

平成30年度気象庁気象研究所研究成果発表会
@一橋講堂 (2018.11.10)

次世代の火山監視

—気象レーダーで見た桜島・新燃岳噴火—

佐藤 英一

気象庁気象研究所火山研究部



鹿児島地方気象台マスコット「ぼるけん」

要点

- ✓火山噴煙は、気象レーダーで視える。
- ✓気象研究所では、気象レーダーで火山噴煙を捉えるための研究開発を行っている。
 - ✓噴煙高度の確率的推定手法を開発。
 - ✓噴煙内部の火山灰を定量的に測るため、桜島で最先端のレーダーを用いた観測を行っている。

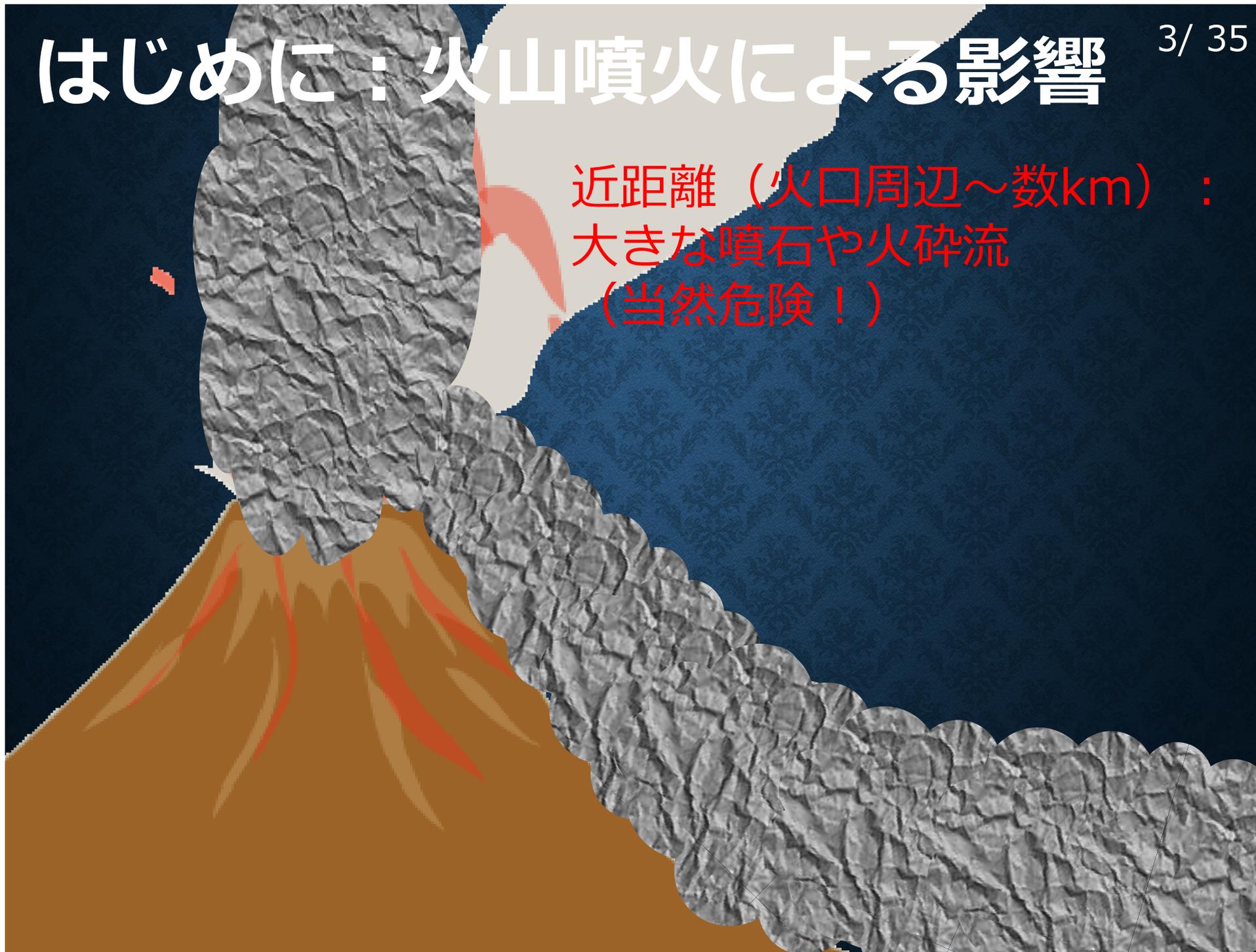
本日の内容

- はじめに
 - 火山噴火による影響
 - 噴煙のレーダー観測の重要性について
- 噴煙高度の確率的推定手法について
 - 2017～2018年霧島山（新燃岳）噴火事例
- 桜島周辺のレーダー網について
 - 桜島噴火事例
- まとめと今後の課題

