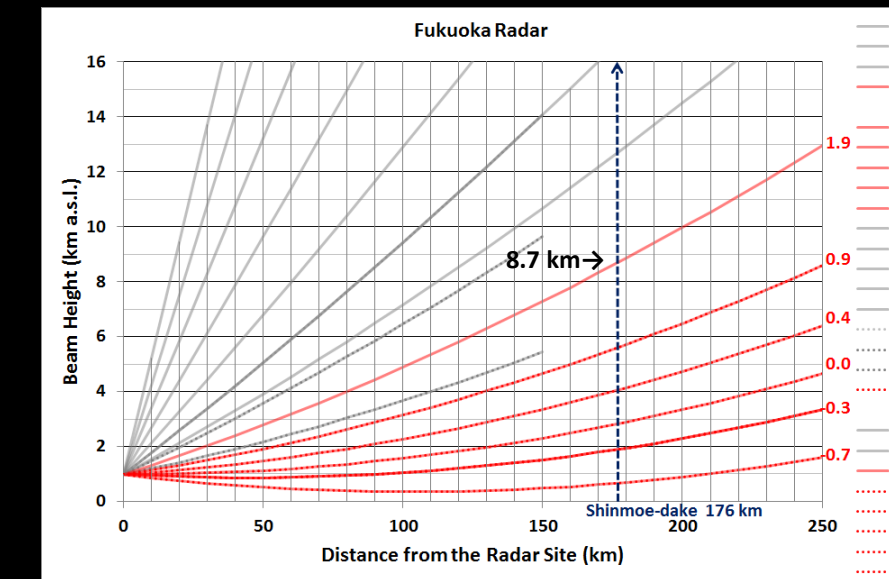
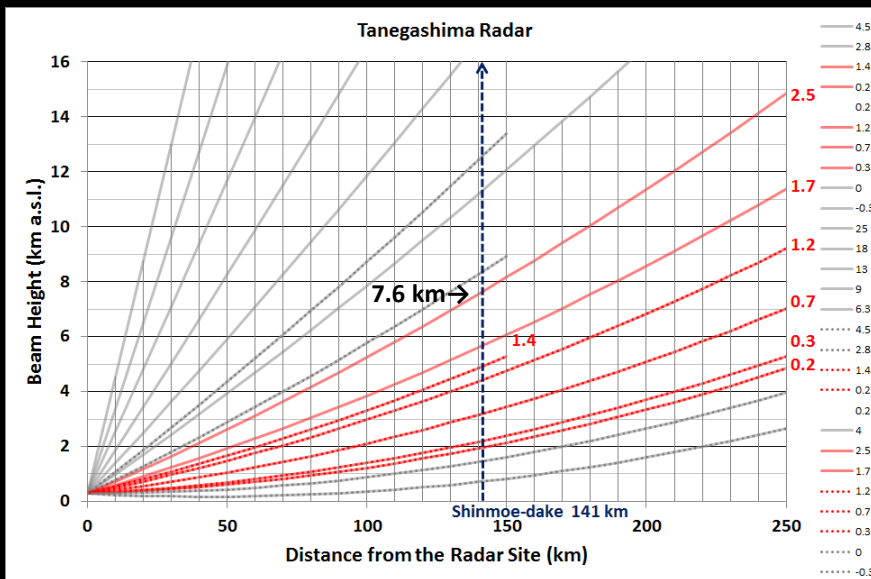
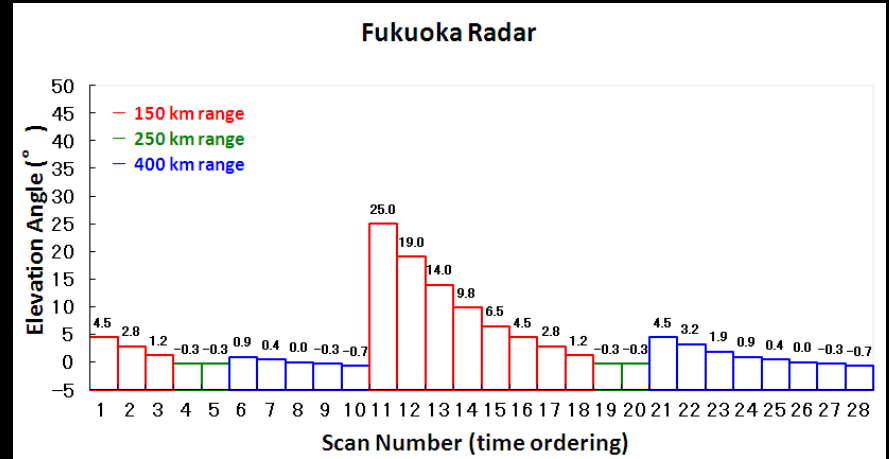
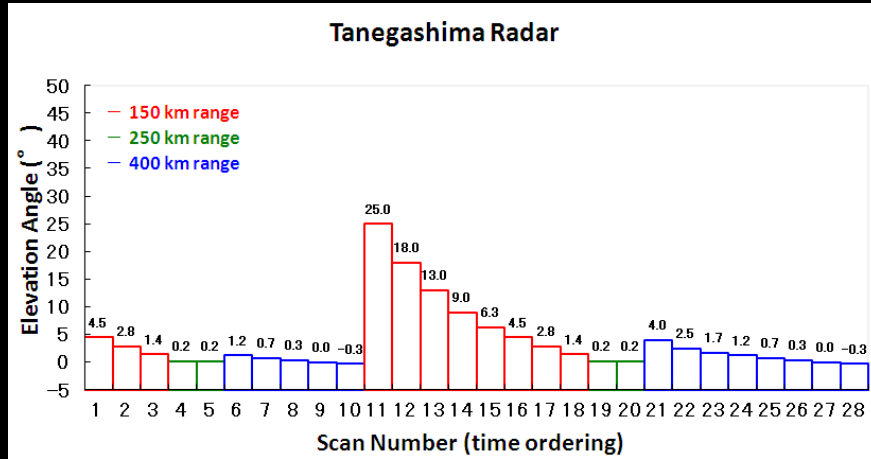


2011年新燃岳噴火を捉えた気象レーダー

観測仰角 (種子島・福岡レーダー)

