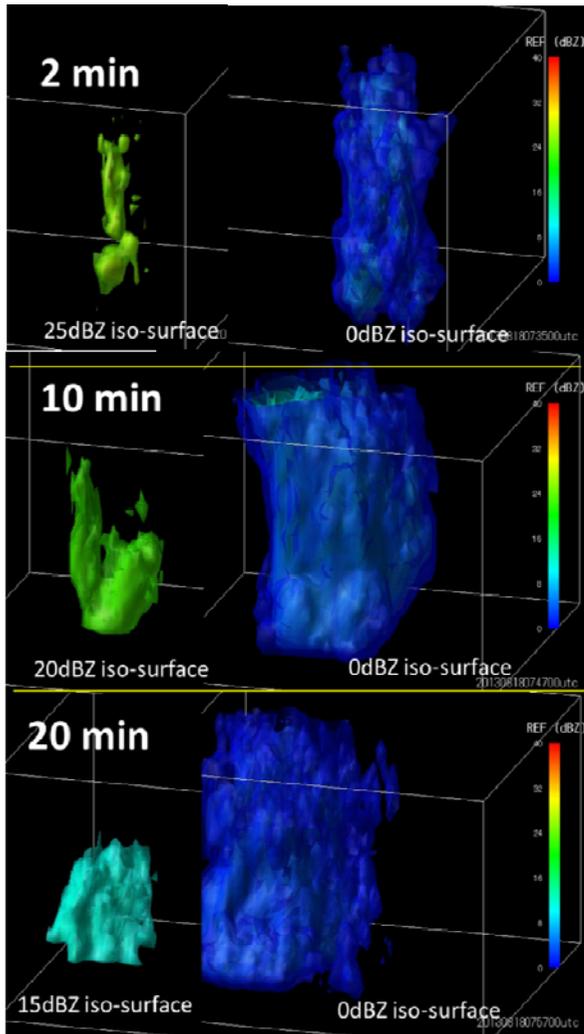


火山灰雲のXバンドマルチパラメータ レーダデータの三次元解析



真木雅之
鹿児島大学

(2015.06.17 災害対策技術講演会, NICT)

大規模噴火にレジリエントな社会の実現に向けて

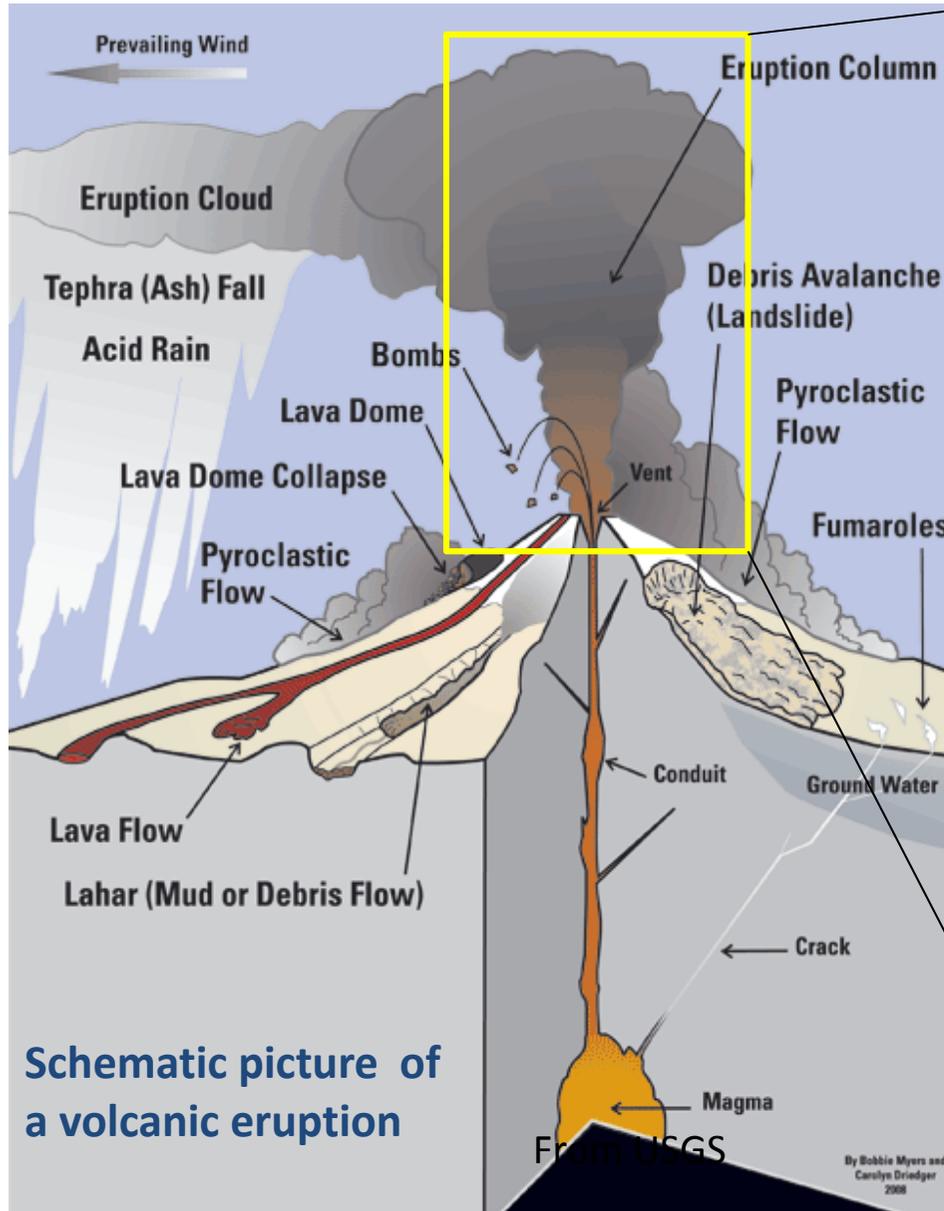
背景

- 気象レーダにより噴煙柱・火山灰雲の監視は可能
- 地域の防災力の向上に(鹿大地域防災教育研究センター)
- 気象庁が降灰予報を開始
- 降灰予報精度向上に噴煙柱・火山灰雲のレーダ観測情報を利用できないか(鹿大-気象研の共同研究)