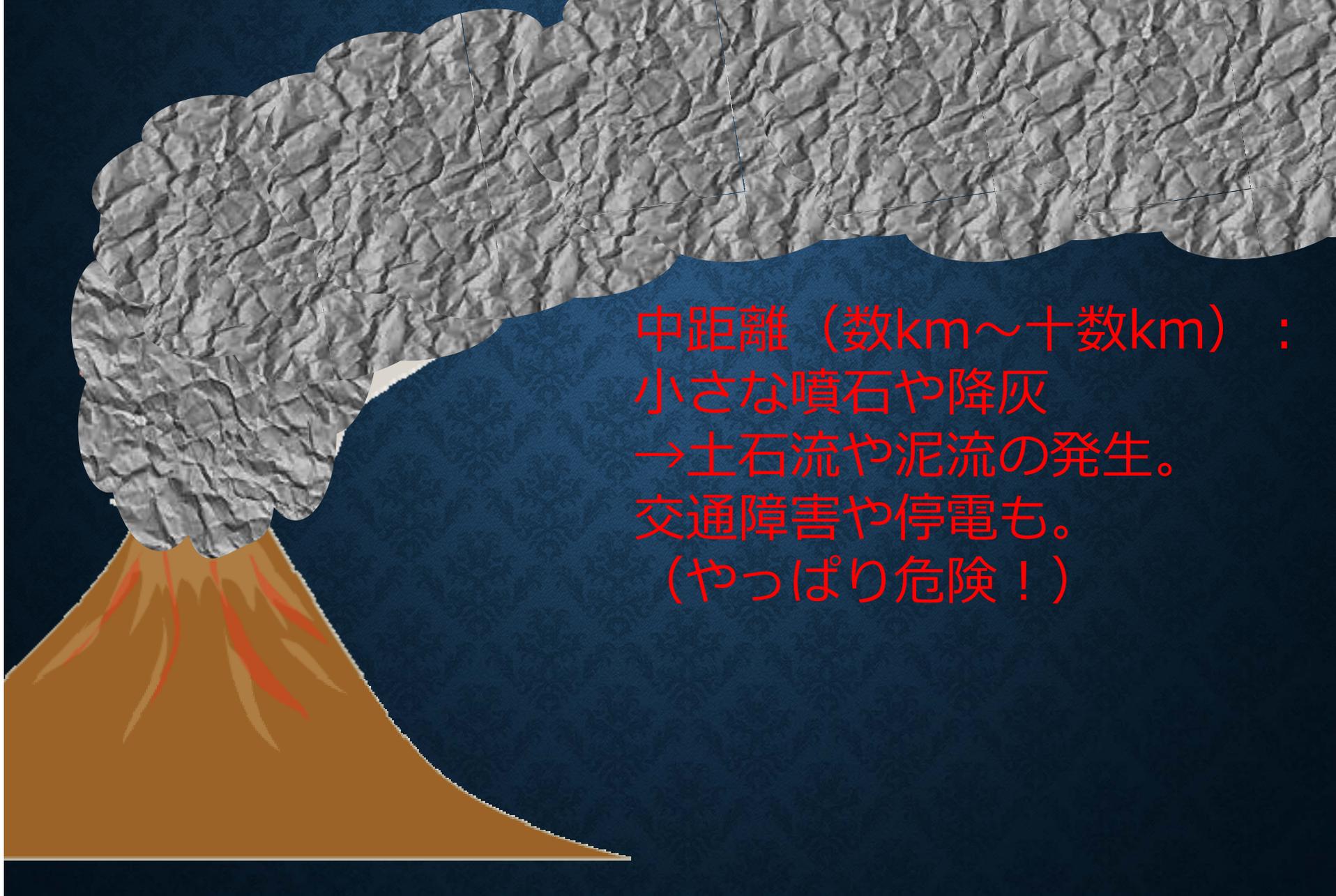


はじめに：火山噴火による影響

近距離（火口周辺～数km）：
大きな噴石や火砕流
（当然危険！）



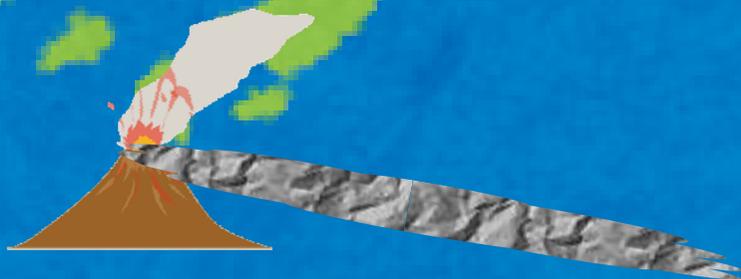
はじめに：火山噴火による影響



中距離（数km～十数km）：
小さな噴石や降灰
→土石流や泥流の発生。
交通障害や停電も。
（やっぱり危険！）

はじめに：火山噴火による影響

遠距離（数百km～数千km）：
火山灰の拡散
→航空機の運航に影響
（やっぱり危険！）



はじめに：火山噴火による影響



大きな噴石
溶岩流

噴火の規模によっては、
火口近傍だけでなく、
遠方にも大きな影響！
→監視・予測が必要

エアロゾル

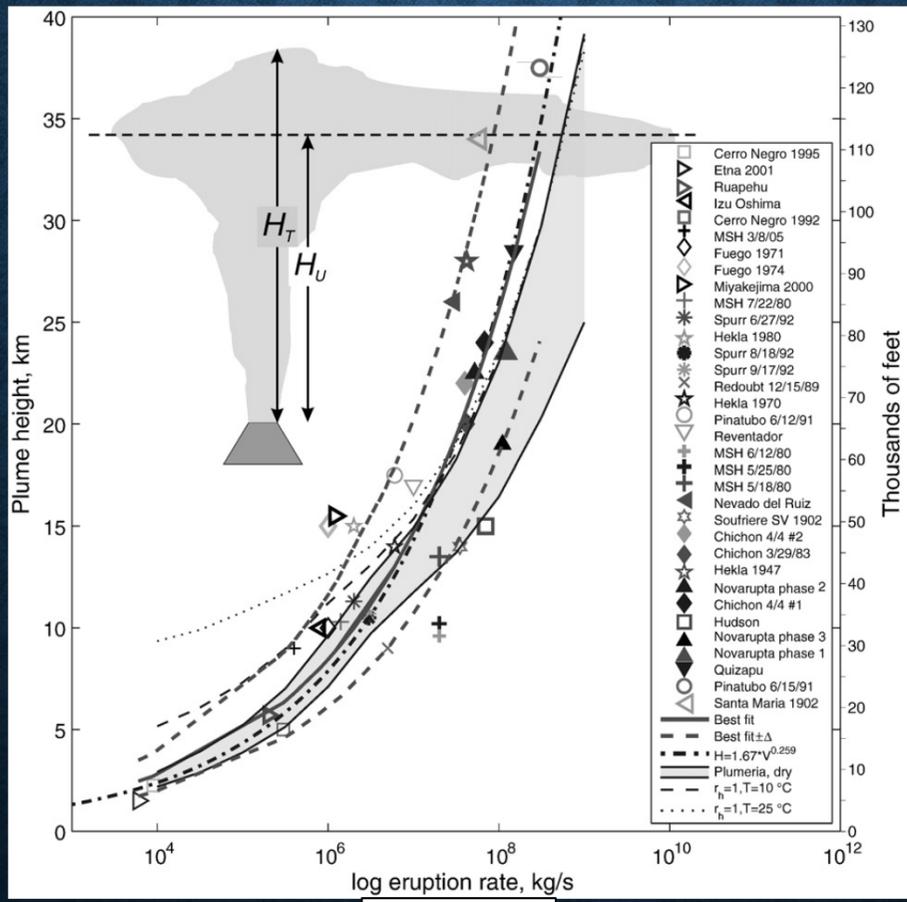


はじめに：

• 噴煙の高さを測る ≡ 噴火の規模を測る

✓ この原理は降灰予報・航空路火山灰情報にも応用されている。

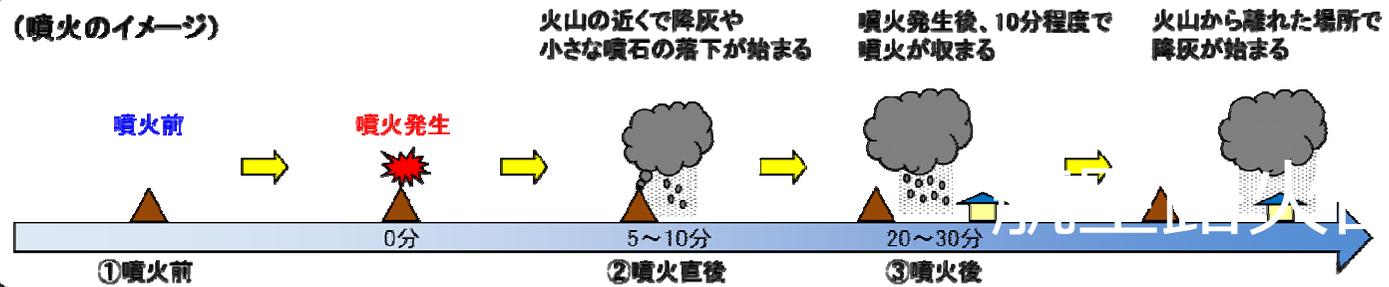
噴煙高度



時間をかければ噴出物量 → 噴出率

降灰予報・航空路火山灰情報

(噴火のイメージ)



灰情報

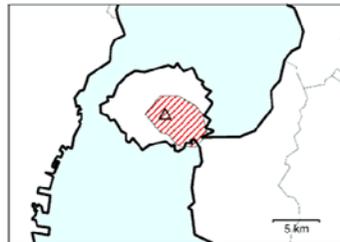
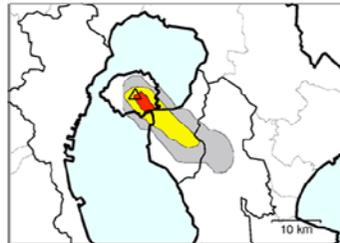
①降灰予報(定時)

噴火の可能性が高い火山に対して、想定した噴煙高を用いて、18時間先までに噴火が発生した場合の降灰範囲や小さな噴石の落下範囲を計算し、定期的に発表します



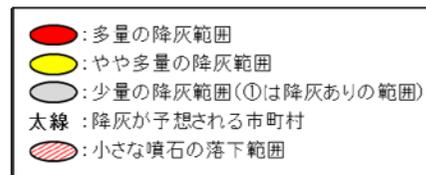
②降灰予報(速報)

噴火発生直後、事前に計算した想定噴火のうち最も適当なものを抽出し、1時間以内の降灰量分布や小さな噴石の落下範囲を、噴火後5~10分程度で速やかに発表します

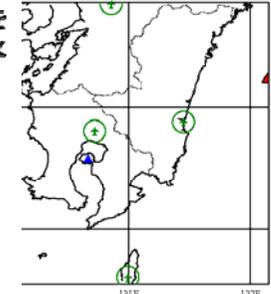


③降灰予報(詳細)

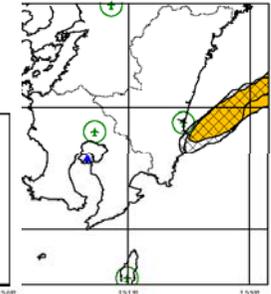
噴火発生後、観測した噴煙高を用いて、精度の良い降灰量分布や降灰開始時刻を計算し、6時間先までの詳細な予報を、噴火後20~30分程度で発表します



ISSUED TIME: 2016/03/27 03:00UTC
20160327 06:00UTC



20160327 06:00UTC



降灰予報

VAGFNR-AF

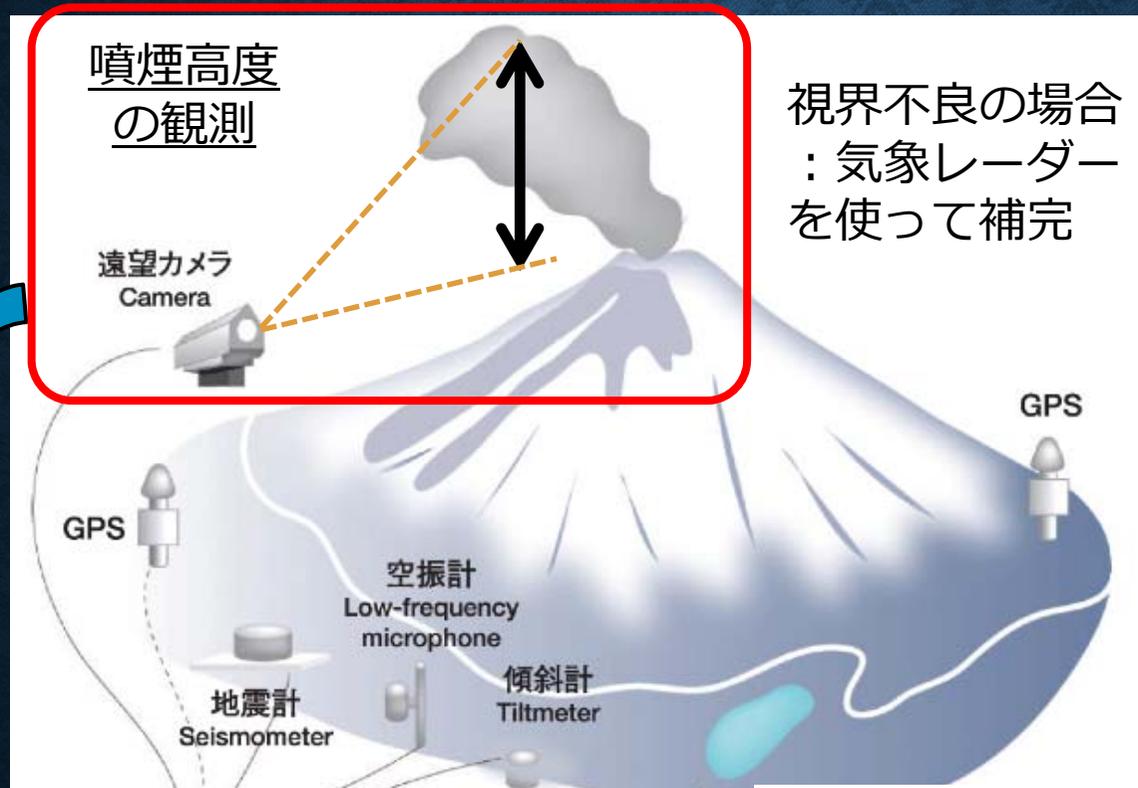
VOLCANO: SAKURAJIMA (AIRA CALDERA)
ASSUMED ERUPTION TIME: 2016/03/27 03:00UTC
ASSUMED PLUME HEIGHT: FL200

ASH FALL AREA

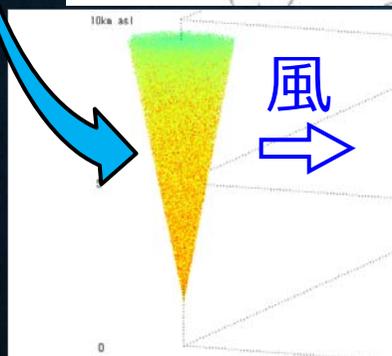
気象庁
Japan Meteorological Agency

TOKYO VAAC

降灰予報（詳細）が出来るまで

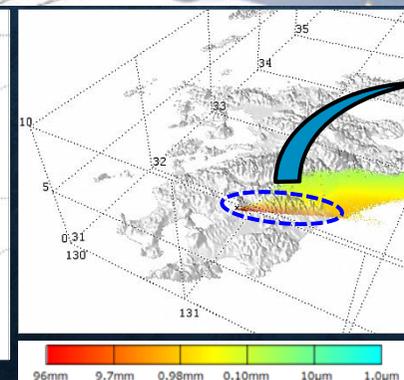


供給源
モデル
(仮定)