種子島レーダー

福岡レーダー



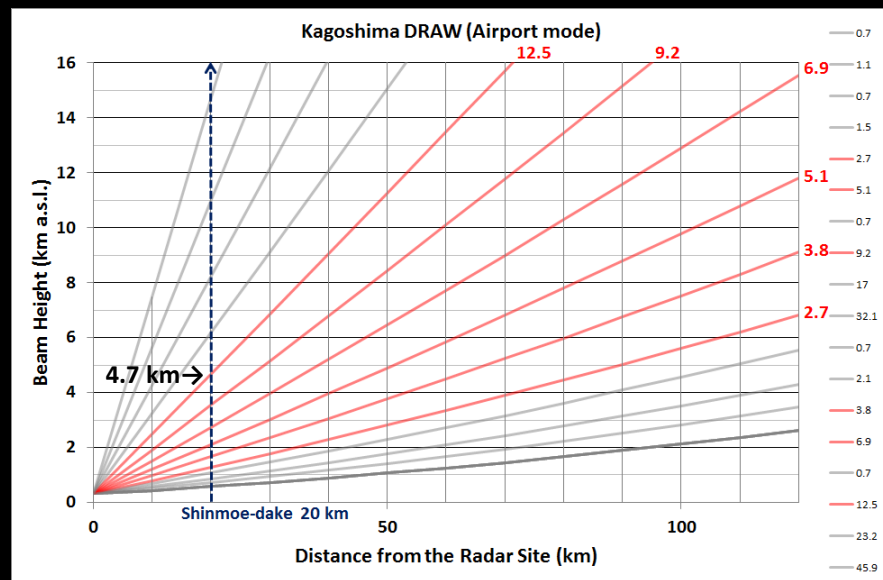
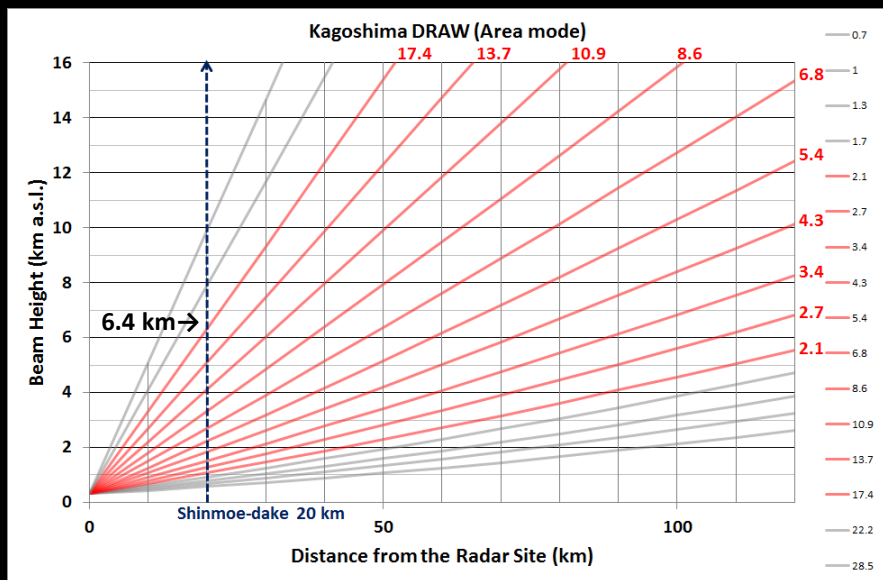
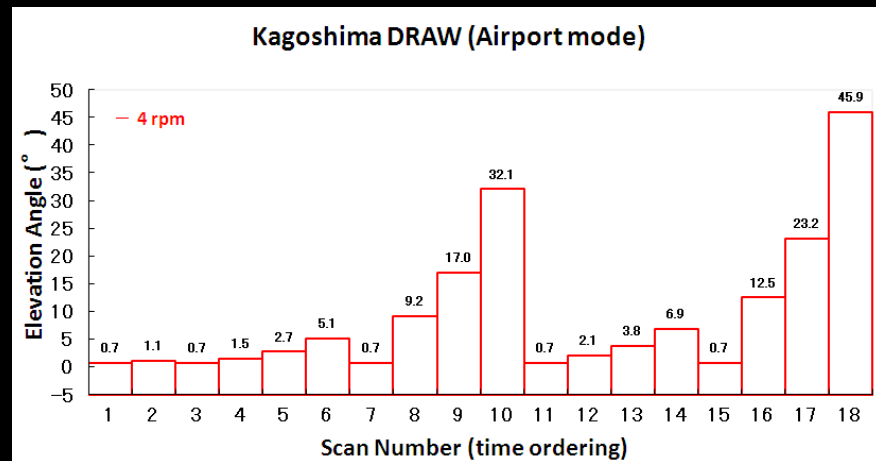
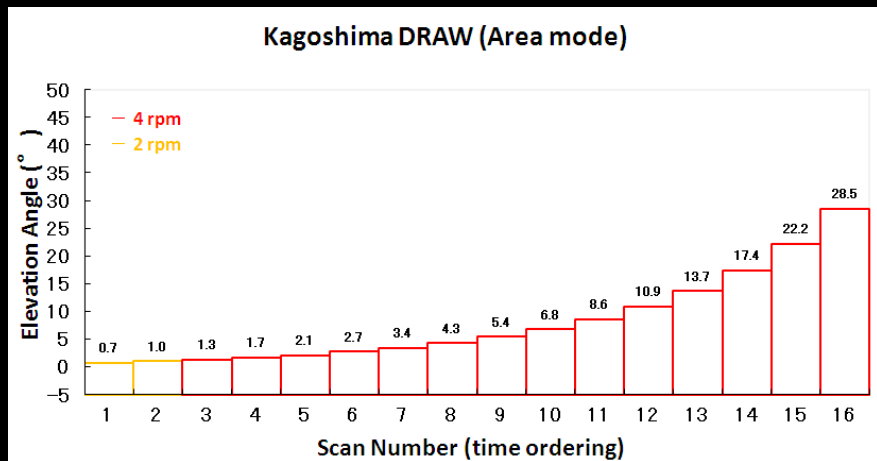
新燃岳上空でのビーム幅の広がり: 2600 m

赤線: 2011年に新燃岳の噴煙エコーが観測された仰角

新燃岳上空でのビーム幅の広がり: 3100 m

観測仰角 (鹿児島空港レーダー)