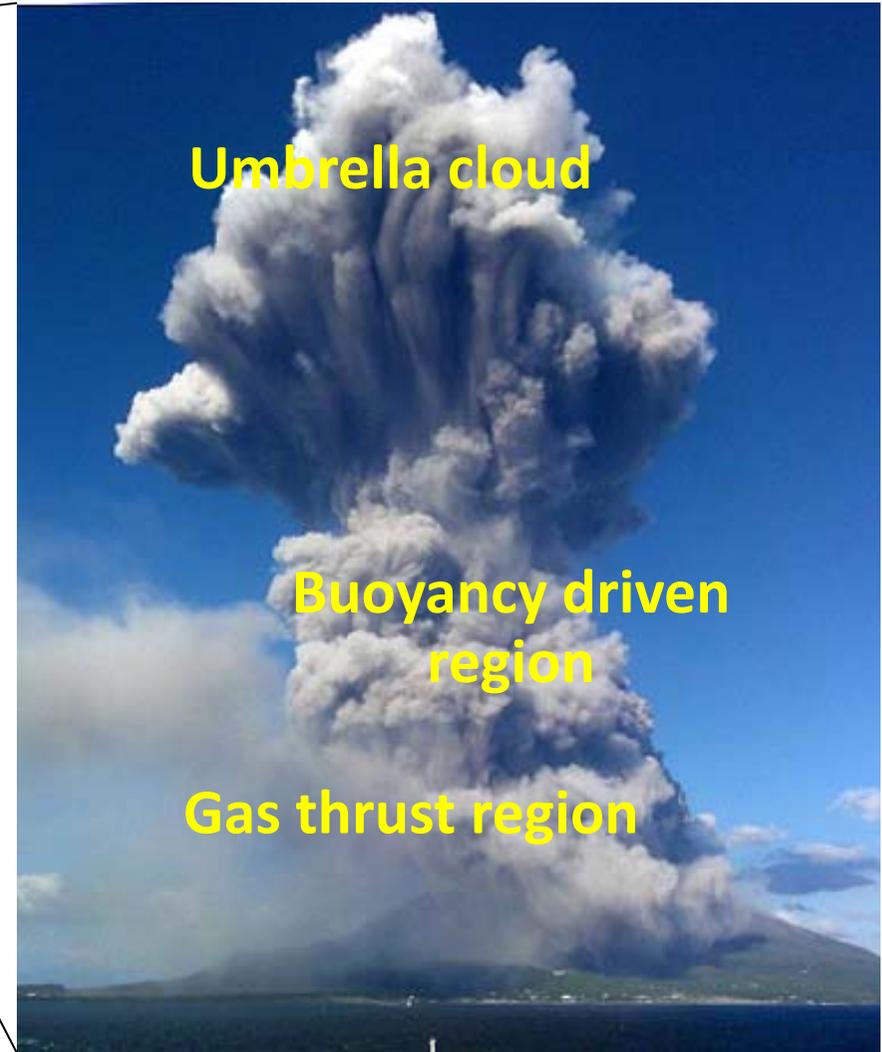
本講演の内容

- 現業気象レーダにより噴煙柱・火山灰雲をどこまで捉えられるか
- 特に内部の構造を捉えたい
- 3次元解析ツールを開発
- 解析結果例を紹介

噴煙柱・火山灰雲の模式図



Schematic picture of a volcanic eruption

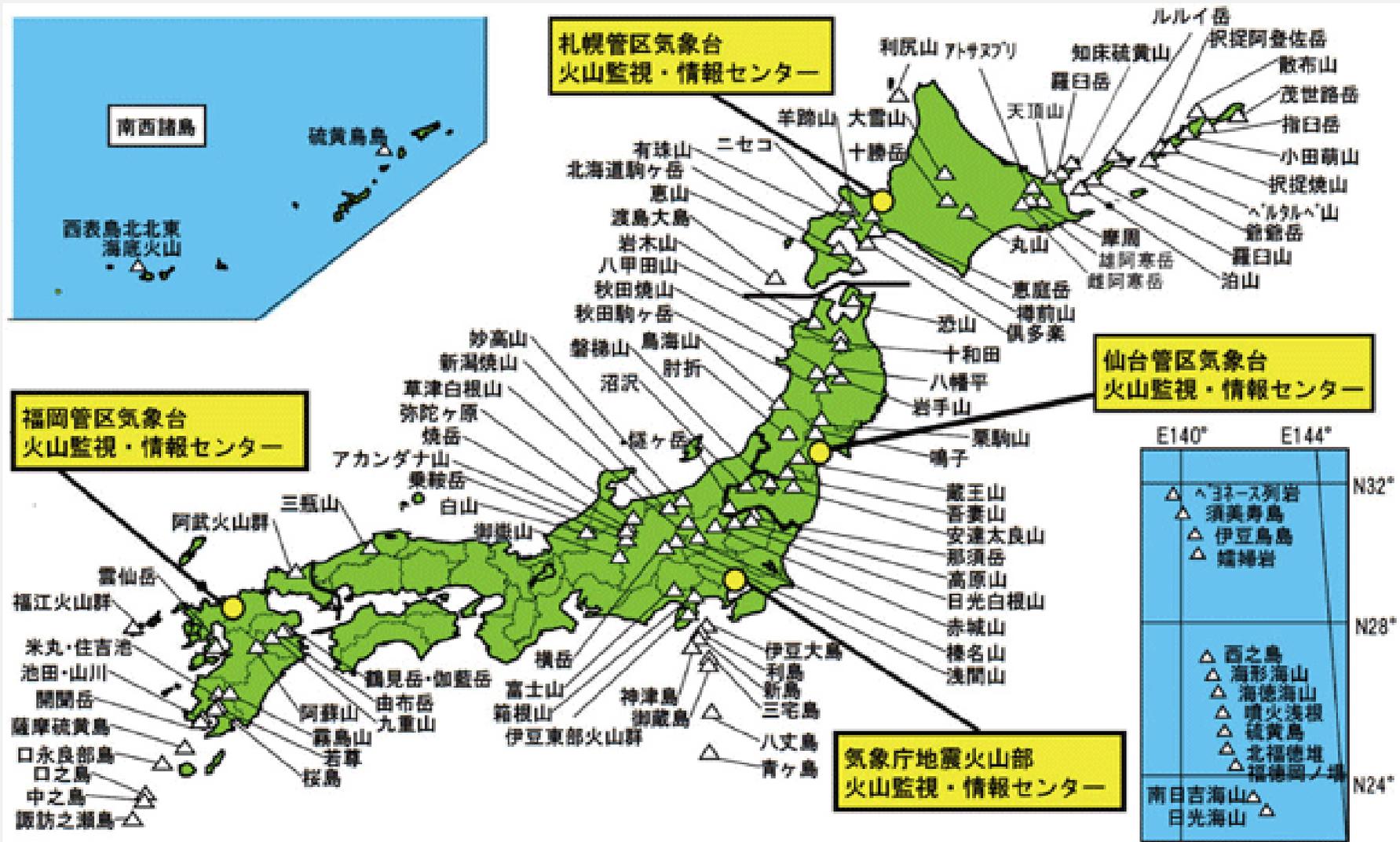


Three regions in an eruption column based on driving forces

日本の活火山

110 active volcanoes

47 volcanoes needs to be monitored by instruments



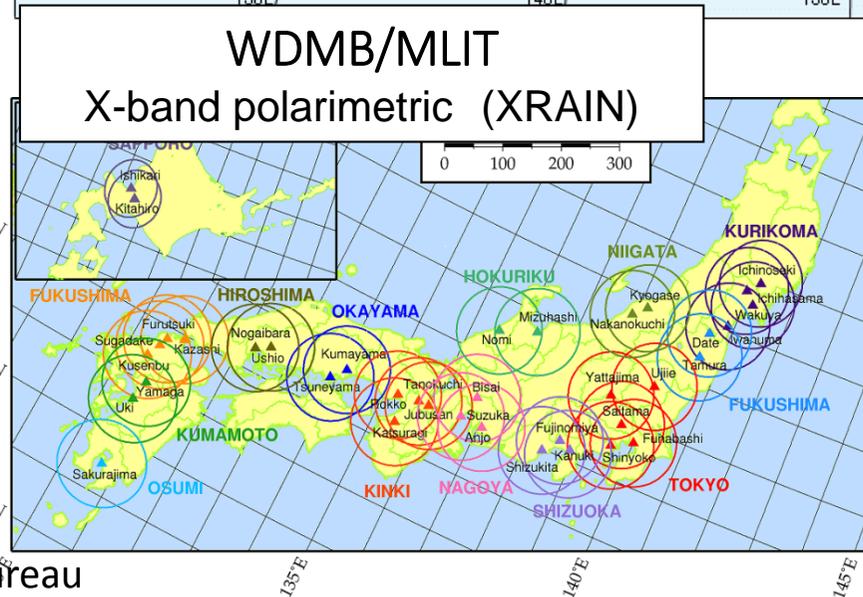
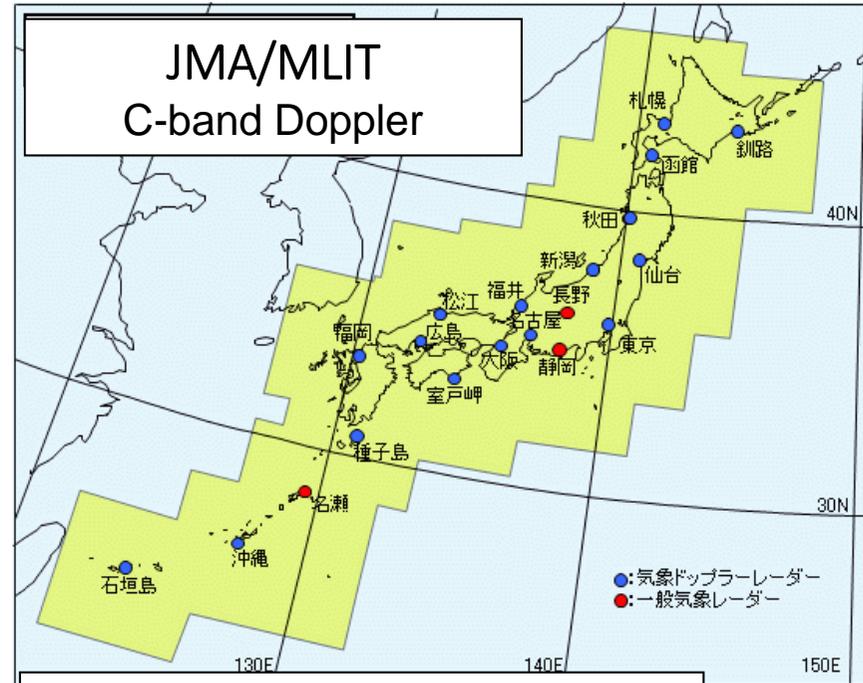
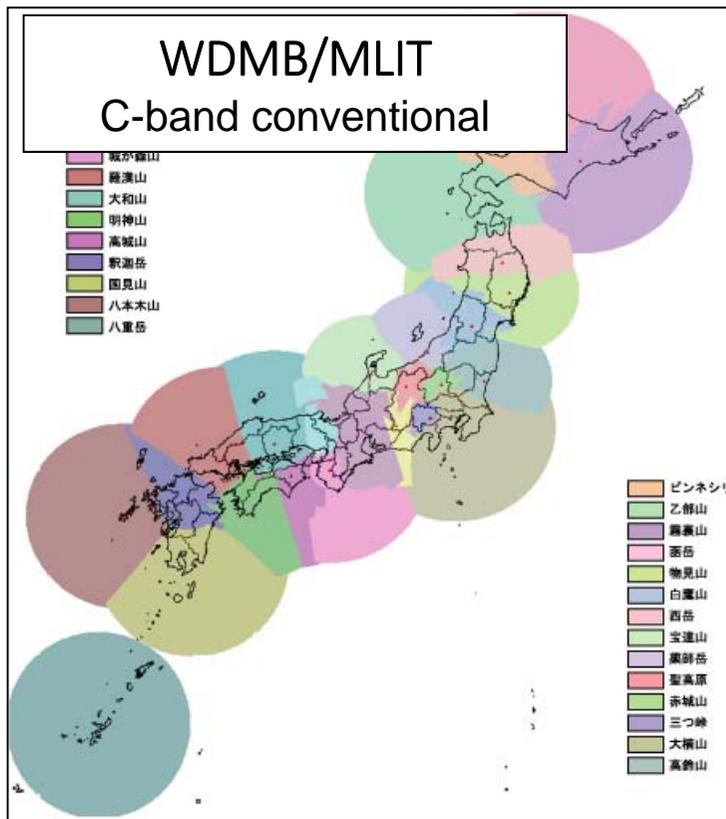
現業気象レーダネットワーク

JMA/MLIT

- C-band Doppler radar (20)
- C-band TDWR (major airport)

WDMB/MLIT

- C-band conventional (26)
- X-band polarimetric (38)



WDMB: Water and Disaster Management Bureau

3次元解析ツールの開発経緯

「XバンドMPLレーダによる定量的降雨量推定手法の開発」(2001年度～2005年, 防災科研)

「XMPLレーダによる土砂・風水害の発生予測に関する研究」(2006年度～2010年, 防災科研)

「XバンドMPLレーダネットワークによる雨と風の三次元分布推定手法の開発」
(2009年～2012年, 国総研委託研究)

「南九州地方における地域防災支援データベースの構築」(2013年～2015年, 文科省委託研究)

「火山灰のレーダ散乱特性に関する研究」
(2012年～2016年, 科研費補助金)

「レーダデータ3次元解析ツール」
(2014年～2016年, 鹿大, SATREPS)

各種のクリプトファイル(火山灰雲に特化)
(2015年～2018年, 鹿大, SATREPS)

- ・MATLAB環境で開発
- ・C、X、Ku、Ka、ライダー等
- ・NetCDF形式の入力データ
- ・計算機システムに依存しない
実行形式への変換が可能
- ・プロジェクトメンバーにopen

散乱シミュレーション

火山灰雲の統計量

火山灰雲移流ベクトル

噴煙三次元分布

定量的降灰量推定

噴火の自動検出

噴煙柱構造解析

降雨と火山灰の判別

SATREPSレーダ観測システムへの実装と試験運用(2017年～2018年, SATREPS)