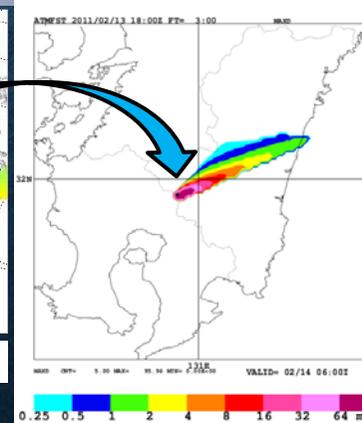


移流拡散モデル

① 初期値作成



② 風で流す

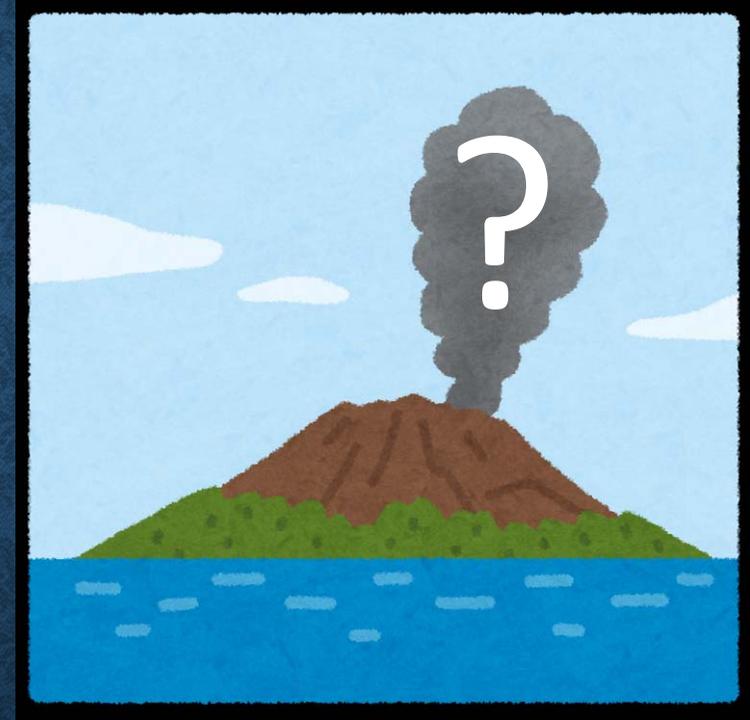


③ 降灰の計算

- ✓ 遠望カメラは雲がある/視界が悪いと見えない。
- ✓ 供給源モデル(仮定)の妥当性？
- 気象レーダーを使って改善したい！

研究の目標・目的

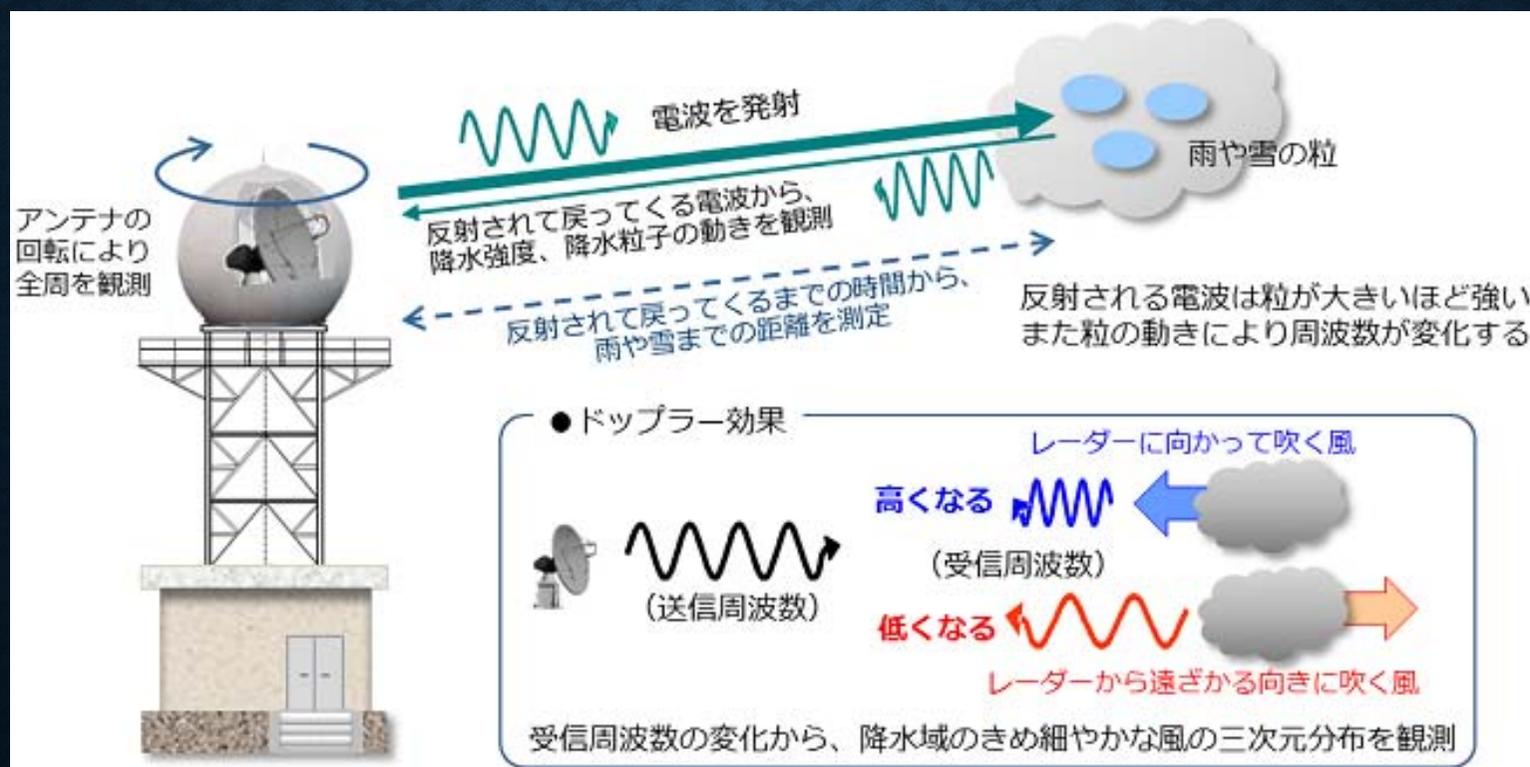
1. 火山噴煙を定量的に測る。
2. 曇天時や雨天時においても、噴火を検知する。
3. 降灰予報や航空路火山灰情報の（初期値）改善。



→①既存の気象レーダーによる解析
+②最新鋭のレーダーによる観測研究

気象レーダーとは？

- レーダー：Radio Detection And Rangingの略。
- レーダー（英語：Radar）とは、電波を対象物に向けて発射し、その反射波を測定することにより、対象物までの距離や方向を測る装置である（Wikipedia）。
- 気象レーダーは、アンテナを回転させながら電波（マイクロ波）を発射し、半径数百kmの広範囲内に存在する雨や雪を観測するものです（気象庁HP）。



① 既存の気象レーダーによる解析
～噴煙高度の確率的推定手法～

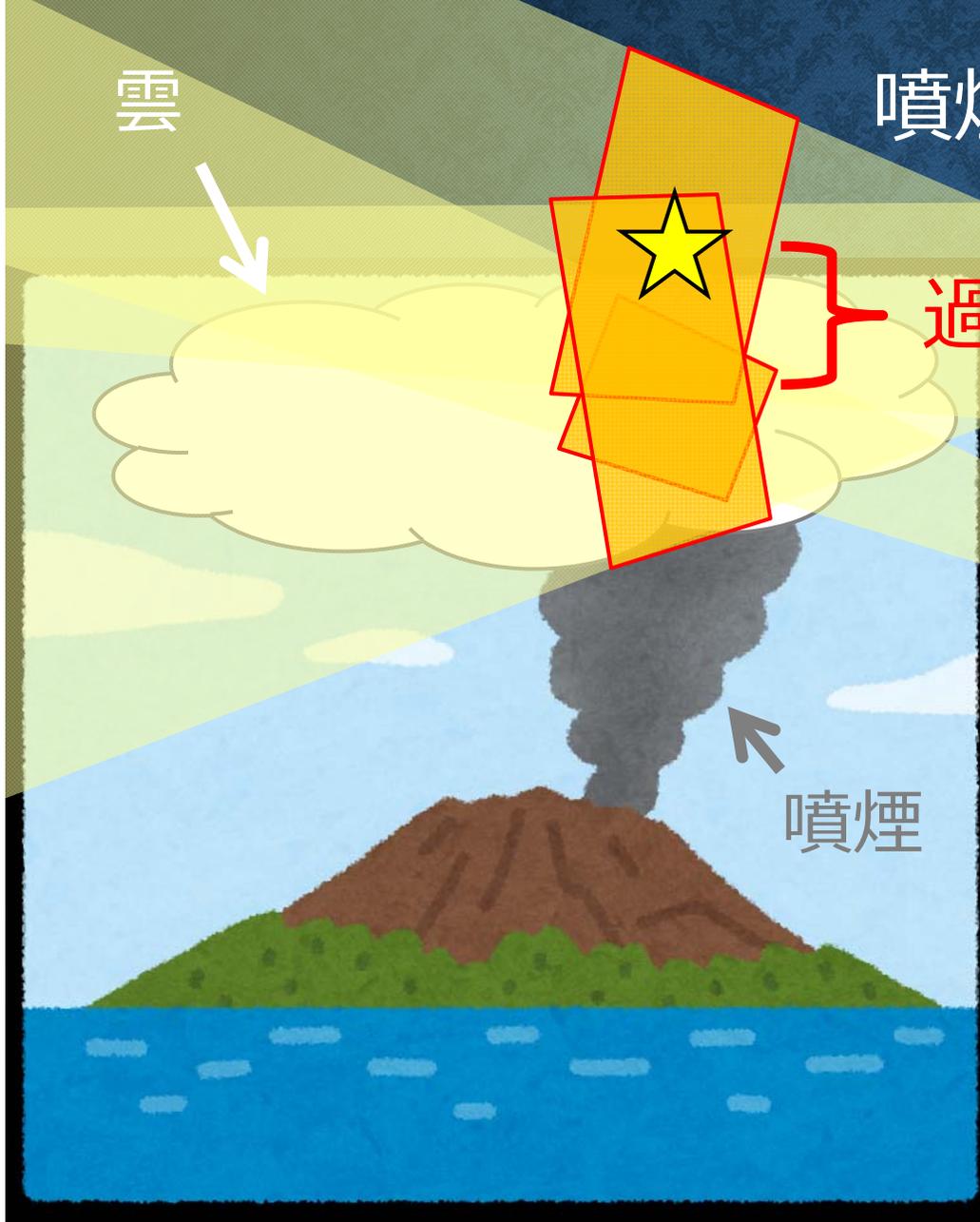


噴煙高度の確率的推定手法について

- ✓ 噴煙高度を測定することは大事！
- ✓ だけども、カメラでは曇りの日や雨の日には観測出来ない。
- ✓ 気象レーダー？
 - ✓ 従来手法には過大評価（誤差）
 - 確率的推定手法を開発