空域モード 飛行場モード

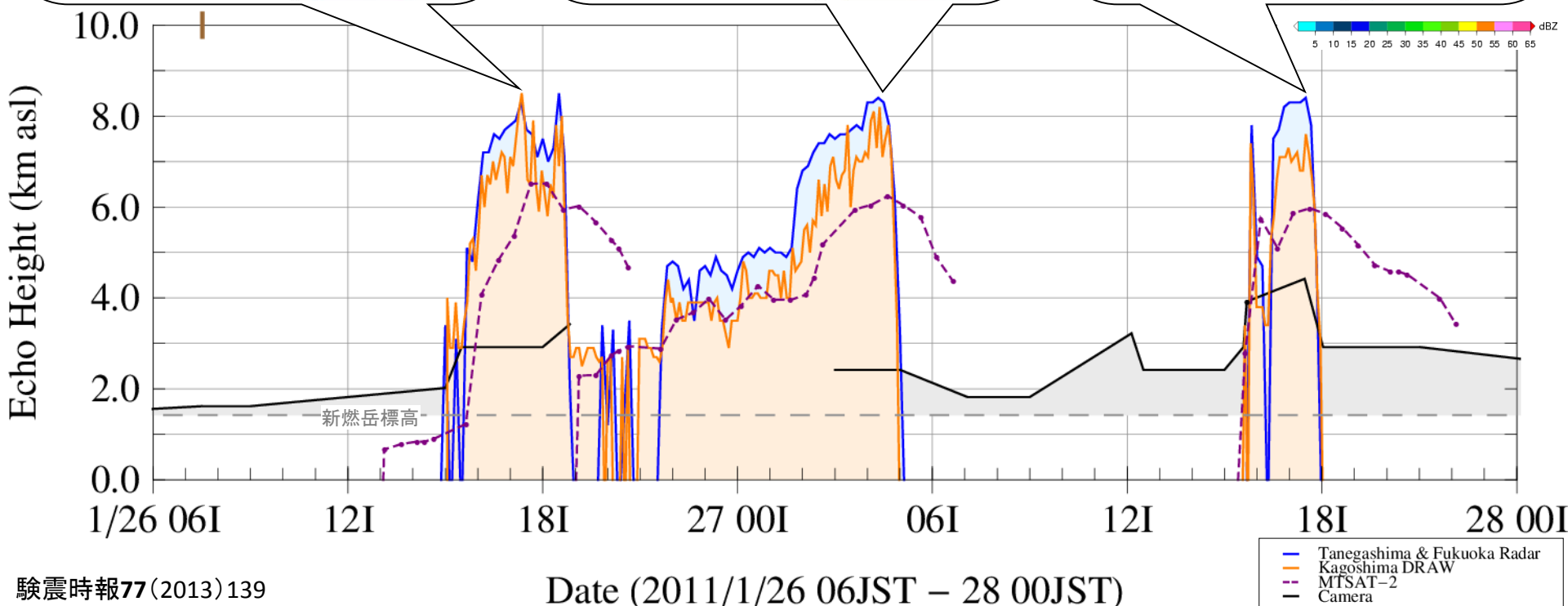
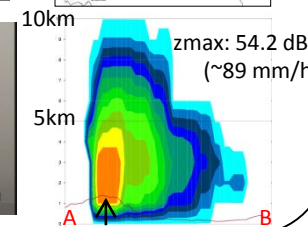
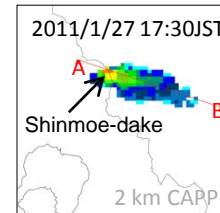
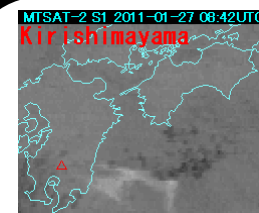
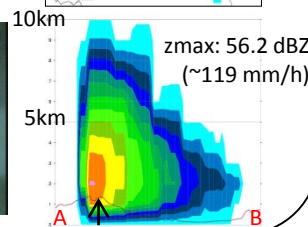
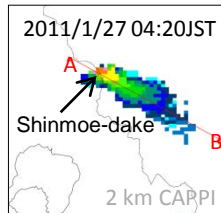
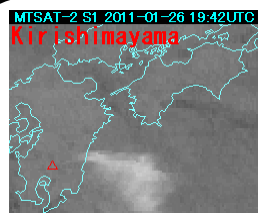
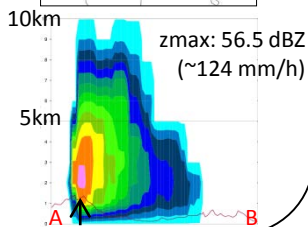