3次元解析ツールの特徴

気象レーダによる火山灰雲の検出と定量的噴煙量推定のために必要なアルゴリズム集

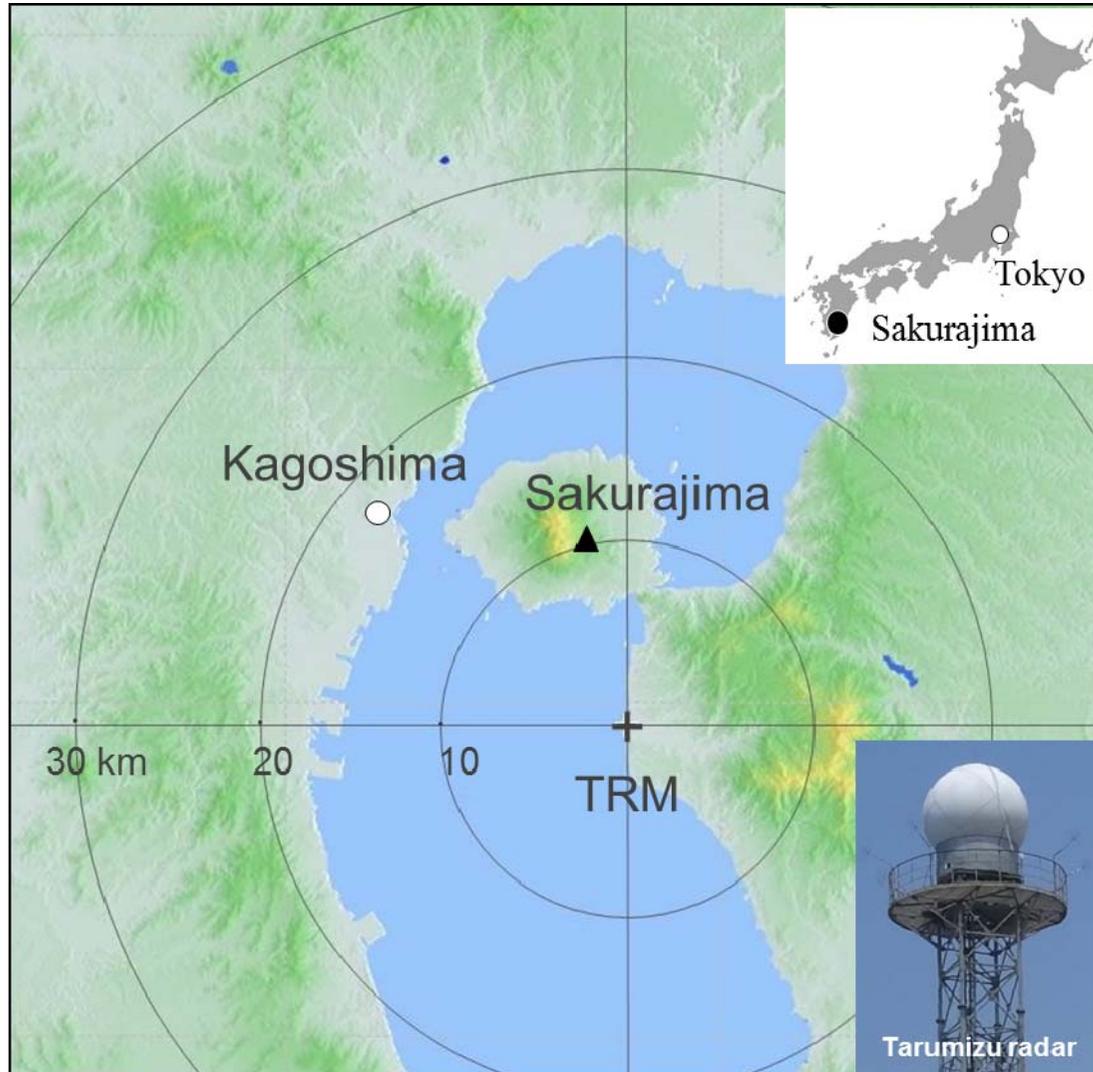
【特徴】

- MATLAB環境で開発
- NetCDF形式の入力データ
- 計算機システムに依存しない実行形式への変換が可能

【機能例】

- レーダデータ読み込み, 座標変換, 描画アルゴリズム
- 3次元分布 (CAPPI)
- アニメーション
- 基本統計量の計算アルゴリズム (3次元)
- レーダデータの時空間積算値

国土交通省垂水XノバンドMPLレーダ



Radar(Name)		TRM (Tarumizu)
Antenna	Size	2.2 m
	Beam width	1.0°
	Gain	44.7 dB (H), 45.1 dB (V)
	Speed	1-4 rpm
Transmitter	Scan angle (PPI)	1.7°- 20.0° (12 tilts)
	Frequency	9770 MHz
	Power	200 W
	PRF	1500/2000 pps
Receiver	Pulse width	1.0 μs
	Smin	-109.5 dBm
Measured radar parameters		$Z_h, Z_v, Z_{DR}, \Phi_{DP}, \rho_{hv}, V_d, \sigma$
Resolution		Range : 150 m Azimuth : 1.0°

解析ツールの出力例

- 基本的なレーダ画像 (PPI, 積算値, etc)
- 統計量 (基本統計量, 頻度分布)
- 3次元表示 (アニメーション, 鳥瞰図, 断面図)
- 積算分布

垂水XMPLレーダにより観測された桜島噴火時の レーダ画像(2013年)

— 高度3000m以上の噴火31事例の中から —

噴煙高度が火口から3000m以上の噴火事例(2013年)

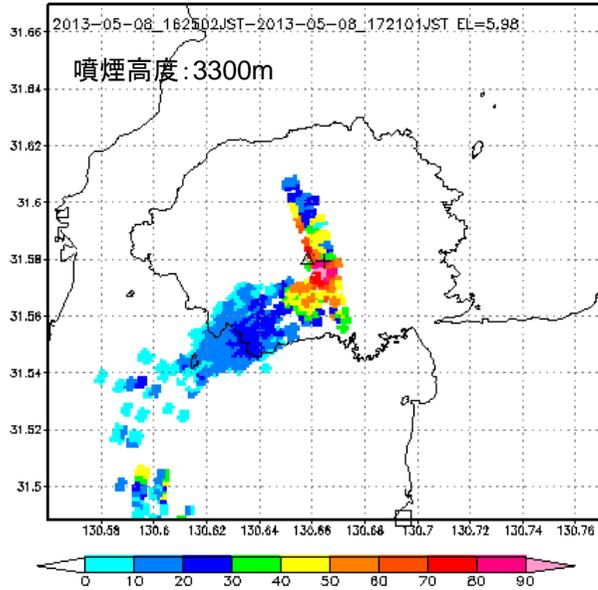
(気象庁の資料に加筆)

No	火番	爆発	噴火時刻(日本時)	積算時刻(分)	噴煙量	噴煙高度(m)	方向	火口		No
1	369	305	2013/05/08 16:27	16:27-17:21 (54)	4	3300	T	S	ok	1
2	421	352	2013/06/13 08:58	08:58-10:59 (61)	4	3000	T	S	good	2
3	423	354	2013/06/13 13:26	13:26-14:13 (47)	4	3300	NE	S	good	3
4	458	380	2013/07/10 17:58	17:58-18:23 (25)	4	3400	T	S	-	4
5	461	382	2013/07/11 13:06	13:06-13:53 (57)	4	3000	N	S	ng	5
6	488	-	2013/07/16 15:56	15:56-16:25 (29)	4	3500	NE	S	good	6
7	509	411	2013/07/19 07:37	07:37-08:19 (42)	4	3400	SE	S	ok	7
8	511	413	2013/07/19 12:04	12:04-13:01 (57)	4	3000	T	S	ok	8
9	531	428	2013/07/22 16:35	16:35-17:31 (56)	4	3200	E	S	ok	9
10	535	431	2013/07/22 23:33	23:33-24:13 (40)	4	3000	E	S	ok	10
11	596	478	2013/08/09 12:50	12:50-13:49 (59)	4	3500	SE	S	ok	11
12	627	500	2013/08/18 16:31	16:31-17:13 (42)	5	5000	NW	S	best	12
13	637	509	2013/08/21 10:06	10:06-10:33 (27)	4	3500	NW	S	ok	13
14	695	554	2013/08/29 09:27	09:27-09:59 (32)	5	3000	E	S	rain,ok	14
15	731	-	2013/09/06 16:23	16:23-16:51 (28)	4	3300	T	S	ok	15
16	734	586	2013/09/06 20:44	20:44-21:11 (27)	4	3000	N	S	ng	16
17	762	603	2013/09/12 13:26	13:26-13:59 (33)	4	3300	T	S	ng continu	17
18	764	604	2013/09/13 07:29	07:29-07:59 (30)	4	3000	T	S	ng	18
19	811	-	2013/09/20 16:46	16:46-17:19 (33)	4	3500	W	S	ng	19
20	838	660	2013/09/25 12:42	12:42-13:13 (31)	5	4000	S	S	good	20
21	842	-	2013/09/26 10:18	10:18-10:55 (37)	5	4500	S	S	Good	21
22	846	663	2013/09/27 17:24	17:24-18:09 (45)	4	3000	T	S	ok	22
23	867	680	2013/10/01 13:38	13:38-14:17 (39)	4	3000	S	S	ok	23
24	882	693	2013/10/03 08:30	08:30-09:05 (35)	4	3000	E	S	ok	24
25	886	696	2013/10/04 04:33	04:17-05:45 (98)	4	3000	W	S	ok	25
26	887	697	2013/10/04 12:02	12:02-12:37 (35)	4	3000	W	S	good	26
27	895	702	2013/10/07 09:22	09:22-09:41 (19)	4	3000	W	S	strong wind	27
28	954	-	2013/10/21 10:35	10:35-11:25 (50)	4	4500	T	S	ok	28
29	972	757	2013/10/28 08:09	08:09-08:51 (42)	4	3500	N	S	ok,behind	29
30	974	-	2013/10/28 12:39	12:39-13:13 (34)	4	3200	N	S	sml	30
31	1047	807	2013/11/24 16:23	16:23-16:51 (28)	5	4000	NE	S	good	31