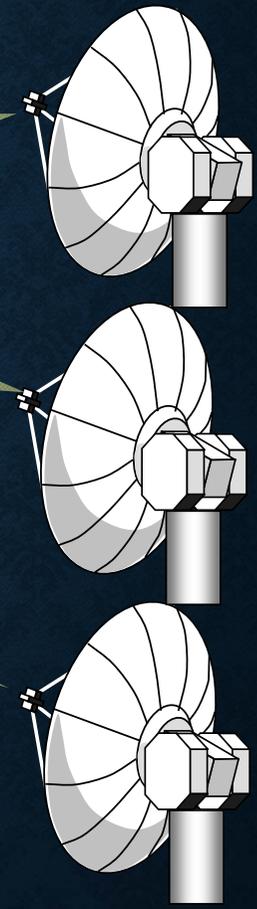


レーダーによる高度の推定：従来手法

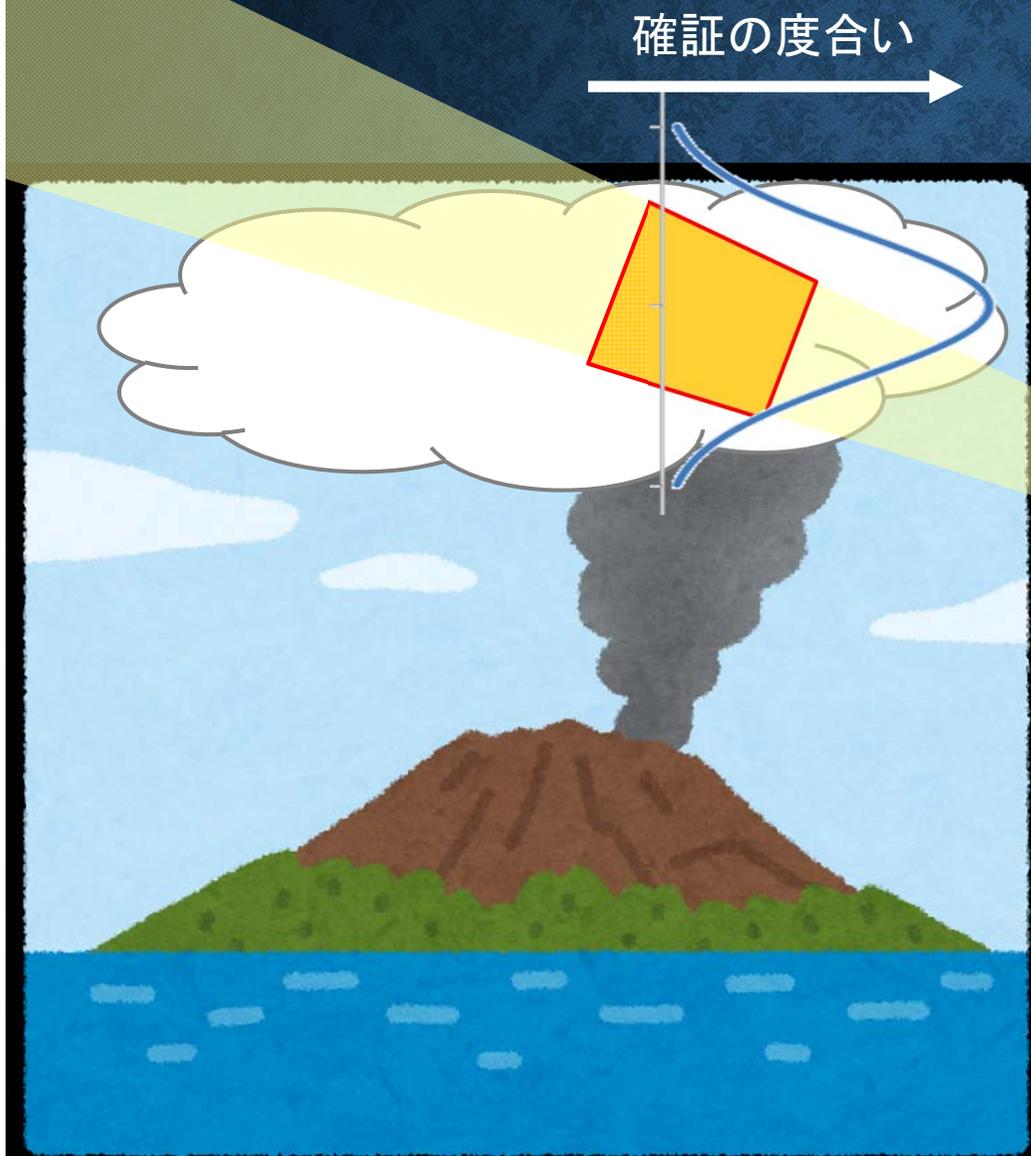


噴煙のトップ？

過大評価！

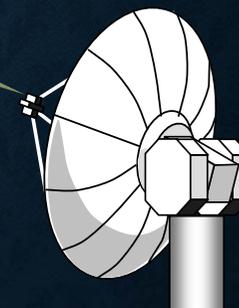


噴煙高度の確率的推定手法（単独）

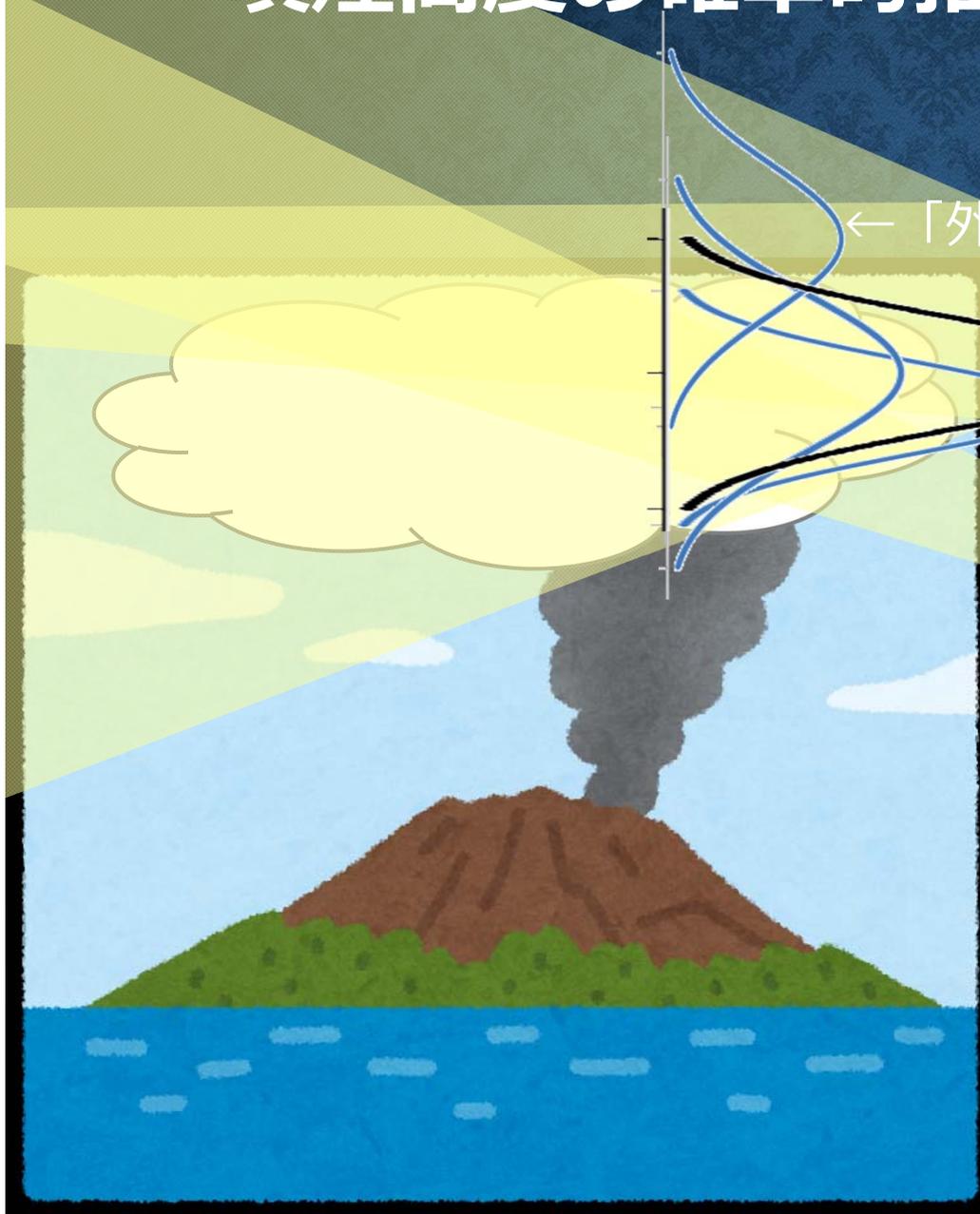


噴煙のトップは
この中にあるけど…

←この辺り
(決定しない)

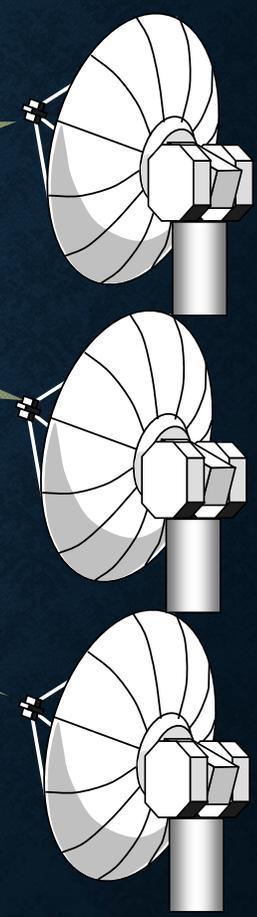


噴煙高度の確率的推定手法（合成）



←「外れ値」の影響を低減
合成！

←この辺り
(だいぶ絞れた)



最終結果も範囲で示す
(一つの値に決定しない)

霧島山（新燃岳）2018年3月～5月 火山活動経過

 噴火
 爆発的噴火

2018年



火山性地震の増加

振幅の小さな火山性微動

11時頃 噴火したもよう
(宮崎県高原町付近で降灰)

16:40 噴火警戒レベル3切替
(警戒範囲 2km → 3km)

溶岩噴出 噴火継続

火口外への溶岩流出(3/9～)

3/6-3/7 爆発的噴火の多発 計34回
(6日: 18回, 7日: 16回)
新たに火口内西側から噴煙
火口内に留まる噴石
噴煙量の増大
火映(高感度カメラで確認)

01:54 爆発的噴火
(噴煙4500m 噴石1.8km)
04:27 爆発的噴火
(噴煙2800m 噴石1.8km)

05:05 噴火警戒レベル3切替
(警戒範囲 3km → 4km)

11:00 噴火警戒レベル3切替
(警戒範囲 4km → 3km)

03:31 爆発的噴火
(噴煙5000m 噴石1.1km)
03:45 噴火
(噴煙8000m 噴石0.8km)

14:44 噴火
(噴煙4500m)
宮崎県都城市で
長径7mmの小さな噴石



二酸化硫黄ガス
5,500トン/日(3/1)

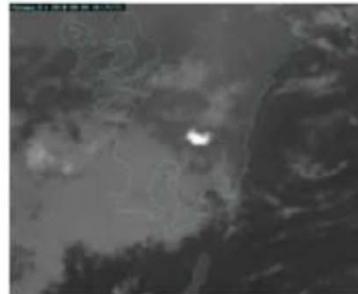


新燃岳の北西深部の収縮
を示す地殻変動(3/6-3/8)