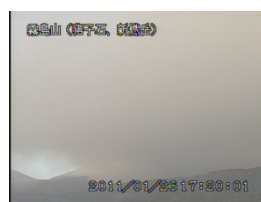
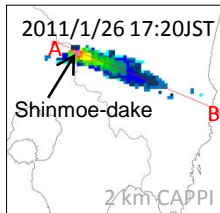
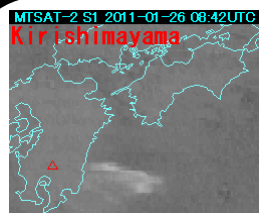


新燃岳上空でのビーム幅の広がり: 210 m
 赤線: 2011年に新燃岳の噴煙エコーが観測された仰角

新燃岳上空でのビーム幅の広がり: 210 m

気象レーダーによる火山噴煙の観測事例

2011年1月26日15時～28日00時 新燃岳噴火に伴う噴煙エコー頂高度の時間変化



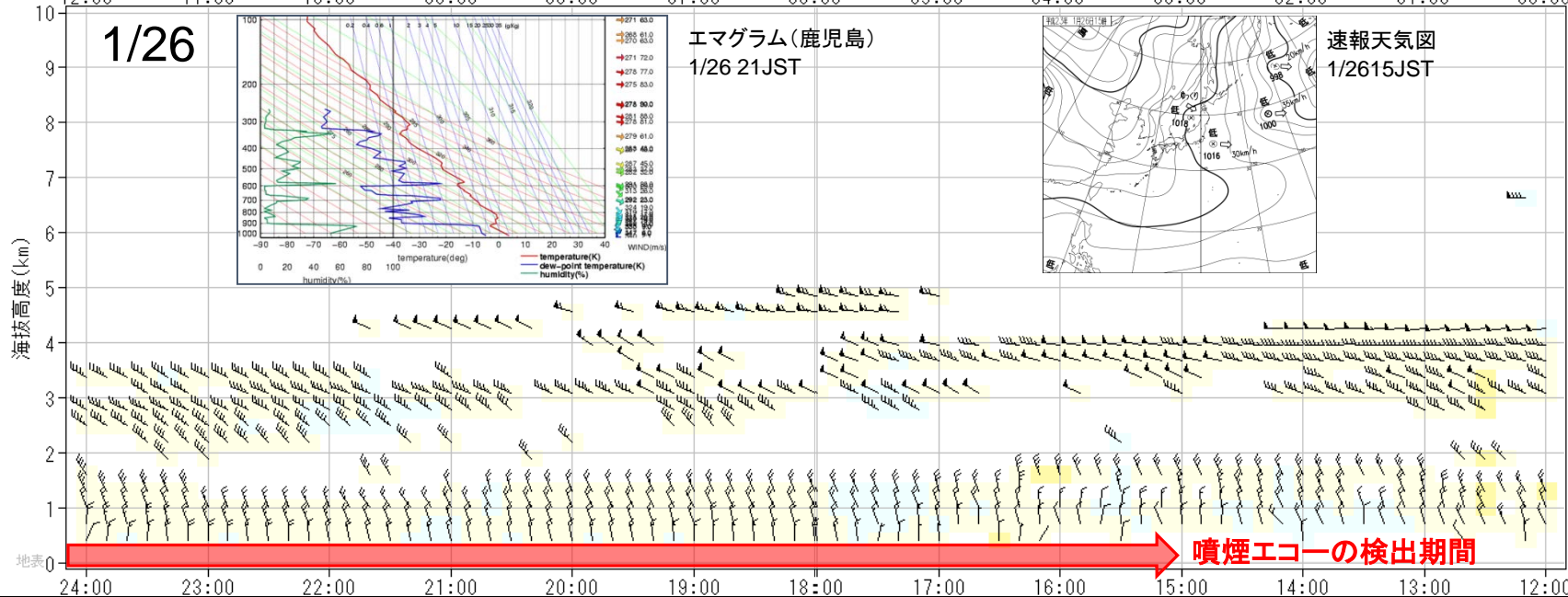
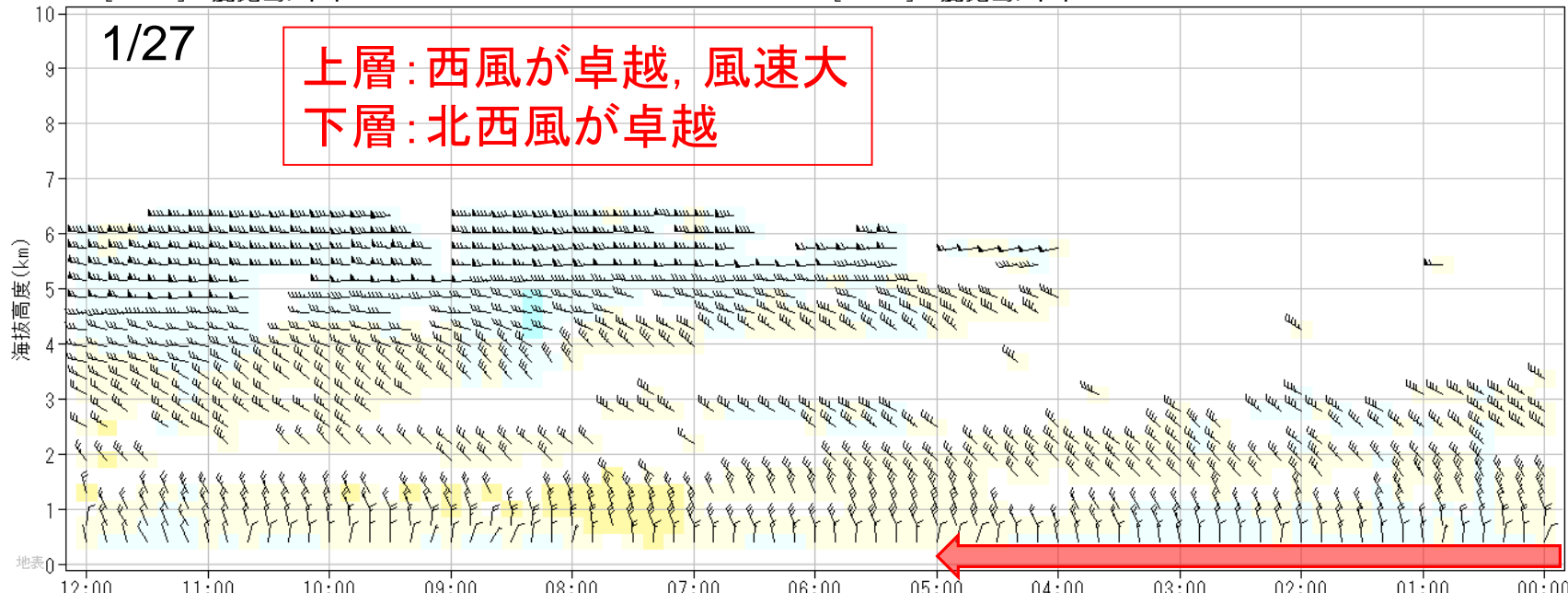
風の場