CASE01 (2013/05/08 16:27 JST) 3300m

エコー積算期間:1625-1721 JST

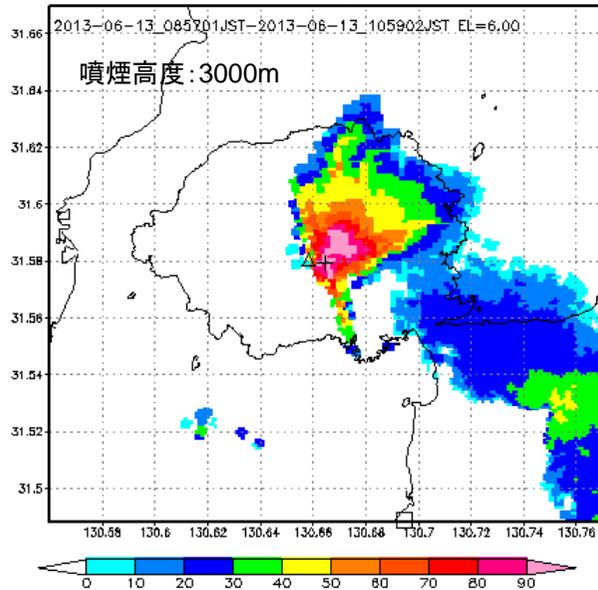
Accumulated Reflectivity(mm⁶/m³),dt=2



CASE02 (2013/06/13 08:58 JST) 3000m

エコー積算期間:0857-1059 JST

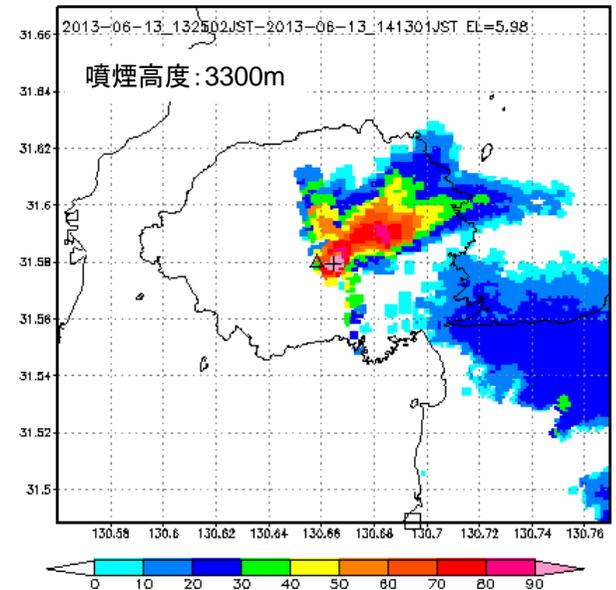
Accumulated Reflectivity(mm⁶/m³),dt=2



CASE03 (2013/06/13 13:26 JST) 3300m

エコー積算期間:1325-1413 JST

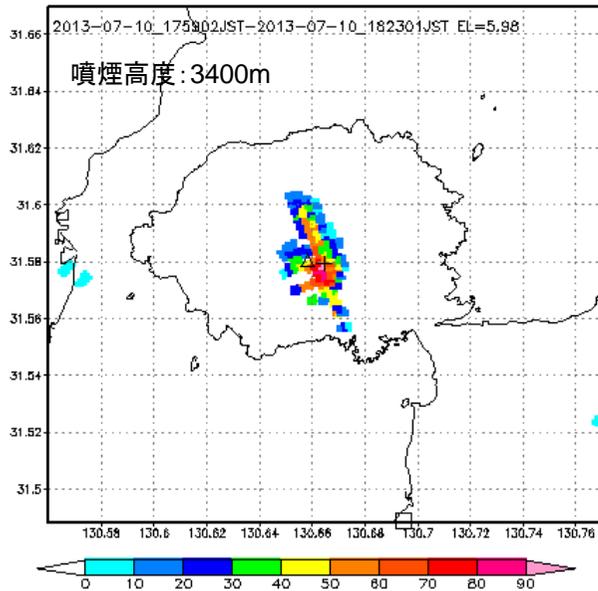
Accumulated Reflectivity(mm⁶/m³),dt=2



CASE04 (2013/07/10 17:58 JST) 3400m

エコー積算期間:1758-1823 JST

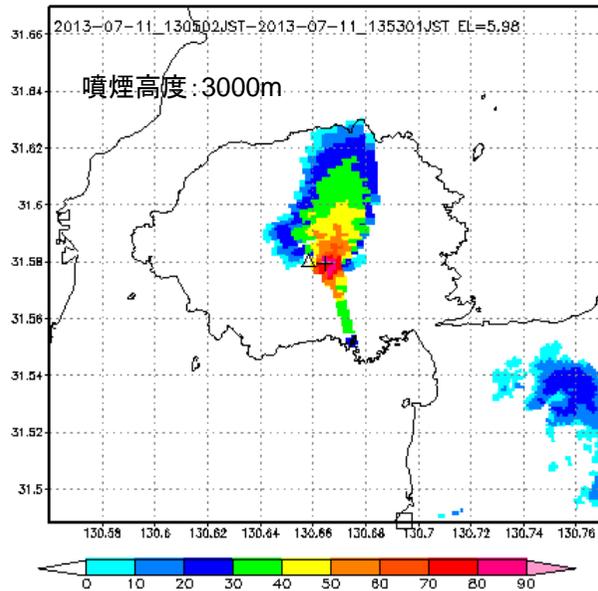
Accumulated Reflectivity(mm⁶/m³),dt=2



CASE05 (2013/07/11 13:06 JST) 3000m

エコー積算期間:1305-1353 JST

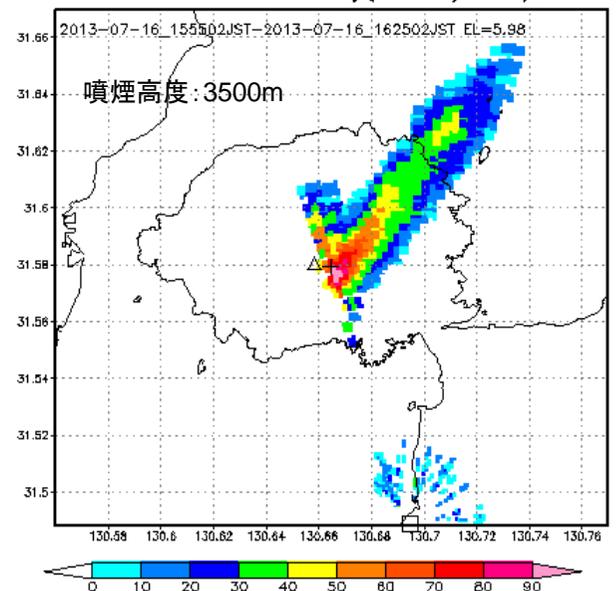
Accumulated Reflectivity(mm⁶/m³),dt=2



CASE06 (2013/07/16 15:56 JST) 3500m

エコー積算期間:1555-1625 JST

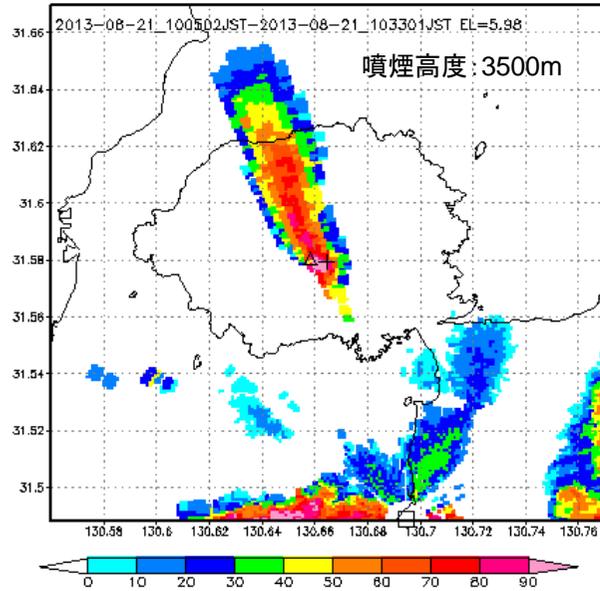
Accumulated Reflectivity(mm⁶/m³),dt=2



CASE13 (2013/08/21/10:06 JST) 3500m

エコー積算期間:1005-1033 JST

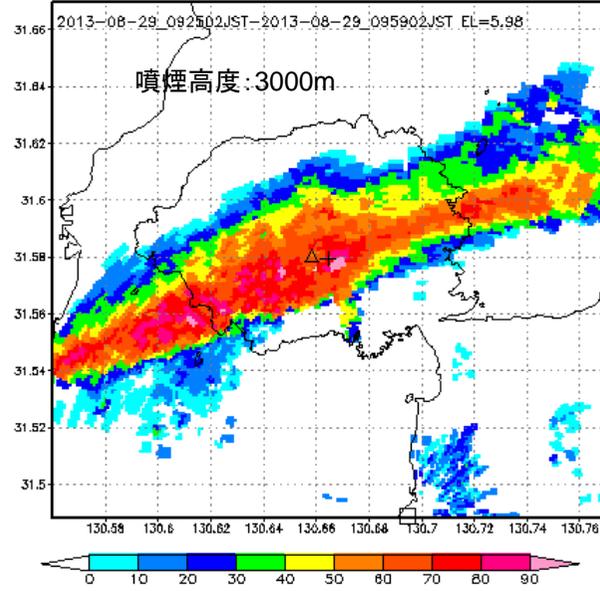
Accumulated Reflectivity(mm^6/m^3),dt=2



CASE14 (2013/08/29/09:27 JST) 3000m

エコー積算期間:0925-0959 JST

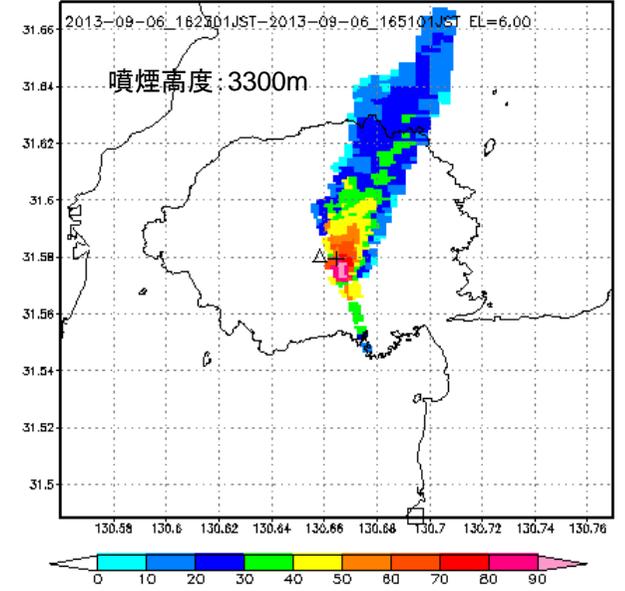