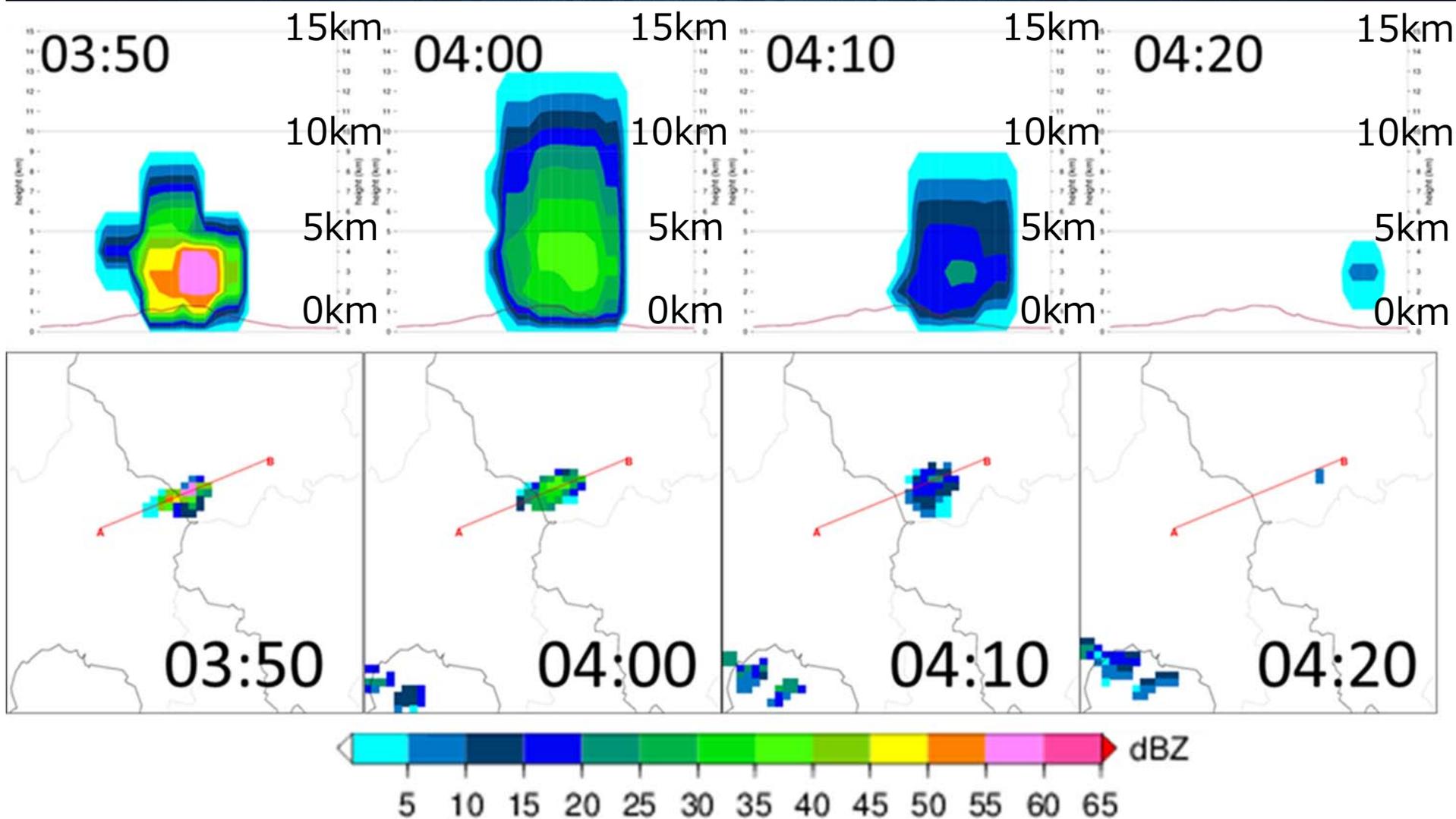
二酸化硫黄ガス
34,000トン/日(3/7)



新燃岳方向の
隆起

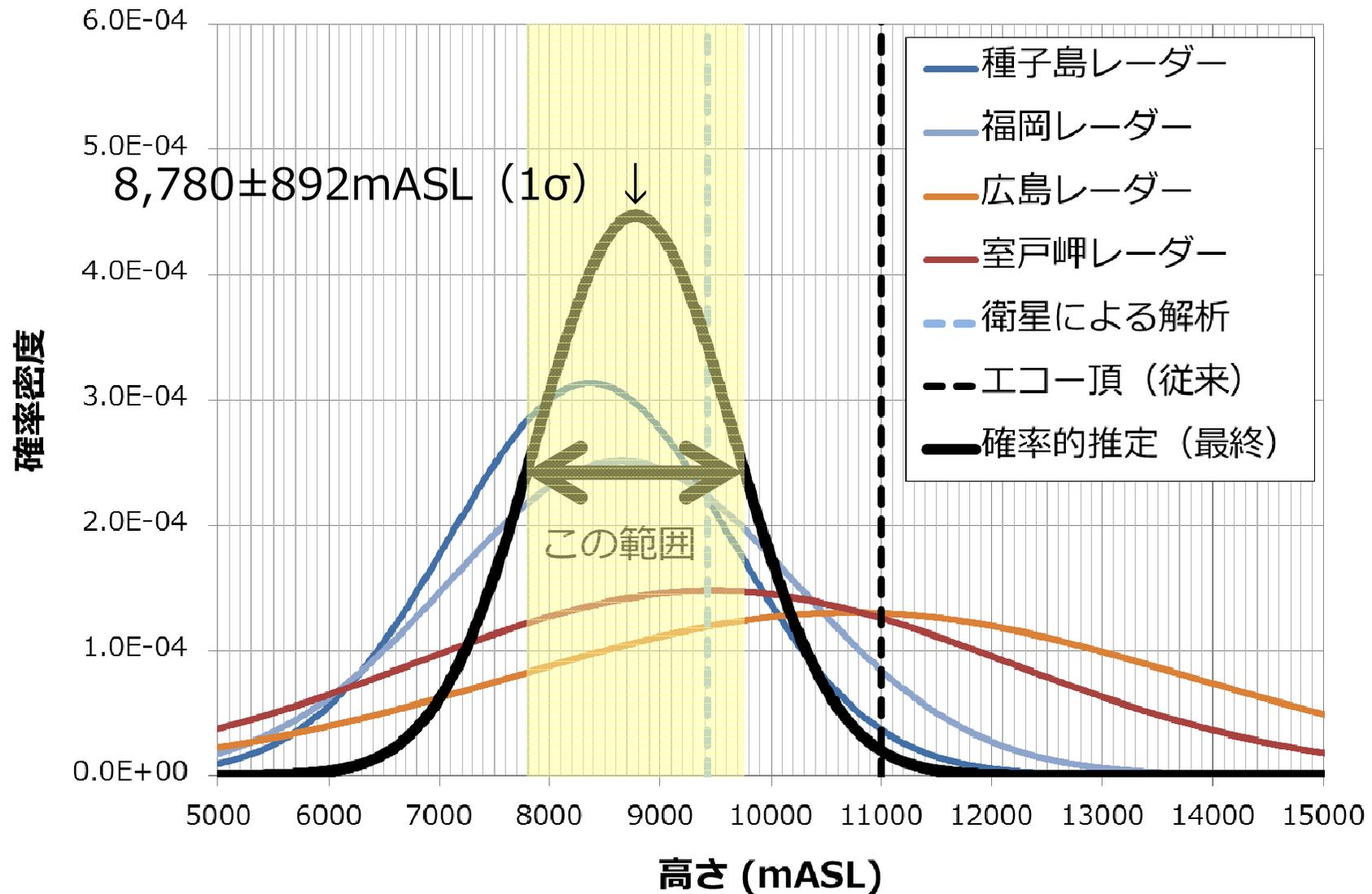


4月5日3:50~4:20の合成エコー 18/35



上図は鉛直断面図。
下図は3km高度平面。

確率的推定結果 (黒太線)



※2018年4月5日3時50分～4時00分のレーダーデータを用いた。
衛星解析@3:45が火口縁上8,000m～海拔9,421mと整合的。

②最新鋭の気象レーダーによる観測@桜島
～噴煙の内部を知る～



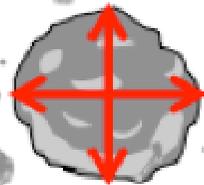
桜島での観測について

- (更に) 高精度に噴火を検知／降灰を予測するためには、噴煙の内部がどうなっているのかを知る必要がある。
- そのため、気象研究所では平成28年3月から鹿児島県の桜島周辺に噴煙観測用の気象レーダー2台を展開して、火山噴煙の観測を行なっている。
 - Kuバンド高速スキャンレーダー：噴煙の3次元構造を約1分毎に取得
 - 降灰予報（モデル）の初期値となる噴煙の形状の改善
 - XバンドMPLレーダー：噴煙内部に含まれる（火山灰）粒子形状の情報を取得
 - 降灰予報（モデル）の噴煙内部の粒子の大きさや数の改善
 - 雨天・曇天時の噴火の検出

火山噴煙レーダー観測網の概要

22/ 35

XバンドMPLレーダー：
噴煙内部の
火山砕屑物の形や
粒径分布に関する情報
を観測



Kuバンド高速スキャンレーダー：
急成長する噴煙の3次元構造を
1分毎に取得



鹿児島
DRAW



2DVD：
降灰(レキ)量、
火山砕屑物の
大きさ・形、
粒径分布、落下速度
を光学的に実測



一般気象レーダー
(種子島)



XRAIN桜島(垂水)