ウインド・プロファイラ(鹿児島市来)2011年1月26日12時~27日12時

[47848] 鹿児島/市来

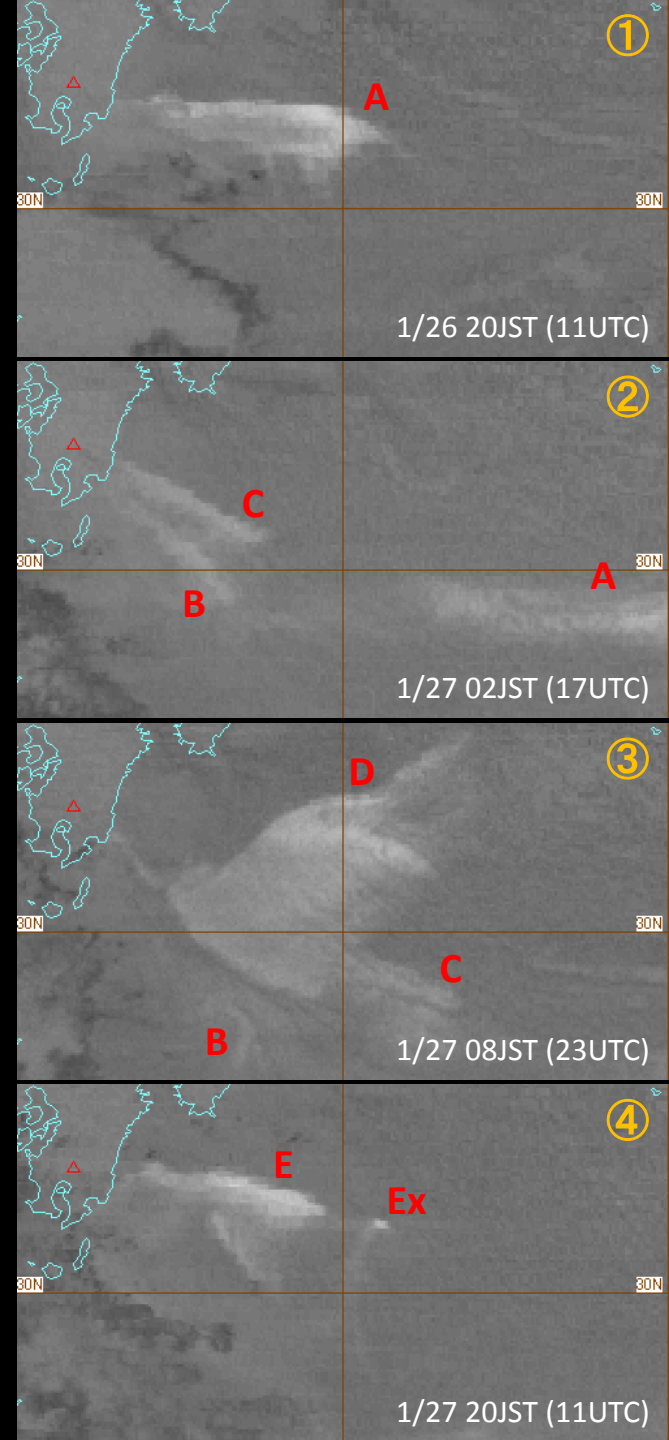
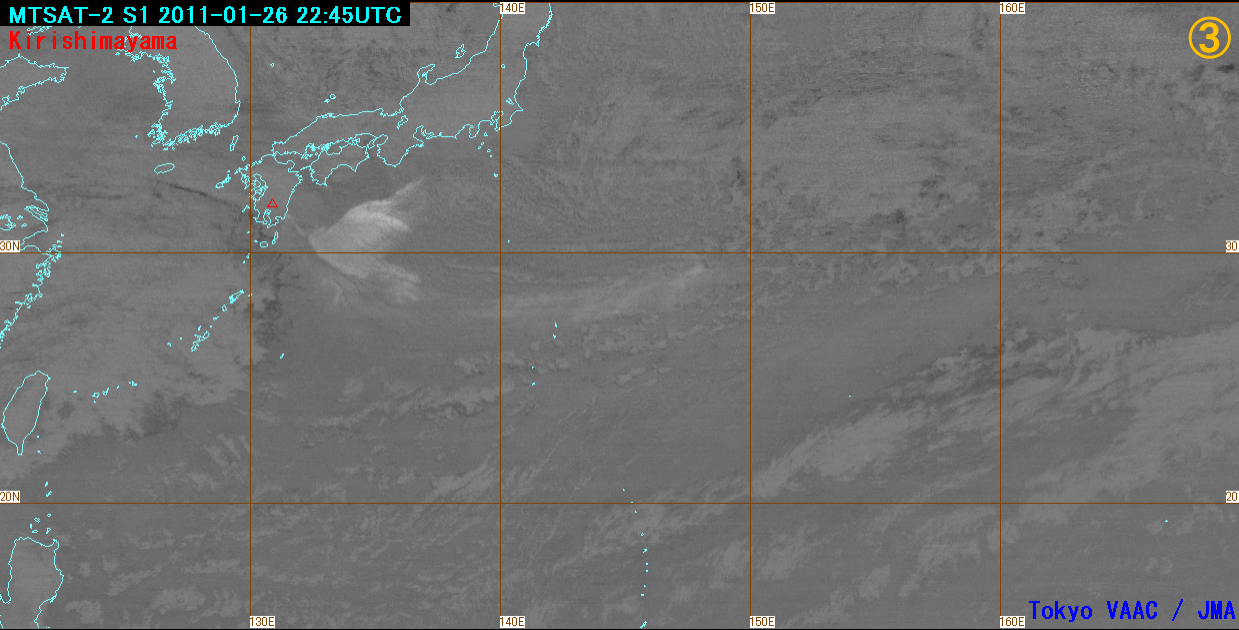
(北緯31.71°, 東経130.32°, 標高 25m) [47848] 鹿児島/市来