Accumulated Reflectivity(mm^6/m^3),dt=2



CASE15 (2013/09/06/16:23 JST) 3300m

エコー積算期間:1623-1651 JST

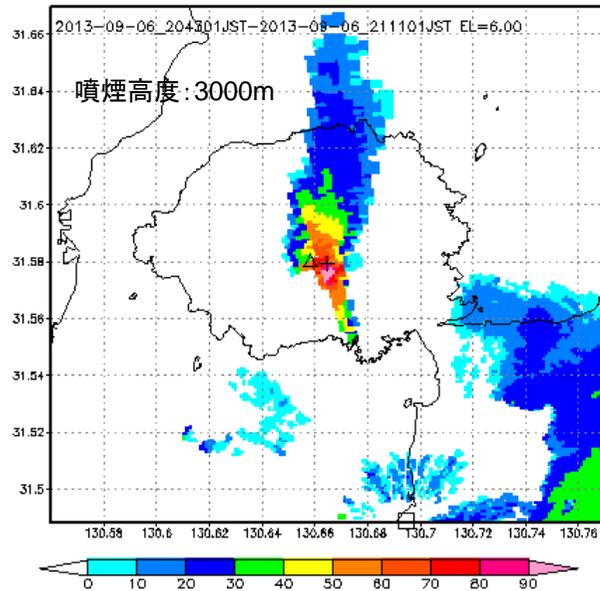
Accumulated Reflectivity(mm^6/m^3),dt=2



CASE16 (2013/09/06/20:44 JST) 3000m

エコー積算期間:2043-2111 JST

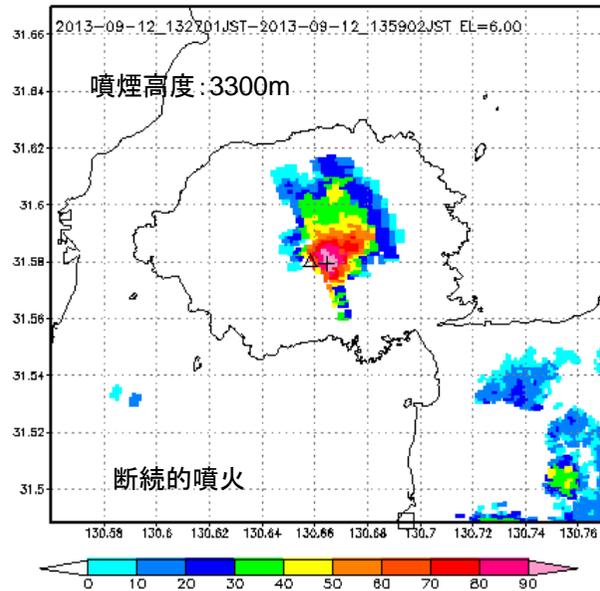
Accumulated Reflectivity(mm^6/m^3),dt=2



CASE17 (2013/09/12/13:26 JST) 3500m

エコー積算期間:1327-1359 JST

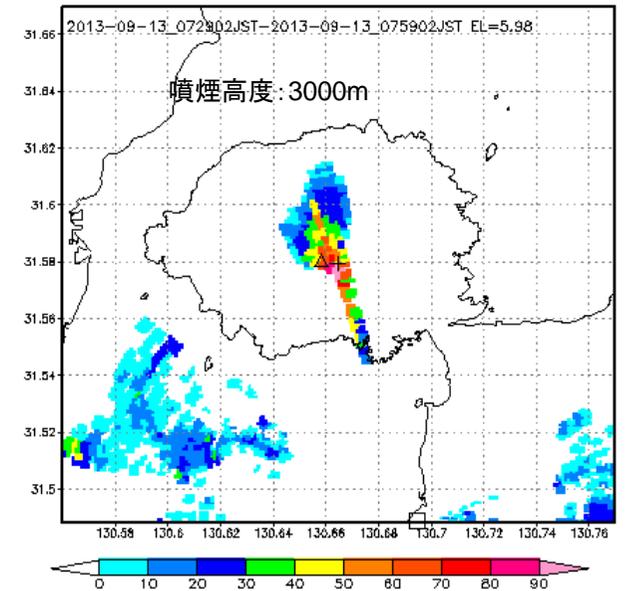
Accumulated Reflectivity(mm^6/m^3),dt=2



CASE18 (2013/09/13/07:29 JST) 3000m

エコー積算期間:0729-0759 JST

Accumulated Reflectivity(mm^6/m^3),dt=2



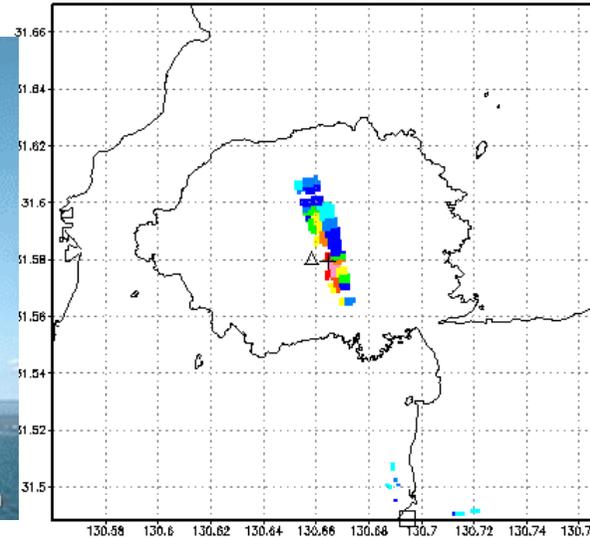
CASE06 (2013/07/16 15:56 JST)

エコー一積算期間:1555-1625 JST

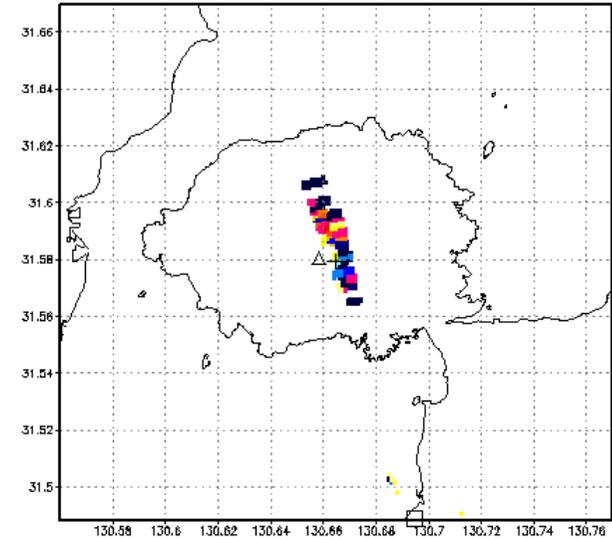
噴煙高度:3500m



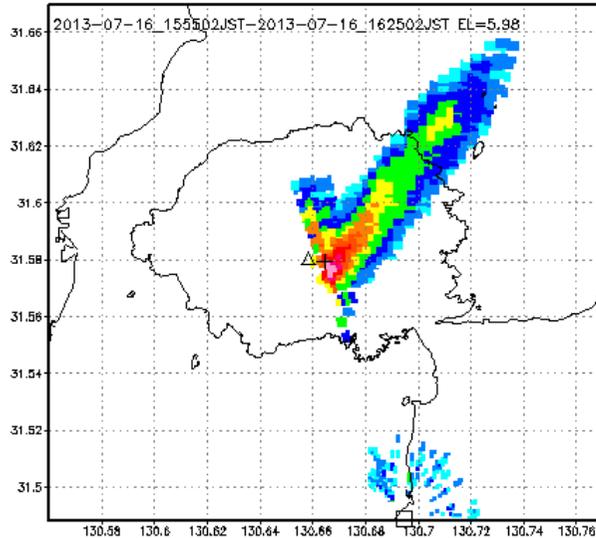
ZH(2013-07-16_155701JST) EL=5.98



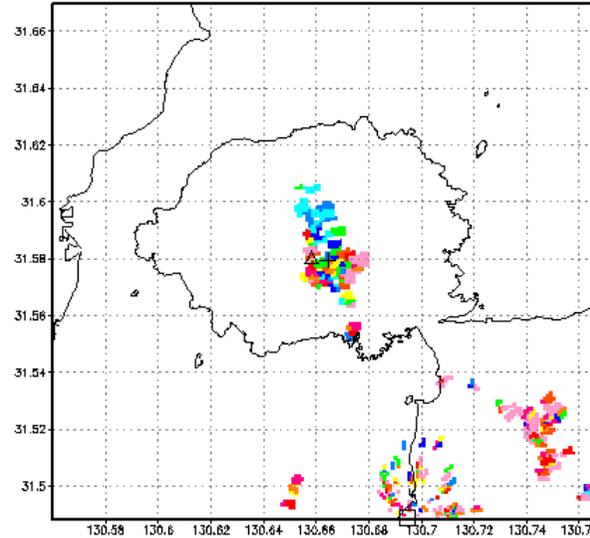
ZDR_cor(2013-07-16_155701JST) EL=5.98



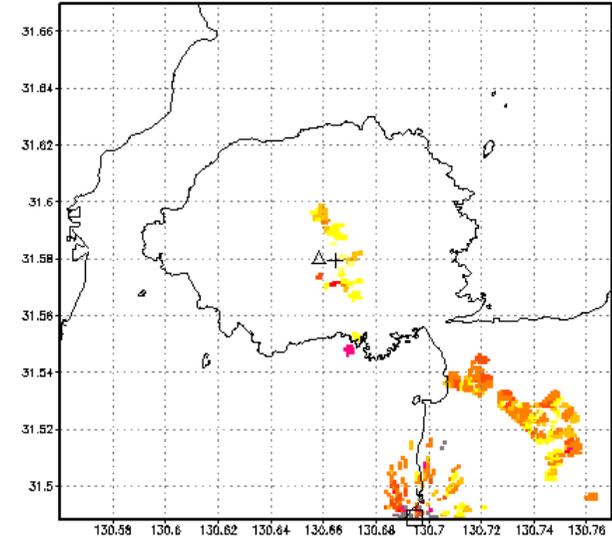
Accumulated Reflectivity(mm^6/m^3),dt=2



RHV_cor(2013-07-16_155701JST) EL=5.98



VEL(2013-07-16_155701JST) EL=5.98



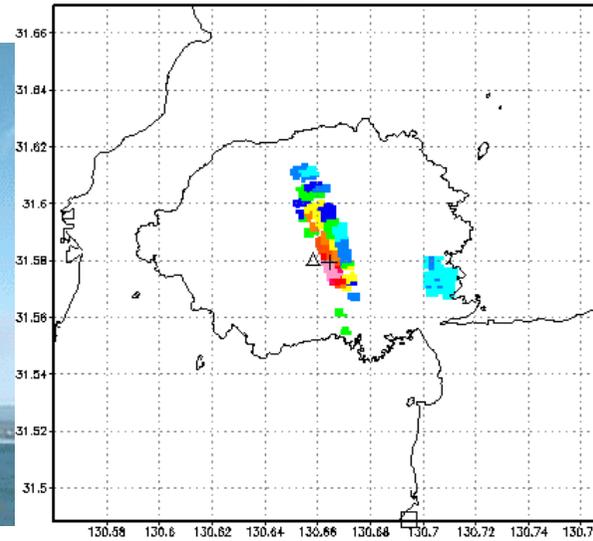
CASE09 (2013/07/22 16:35 JST)