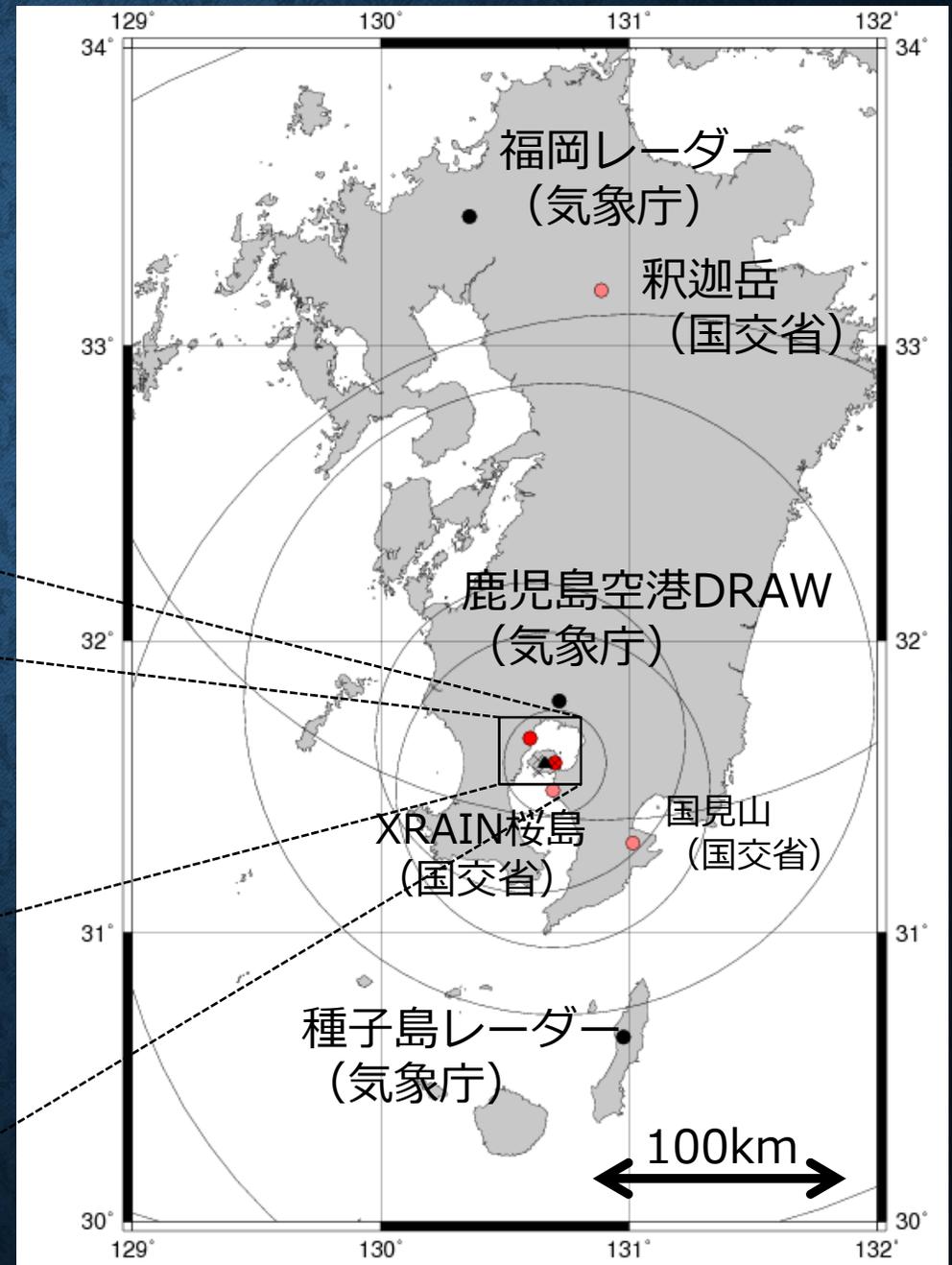
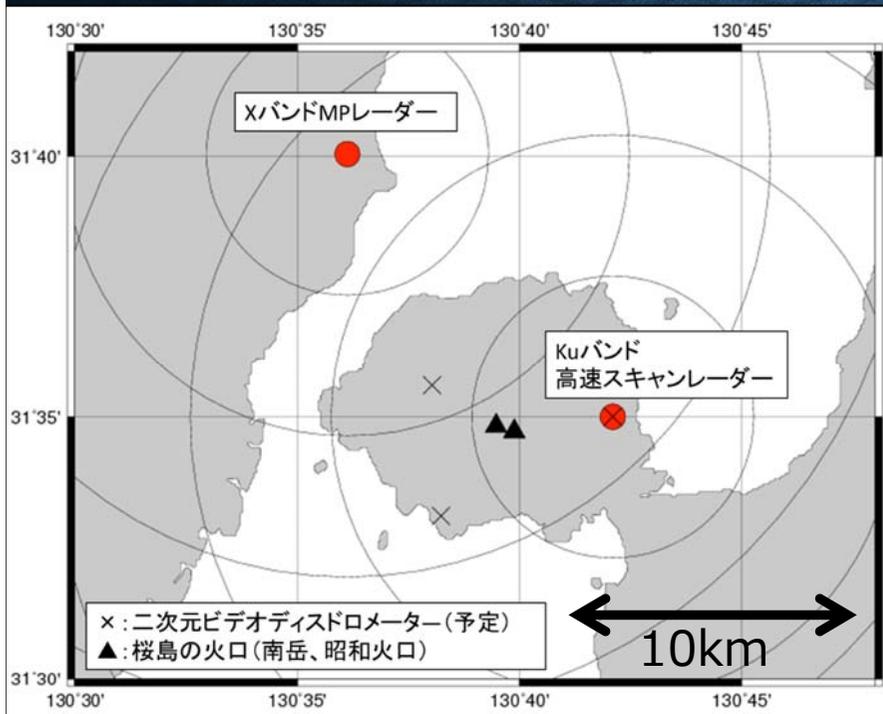


現業レーダー
(Cバンド、Xバンド)も利用
→粒径分布に関する情報

23

日本（桜島周辺）の気象レーダー観測網

- : レーダー（本研究で整備:MP）
- : 現業レーダー（単偏波:SP）
- : 現業レーダー（二重偏波:MP）
- × : 2DVD（本研究で整備）



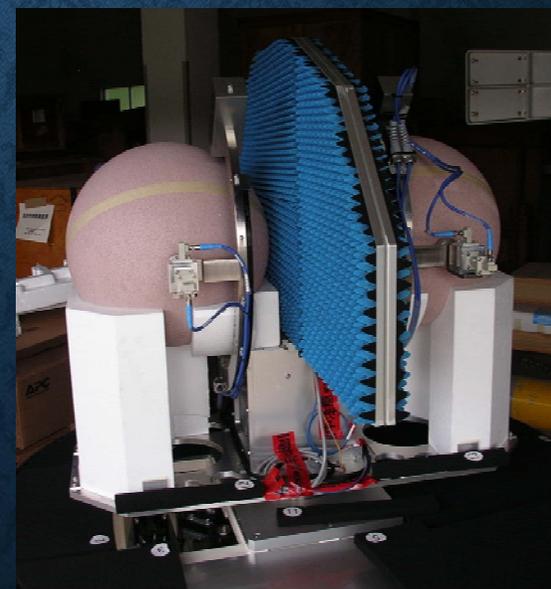
Kuバンド高速スキャンレーダーの概要

- ✓ より早く（高速スキャン）
 - ✓ 噴煙の3次元分布を約1分毎に取得可能。
 - ✓ 気象庁の気象レーダー（10分毎）の約10倍の頻度
- ✓ 噴煙の3次元構造の把握
 - ✓ 降灰予報の初期値となる、噴煙の形状（モデル）の改善につながる。



□ 主な諸元

波長	1.9cm
送信電力	各10W(水平・垂直)
アンテナ	ルネベルグレンズ×2 (送信・受信)
ビーム幅	3°
アンテナ回転速度	最大40rpm



ルネベルグ
レンズアンテナ

XバンドMPレーダーの概要

25/ 35

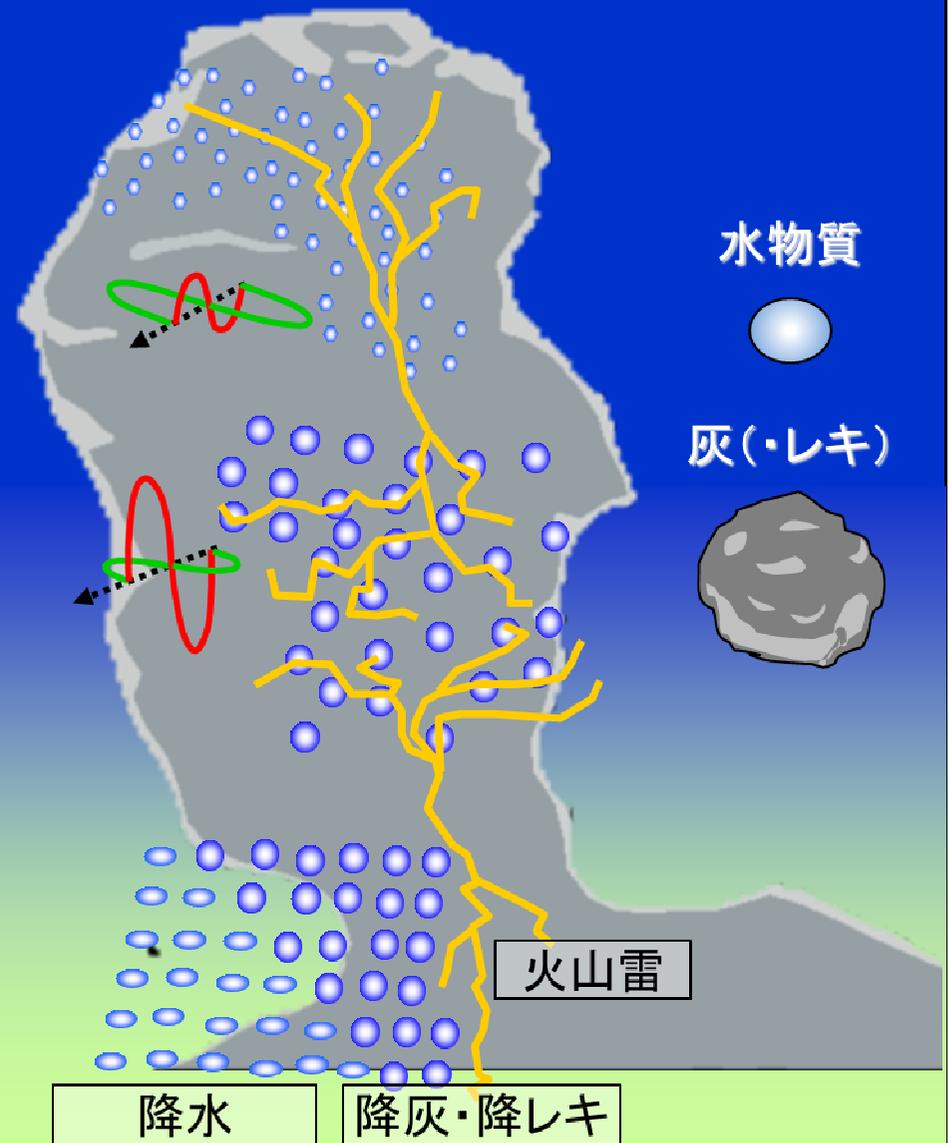
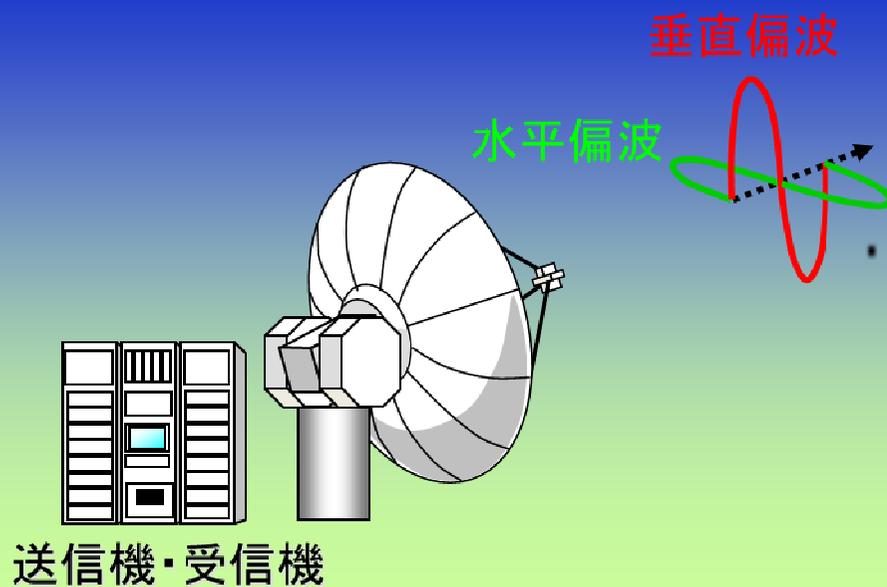
- より詳しく（二重偏波機能）
 - 噴煙内部の火山碎屑物（火山灰や火山レキなど）の粒子形状に関する情報が取得可能
 - 噴煙の内部構造の把握
→定量的な予測を目指す