(北緯31.71°, 東経130.32°, 標高 25m)

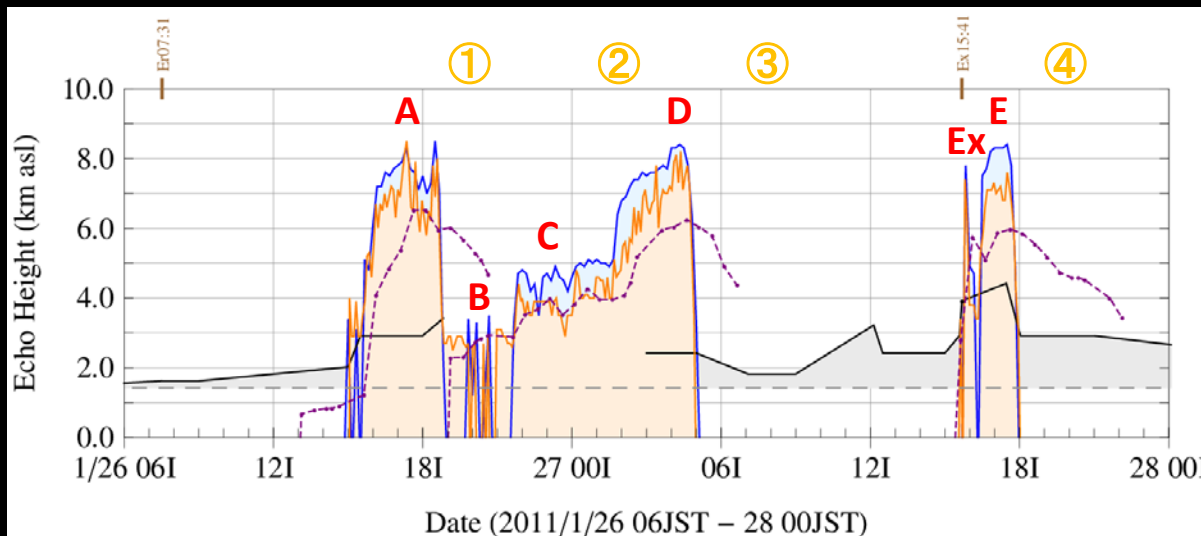


気象衛星画像 ひまわり7号の赤外差分

2011年1月26日06時～28日06時

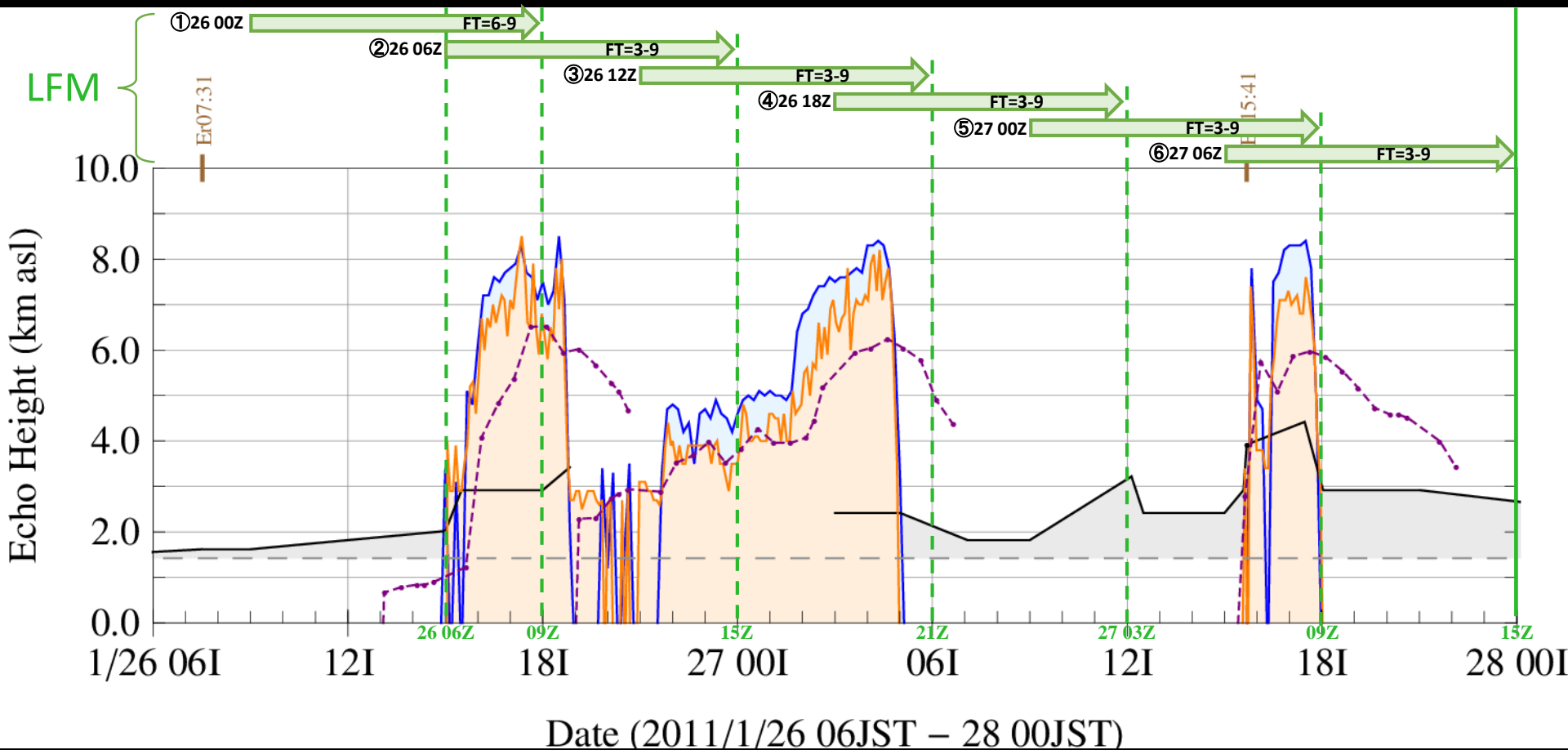


レーダーによる噴煙高度の時間変化



噴煙エコー一頂高度の初期値利用

2011年1月26日15時～28日00時の観測値を用いて、28日00時の降灰予測



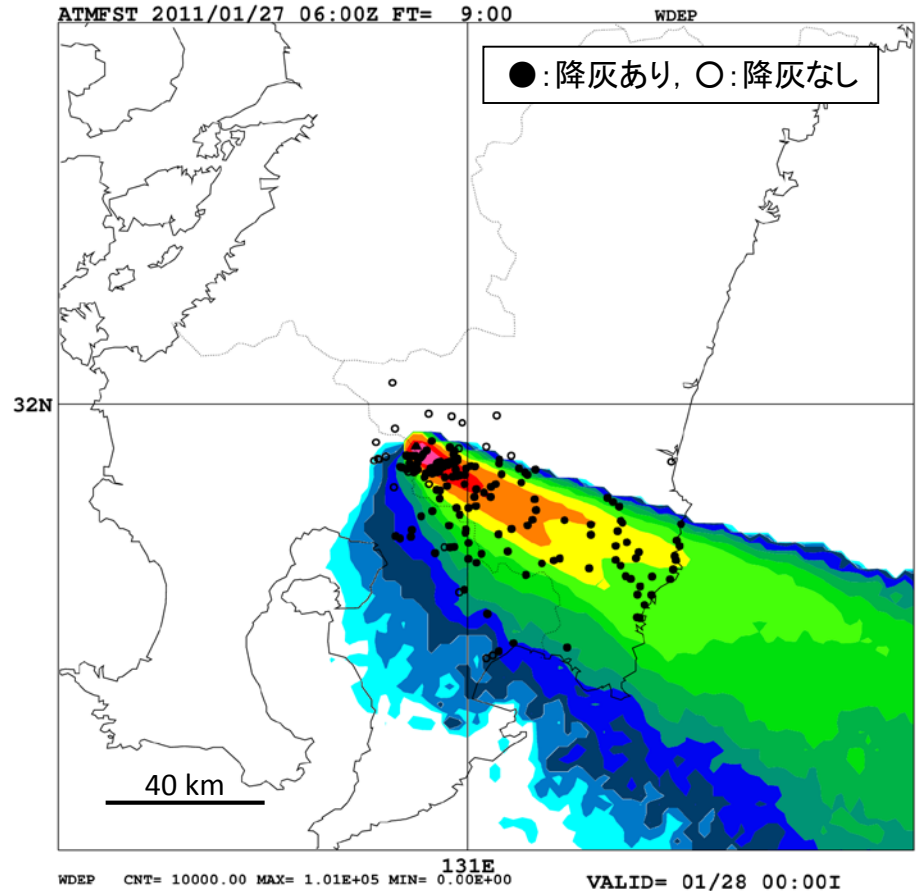
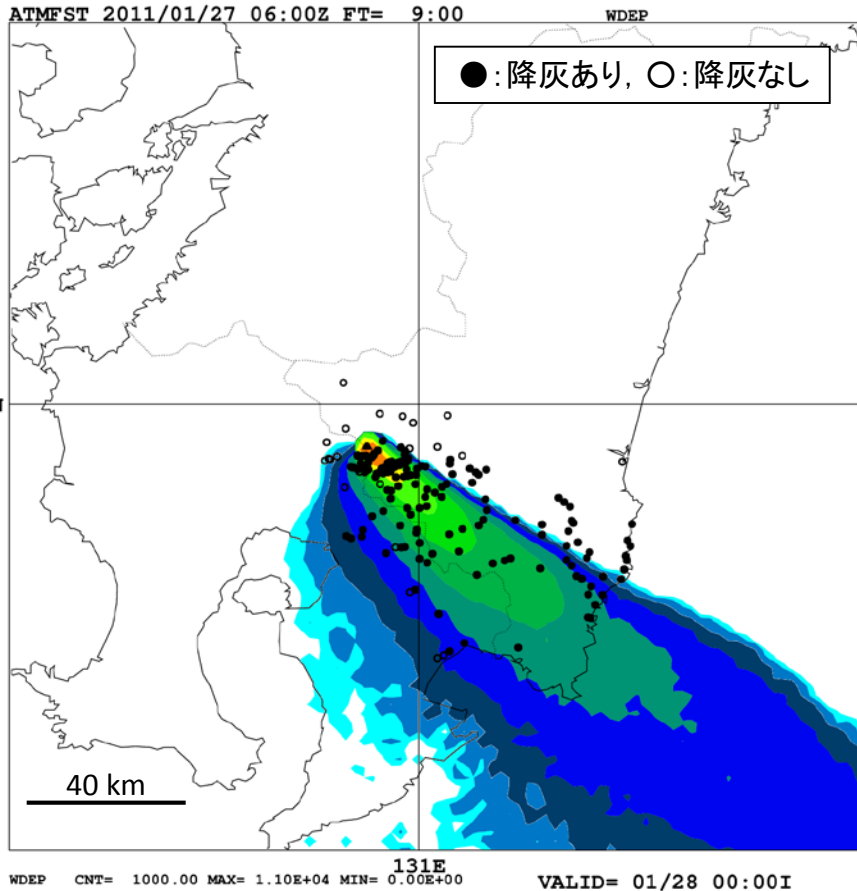
- 初期値：噴煙柱モデルの高さに、従来の遠望カメラ（黒線）と気象レーダー（青線）により観測された噴煙高度を使用した結果を比較（次スライド）