エコー一積算期間:1635-1731 JST

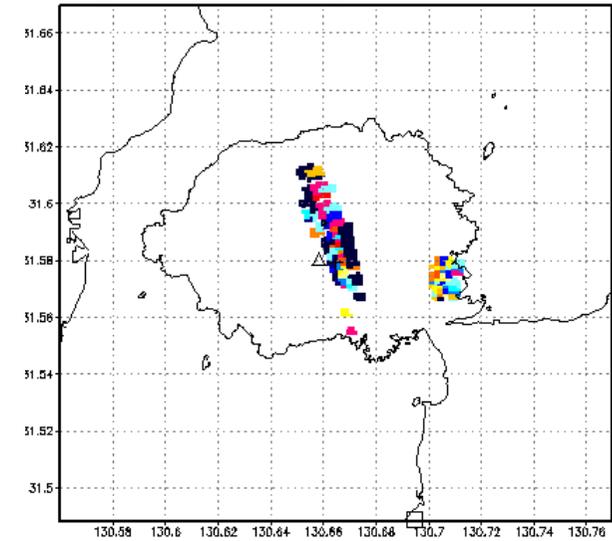
噴煙高度:3200m



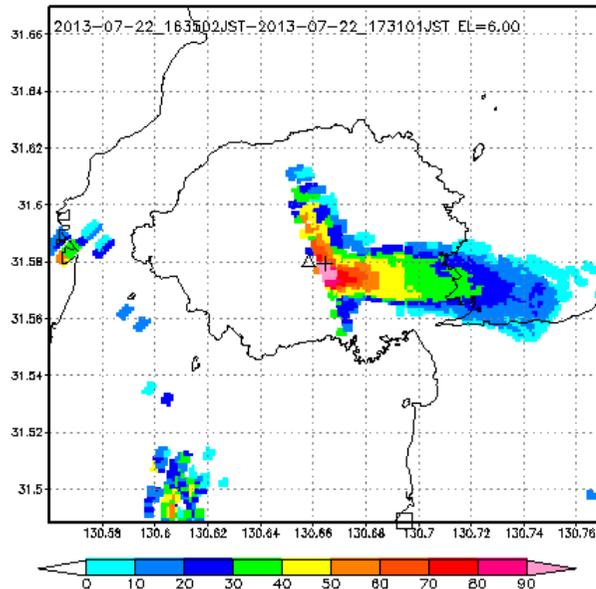
ZH(2013-07-22_163701JST) EL=6.00



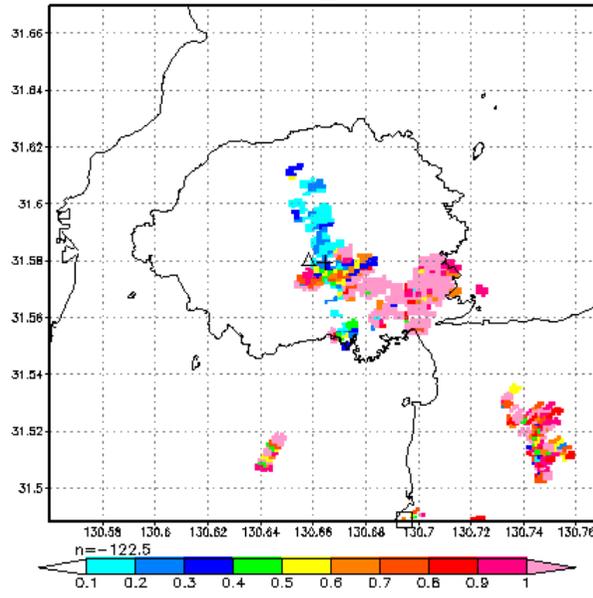
ZDR_cor(2013-07-22_163701JST) EL=6.00



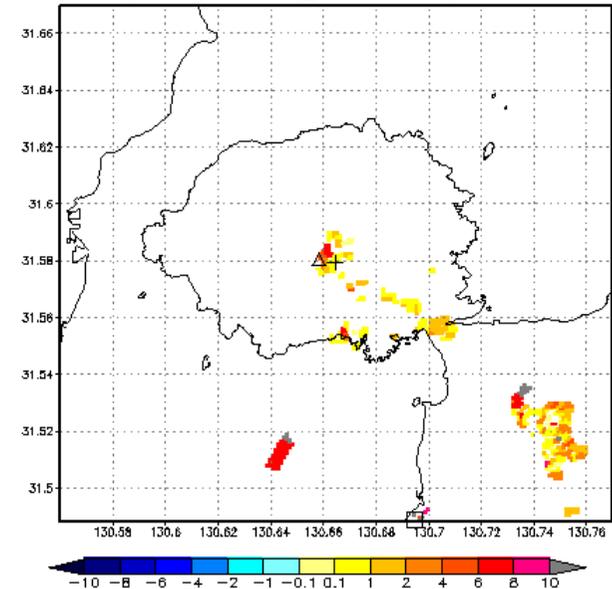
Accumulated Reflectivity(mm^6/m^3),dt=2



RHV_cor(2013-07-22_163701JST) EL=6.00



VEL(2013-07-22_163701JST) EL=6.00



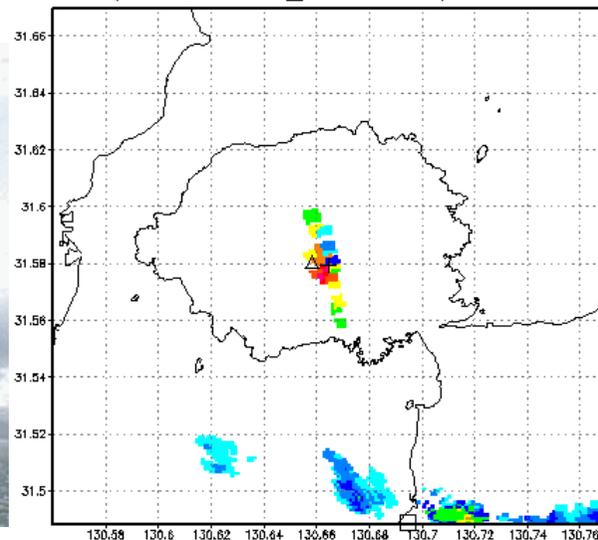
CASE27 (2013/10/07 09:22 JST)

エコー一積算期間:0921-0941 JST

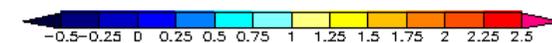
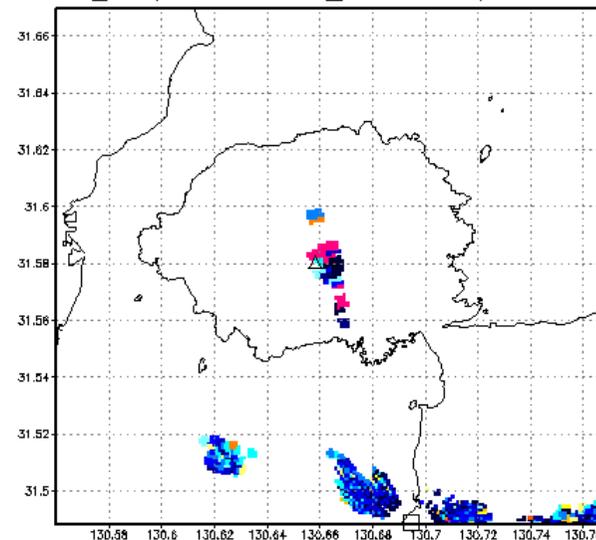
噴煙高度:3000m



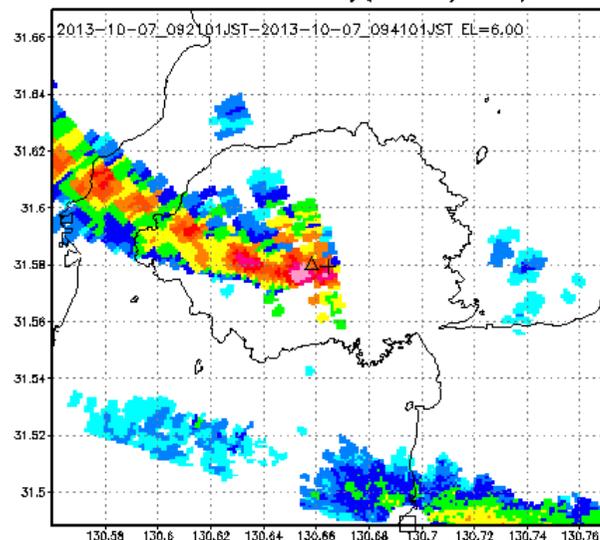
ZH(2013-10-07_092301JST) EL=6.00



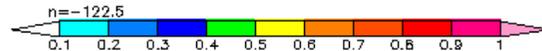
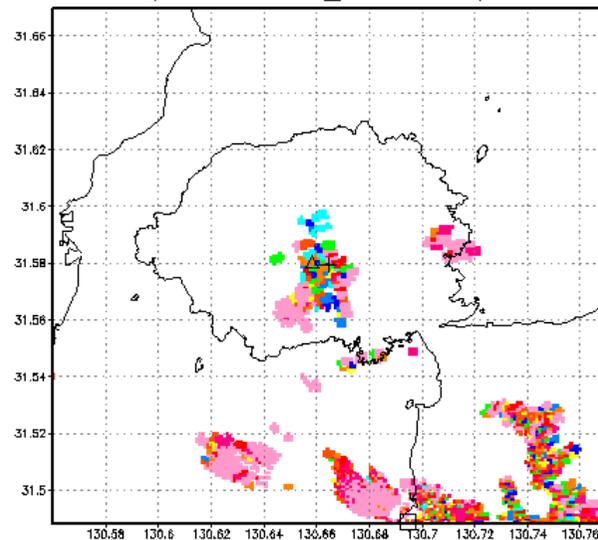
ZDR_cor(2013-10-07_092301JST) EL=6.00



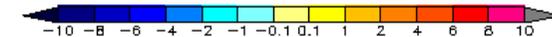
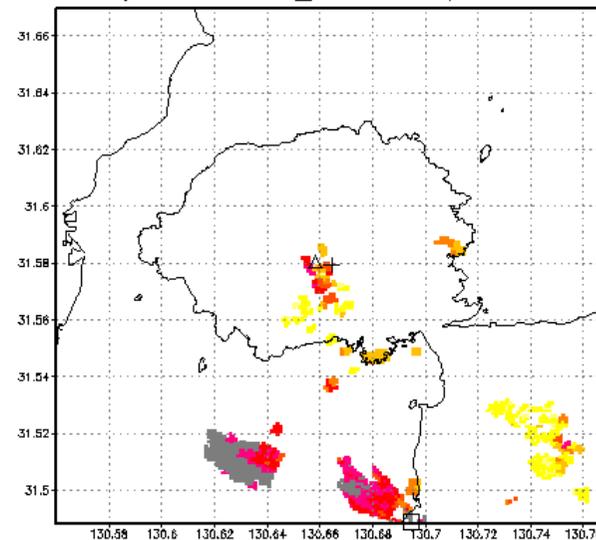
Accumulated Reflectivity(mm^6/m^3),dt=2