波長	3.17cm
送信電力	各200W(水平・垂直)
アンテナ	パラボラアンテナ
ビーム幅	1.2°
アンテナ回転速度	最大6rpm



二重偏波 (MP) レーダーとは

水平偏波と垂直偏波の2つの電波を送信し、それぞれの反射波を受信するレーダー

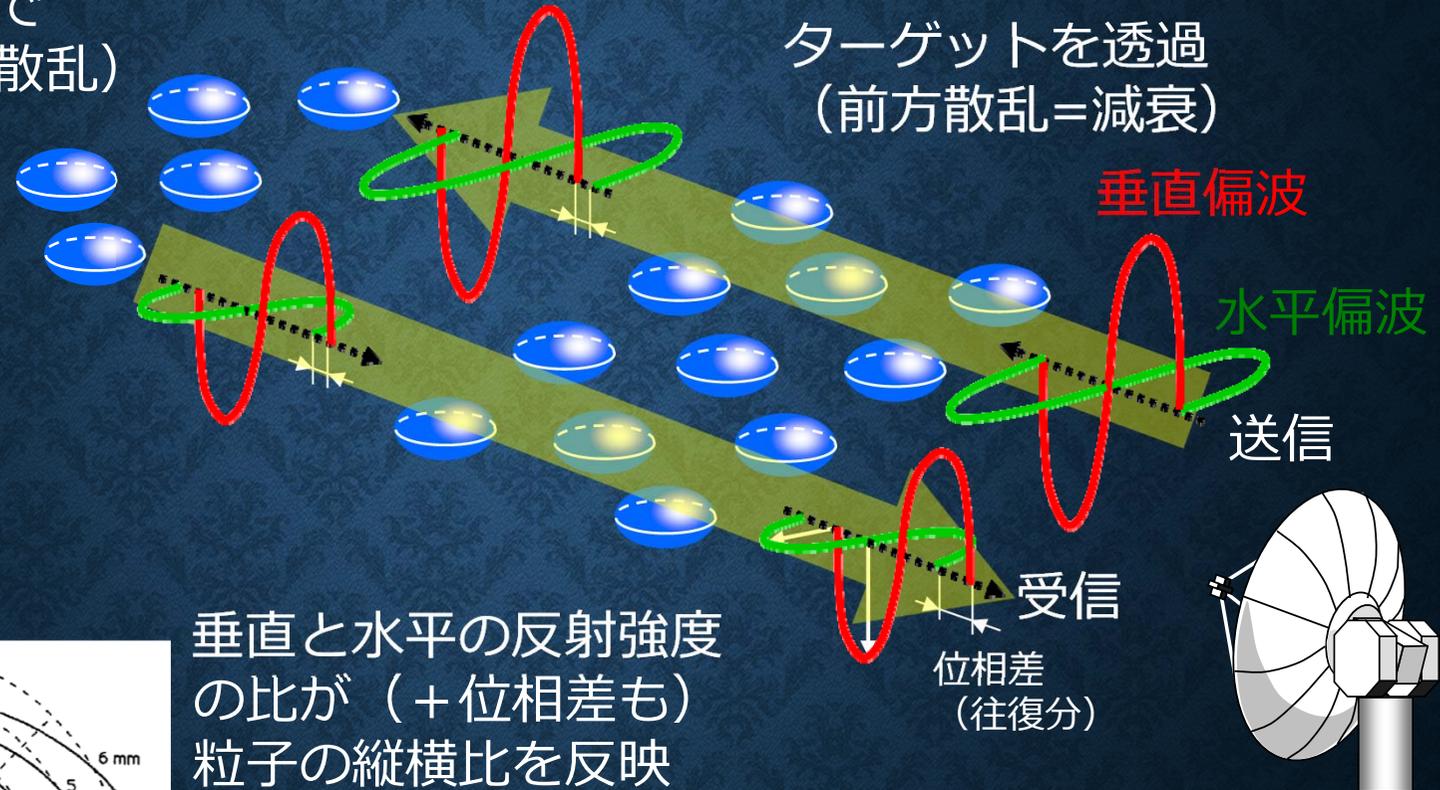


- ・ 降水量の高度な推定・降水粒子判別に対する実績
- ・ 噴煙の内部構造に対する情報が得られると期待

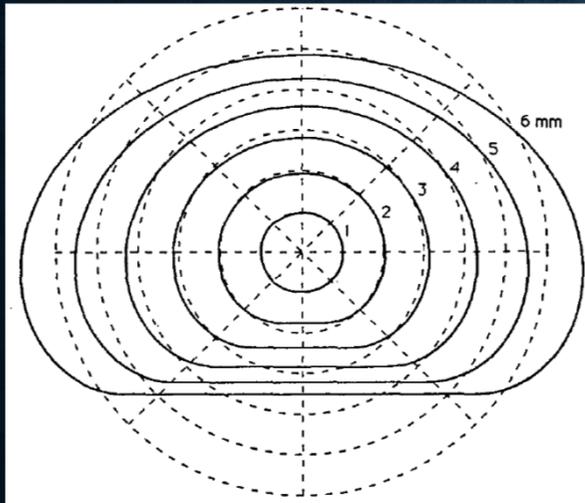
二重偏波 (MP) レーダーで何が分かるのか？

ターゲットで
反射 (後方散乱)

ターゲットを透過
(前方散乱=減衰)



垂直と水平の反射強度の比が (+位相差も) 粒子の縦横比を反映



Beard and Chuang(1987)

粒子の縦横比

⇔ 降水量 (定量的) ・ 粒子の種類

降水の観測で実績→

火山噴煙に対しても、(従来型より) 多くのパラメータを用いて、噴煙内部の状態を定量的に推定したい！

桜島での観測例

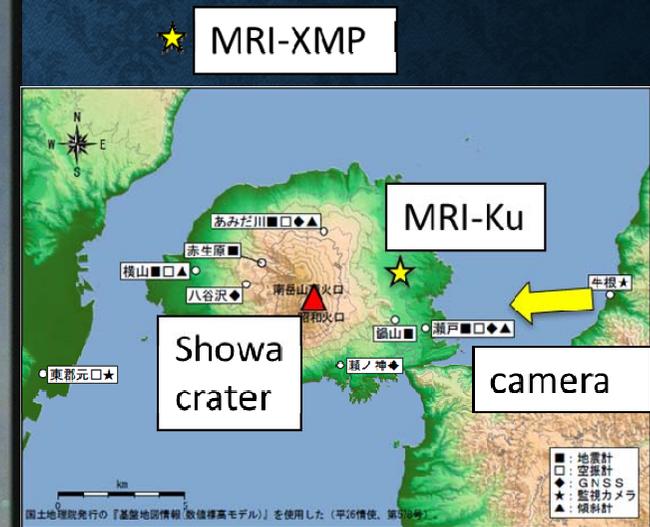


Kuバンド高速スキャンレーダー観測例 (2016/3/26 2:48爆発的噴火)

29/ 35



噴煙の高さ (目視) : 火口上2700メートル

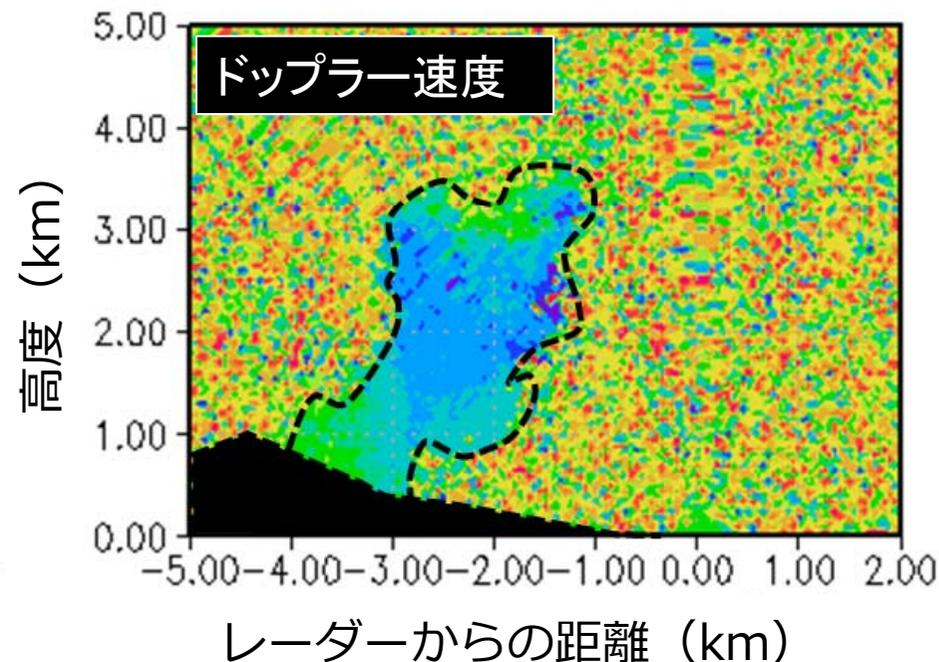
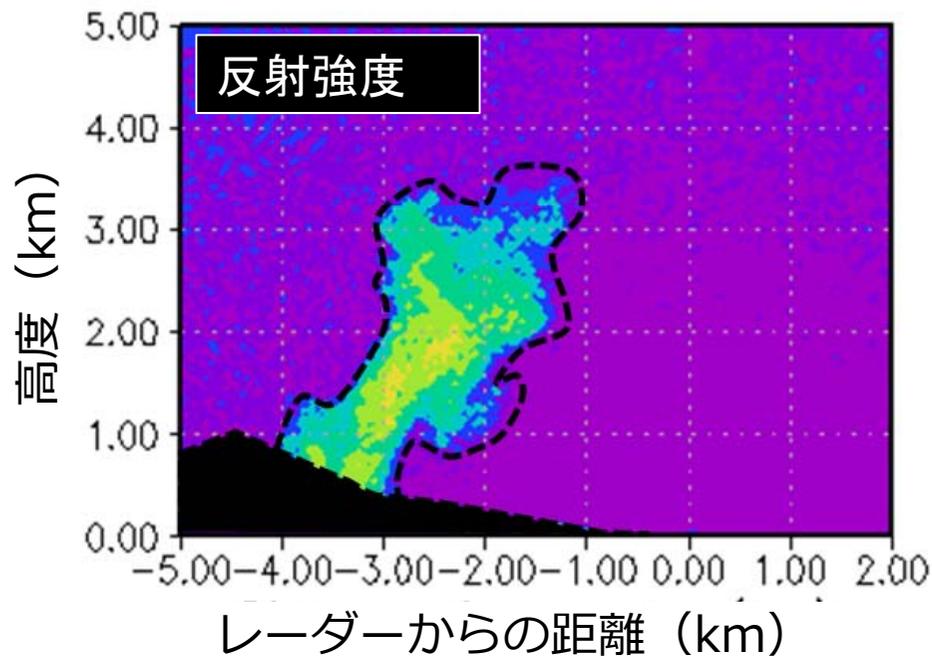


Kuバンド高速スキャンレーダー観測例 (2016/3/26 2:48爆発的噴火)

30/ 35

噴煙の高さ (目視) : 火口上2700メートル

MRI_TSKB 2016 03/26 02:52:02JST RHI AZ = 81.5 deg
Reflectivity (dBZ) Doppler Velocity (m/s)