噴煙高度の違いによる降灰予測の改善

2011年1月26日15時～28日00時 新燃岳噴火に伴う積算降灰量

遠望カメラ観測に基づく予測

気象レーダー観測に基づく予測

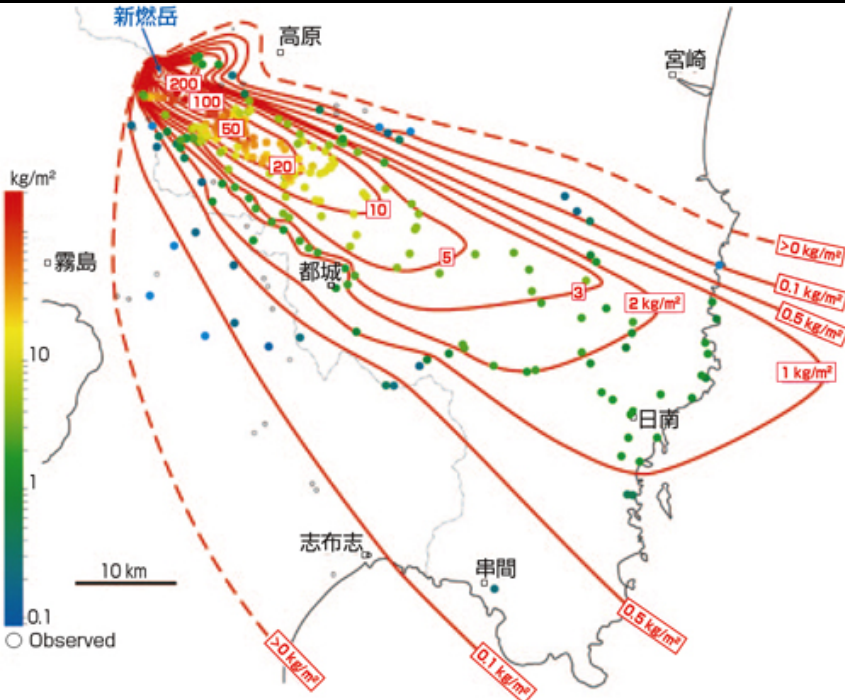


降灰の量的予測への活用事例

2011年1月26日15時～28日00時 新燃岳噴火に伴う積算降灰量

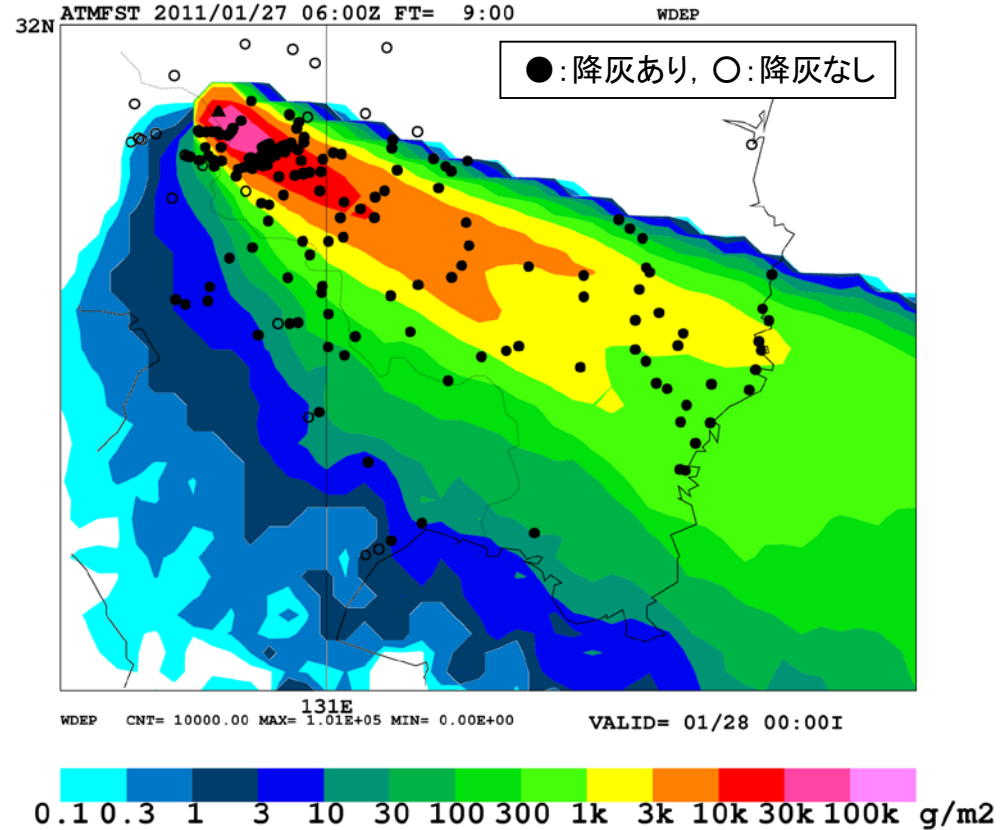
現地調査に基づく降灰量

2011年1月26～27日



古川, 産総研TODAY (2011/09)

気象レーダー観測に基づく予測



気象学会(2012春)P226

➤ 気象レーダーの噴煙エコー頂高度を初期値に用いた, JMA-RATMによる降灰予測の結果, 降灰の分布主軸および降灰量の予想が改善

まとめと今後に向けて

重要性

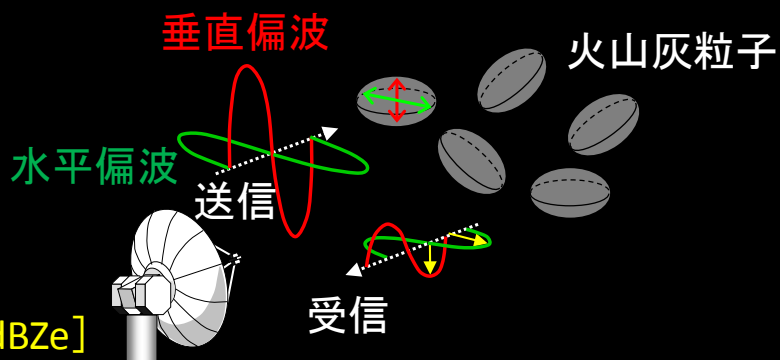
- リモートセンシングによる噴火現象の即時かつ定量的把握
- 昼夜全天候下での噴煙観測⇔火山噴火時の降水観測
- データ同化による火山灰拡散・降灰予報の精度改善
- 大規模噴火時の降水・降灰観測に対処可能な研究が必要

可能性

- 一般レーダー⇒降灰量(Z-A関係)推定, 多波長による観測
- 偏波レーダー⇒灰・礫の形状, 落下姿勢, 雨・雪との判別
- フェーズドアレイレーダー⇒即時的なボリュームスキャン

偏波レーダーの可能性

2013年8月18日桜島噴火の事例



- エコー強度 [dBZe]