RHV_cor(2013-10-07_092301JST) EL=6.00



VEL(2013-10-07_092301JST) EL=6.00



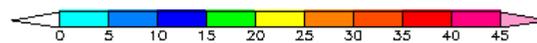
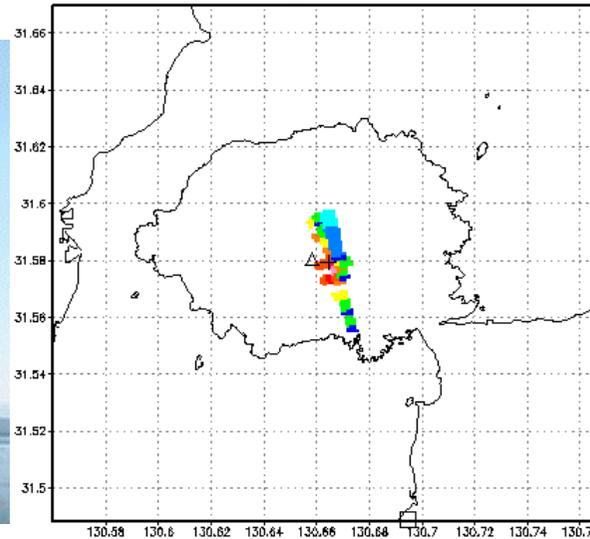
CASE28 (2013/10/21/10:35 JST)

エコー積算期間:1035-1125 JST

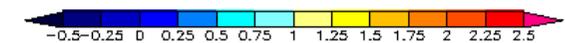
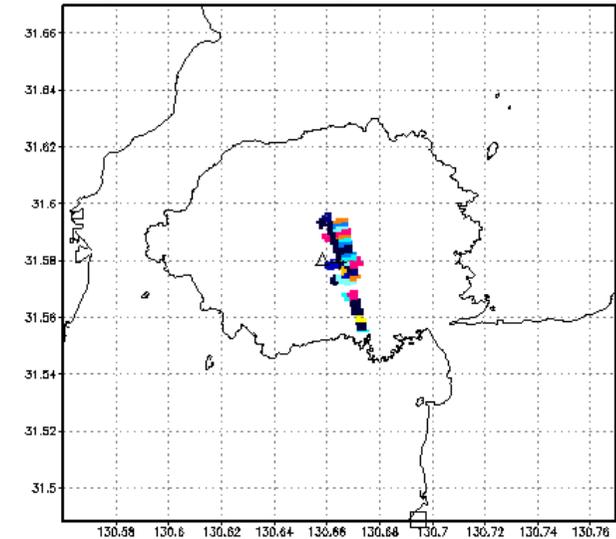
噴煙高度:4500m



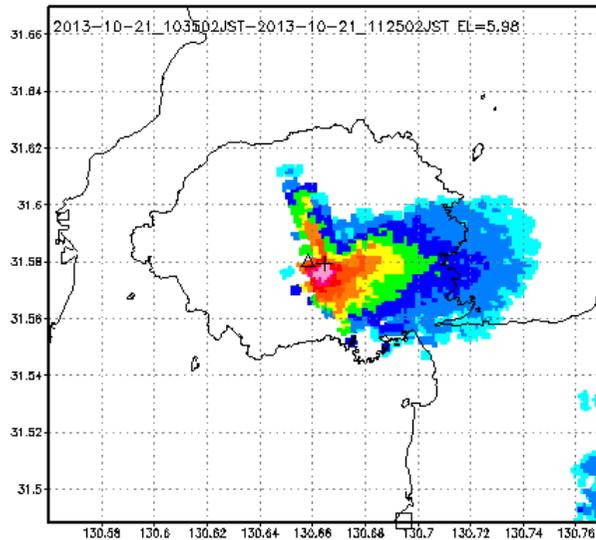
ZH(2013-10-21_103701JST) EL=5.98



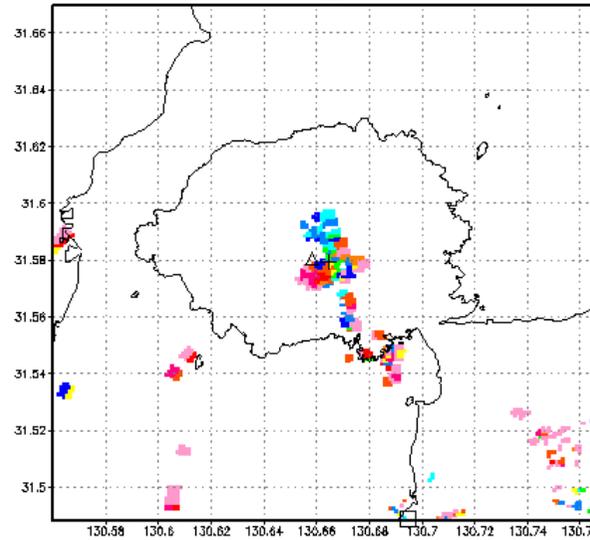
ZDR_cor(2013-10-21_103701JST) EL=5.98



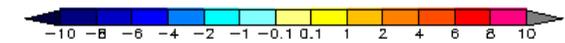
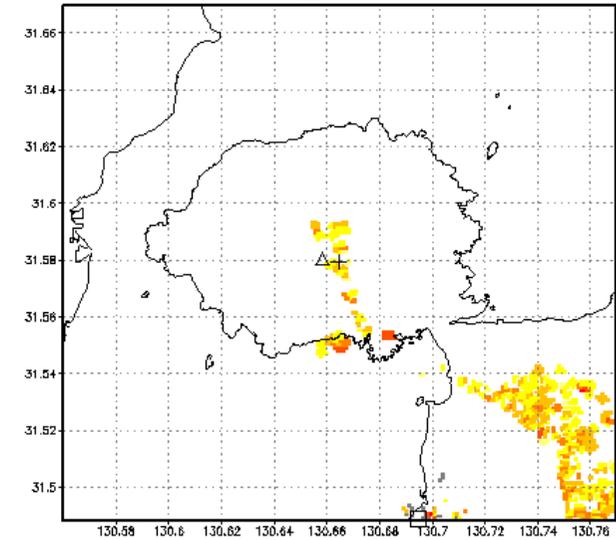
Accumulated Reflectivity(mm^6/m^3),dt=2



RHV_cor(2013-10-21_103701JST) EL=5.98



VEL(2013-10-21_103701JST) EL=5.98



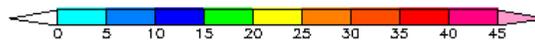
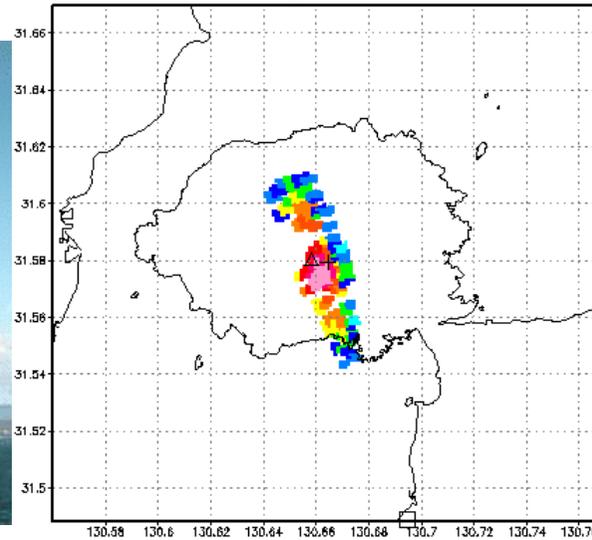
CASE12 (2013/08/18/16:31 JST)

エコー積算期間:1631-1713 JST

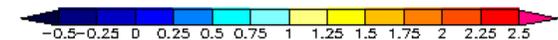
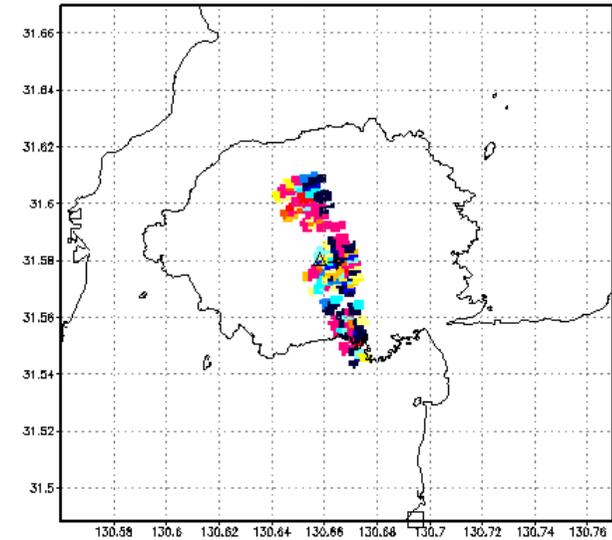
噴煙高度:5000m



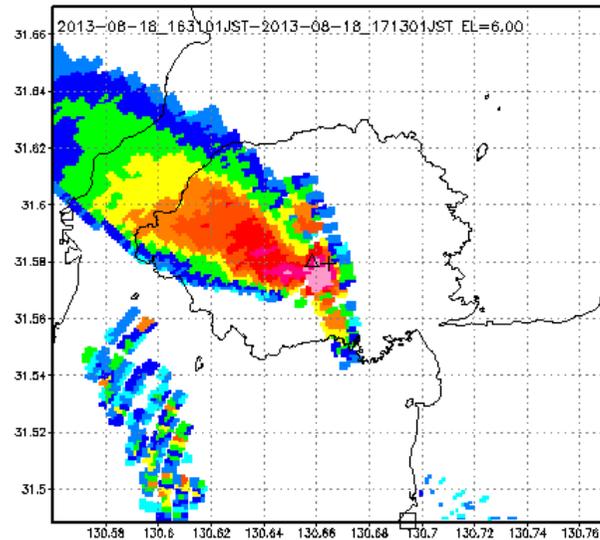
ZH(2013-08-18_163302JST) EL=6.00



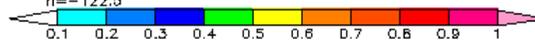
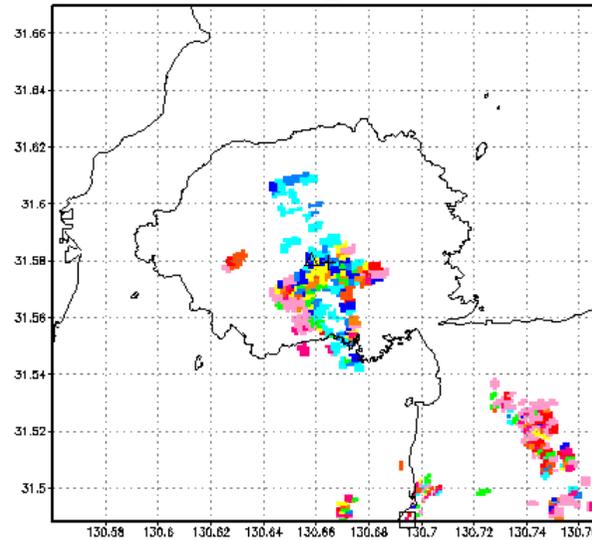
ZDR(2013-08-18_163302JST) EL=6.00