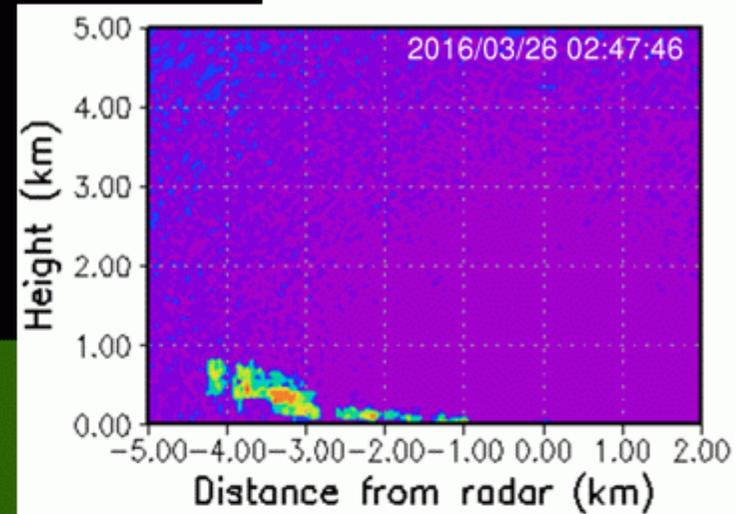
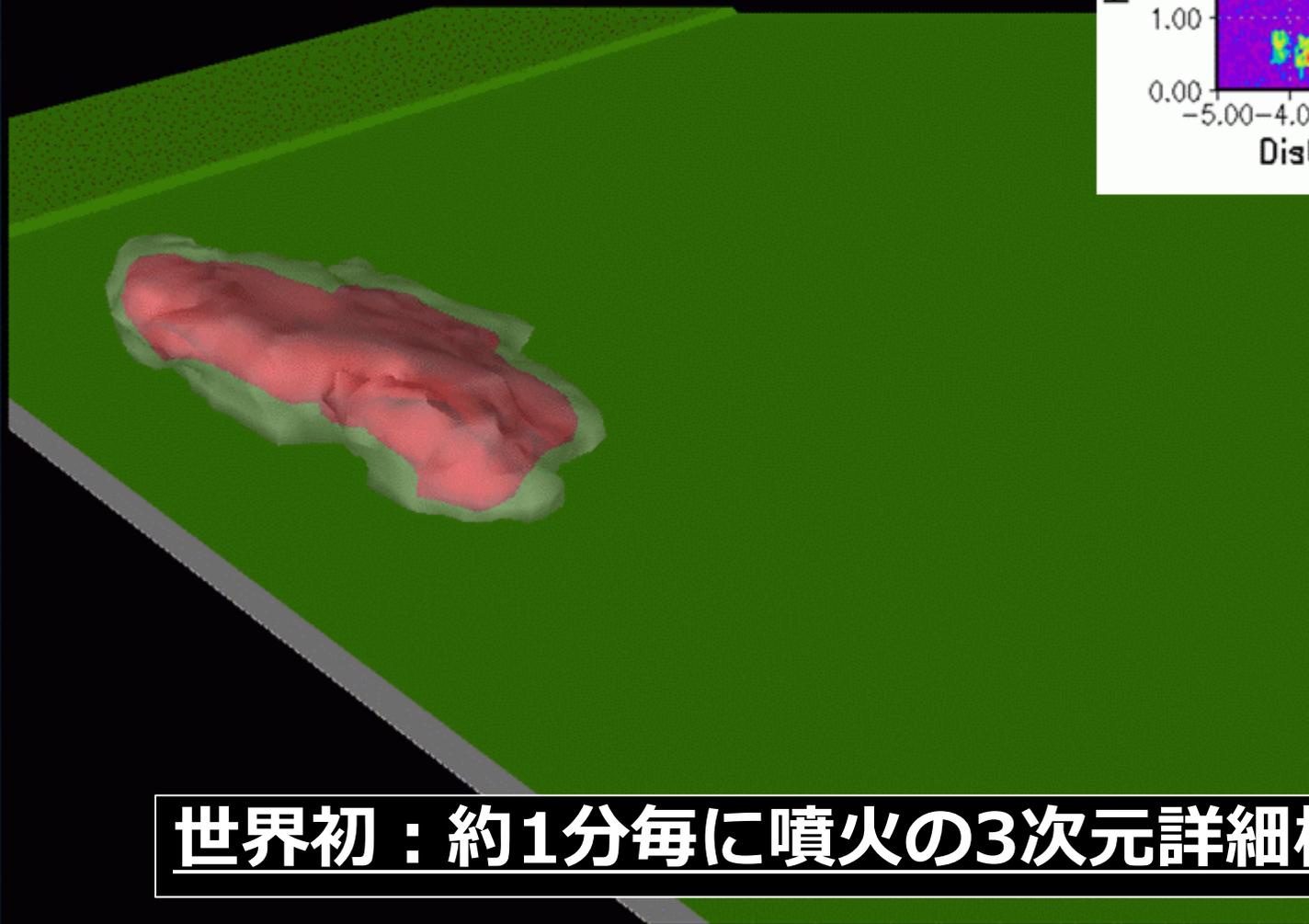


x=0.00kmがレーダーの位置。

世界初：約1分毎に噴火の3次元詳細構造を取得！

3次元（南西方向からの鳥瞰図）

31/ 35

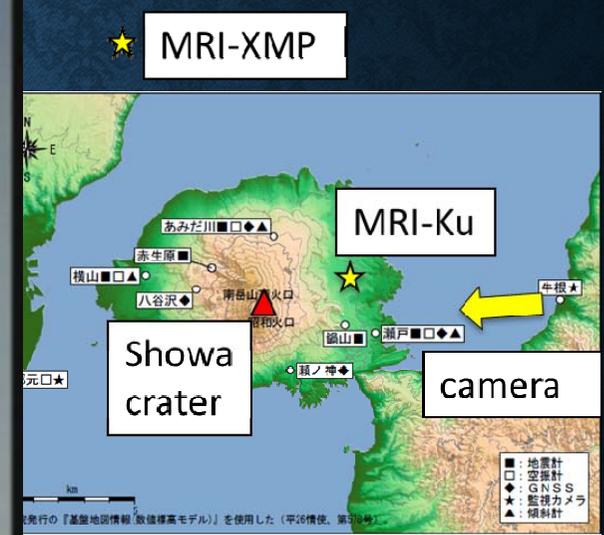


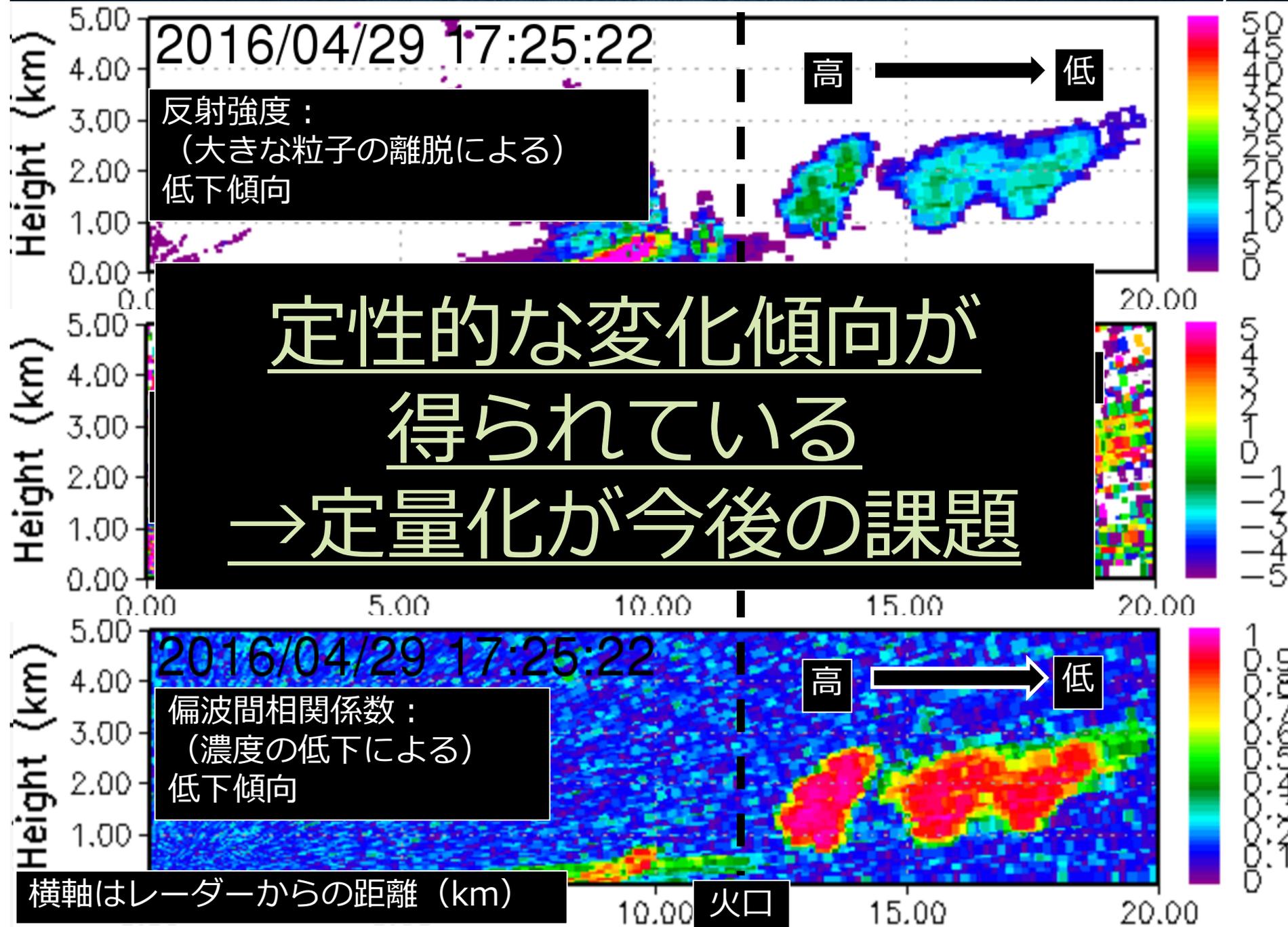
鉛直断面

世界初：約1分毎に噴火の3次元詳細構造を取得！



噴煙の高さ（目視）：火口縁上3,500m





まとめ

- 気象レーダーによる噴煙高度の確率的推定手法を開発
 - 「外れ値」の影響を軽減
 - 誤差を定量的に評価
- 桜島周辺で、最新鋭のレーダーを使って
 - Kuバンド高速スキャンレーダー：噴煙の3次元構造
 - XバンドMPレーダー：噴煙内部の状態の定性的変化傾向
 - 今後は定量化を目指す
- 本研究が実用化すれば、
 - 全天候的な火山噴火の監視
 - 高精度な降灰予報や航空路火山灰情報の提供につながる。





ご清聴ありがとうございました。

謝辞

- XバンドMPレーダーは株式会社島津興業に土地をお借りして観測を行っています。
- Kuバンド高速スキャンレーダーは、京都大学防災研究所・防災科研技術研究所・気象庁との共同研究「南九州の活動的火山の災害軽減に関する共同研究」の下、京都大学防災研究所黒神観測室で観測を行っています。
- 本研究の一部は、鹿児島大学との共同研究「気象レーダーを活用した火山噴煙に関する研究」で実施しています。
- 本研究の一部は、JSPS科研費「降水時の爆発的火山噴火に関するレーダ気象学的研究」（課題番号：16H03145、代表：真木雅之鹿児島大学特任教授）の助成を受けています。
- 本研究は、鹿児島地方気象台の協力を得て実施しています。鹿児島地方気象台と気象研究所は、地方共同研究「気象レーダーを用いた噴煙の汎用的解析手法に関する研究」を実施しています。