標的からの反射電力。標的の粒径大きいほど、また個数が多いほど大きな値を取る

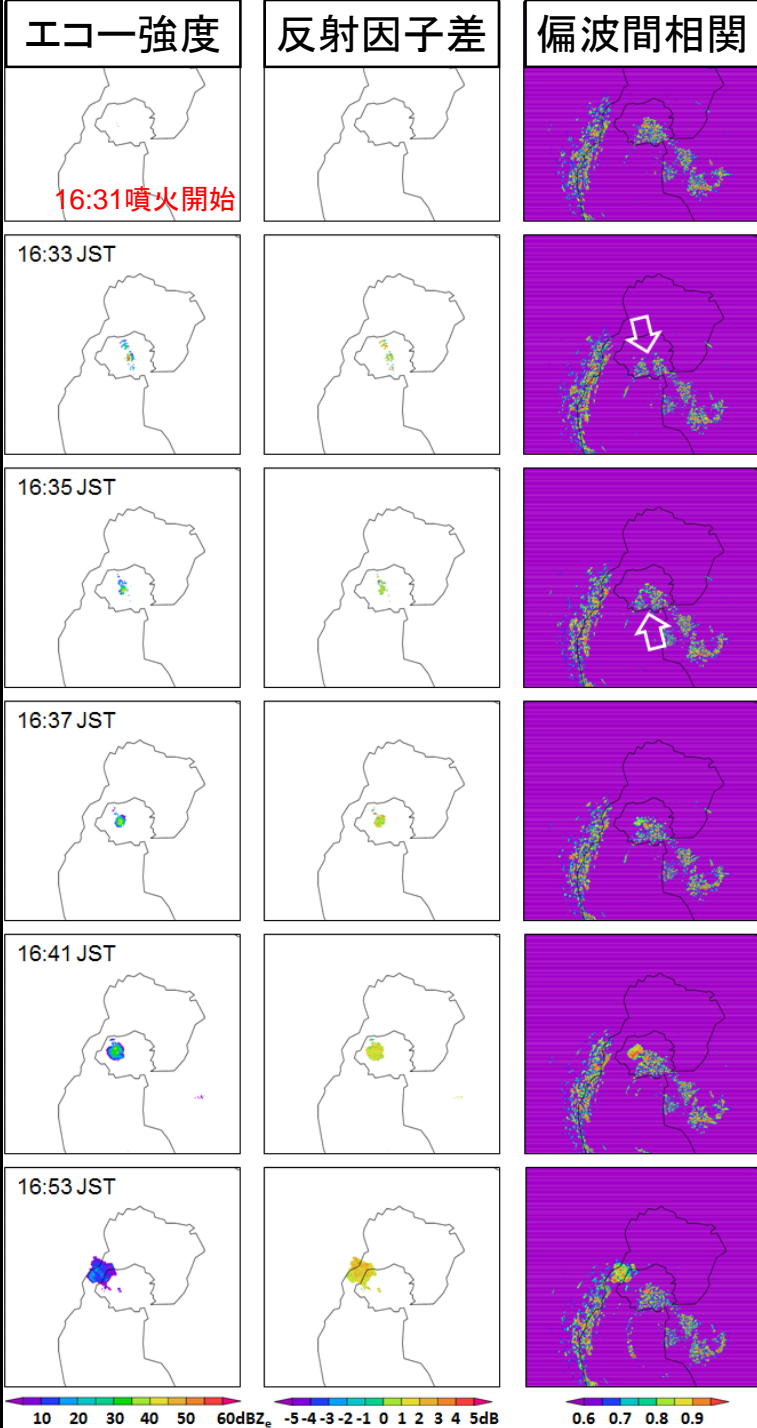
- 反射因子差 [dB]

水平／垂直偏波のエコー強度の比。標的の形状が扁平（縦横比が大）なほど大きな絶対値を取る

- 偏波間相関係数

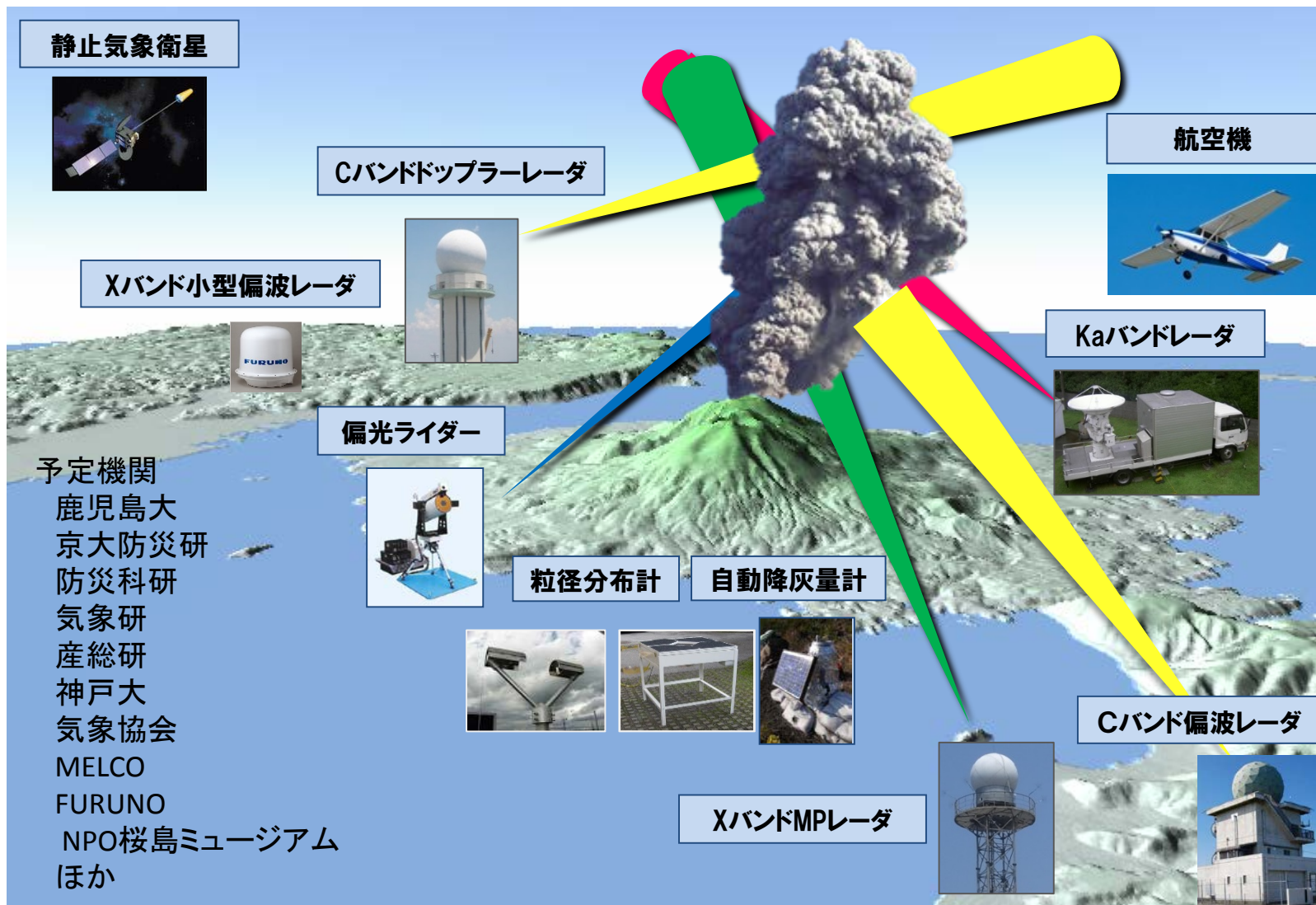
水平・垂直偏波の受信信号の相関係数。標的の形状が一樣なほど大きな値を取る

(右図) XRAIN垂水局の仰角6.0°で観測された噴煙エコー
噴火直後に偏波間相関係数が一時的に低下(図中矢印)
➤ 偏波間相関が高い曇天時にも噴煙を検出できる可能性



観測計画(2014年2月～)

噴煙の実態解明のための共同観測



予定機関
鹿児島大
京大防災研
防災科研
気象研
産総研
神戸大
気象協会
MELCO
FURUNO
NPO桜島ミュージアム
ほか



謝 辞

XRAIN垂水局のデータは, XバンドMPLレーダに関する技術開発コンソーシアムを通じて提供戴きました. 解析には田中恵信氏・鈴木 修氏により気象研究所で開発され, 山内 洋氏・佐藤英一氏らにより改良された「Draft」を使用しました.

この場を借りてお礼申し上げます.