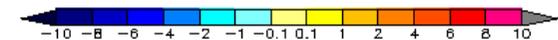
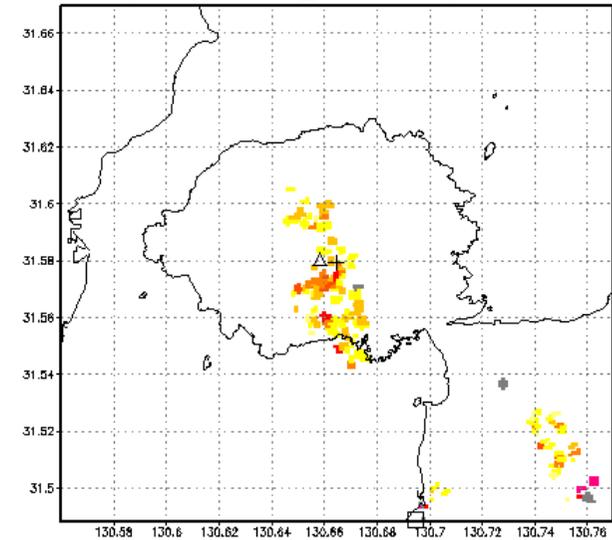
Accumulated Reflectivity(mm⁶/m³),dt=2



RHV-cor(2013-08-18_163302JST) EL=6.00



VEL(2013-08-18_163302JST) EL=6.00



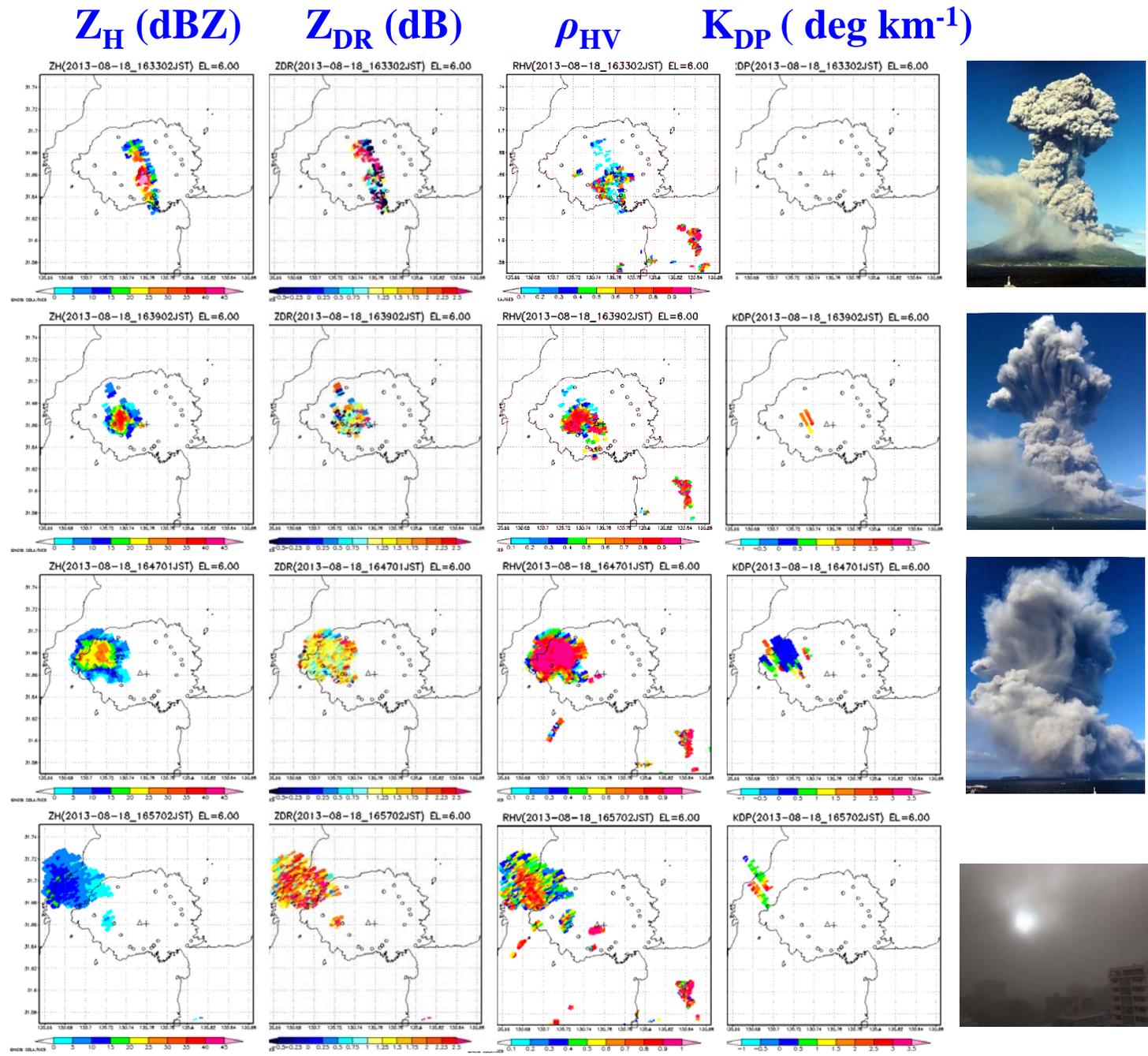


Fig.5 Time change of polarimetric radar parameters of ash clouds observed on 18 August, 2013.

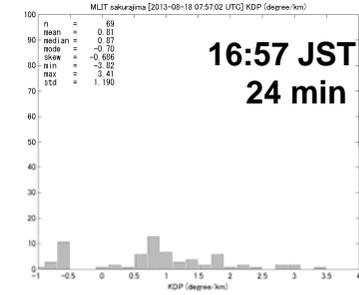
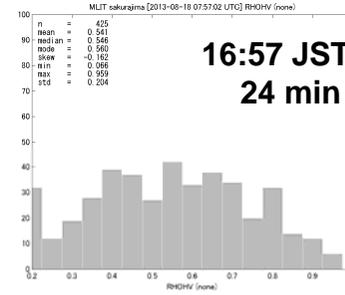
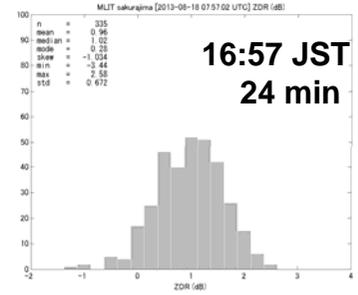
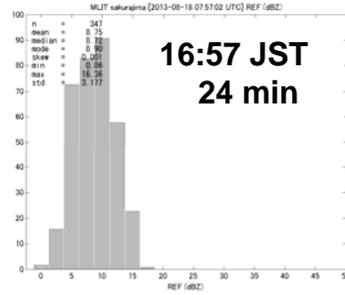
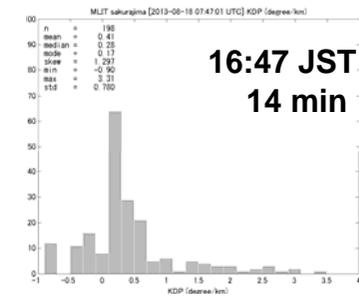
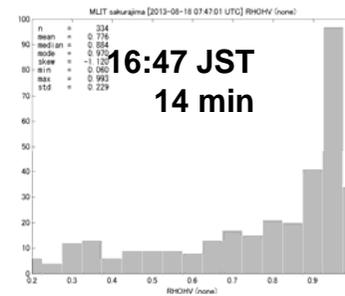
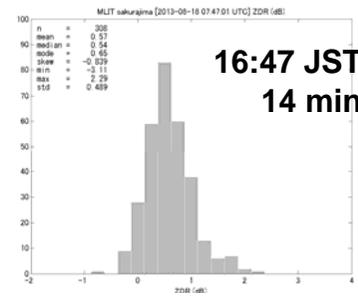
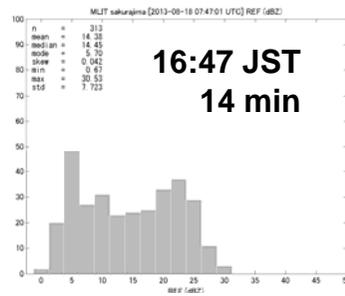
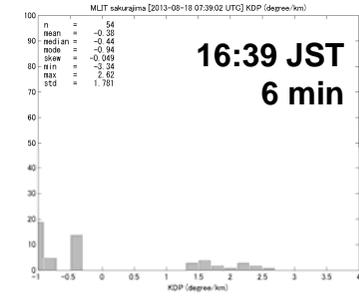
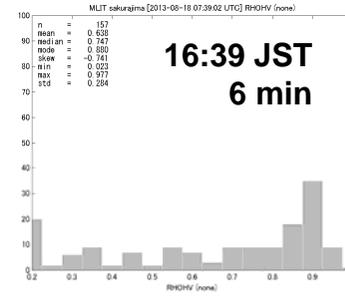
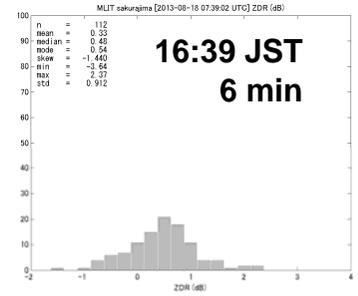
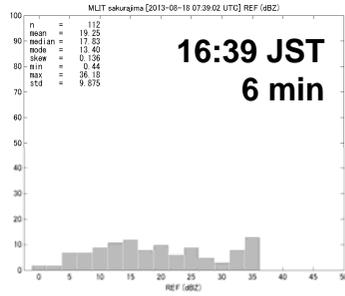
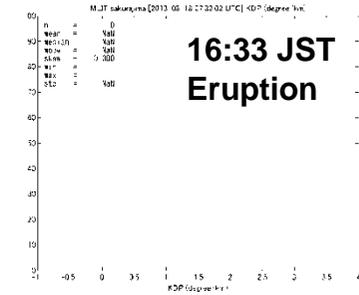
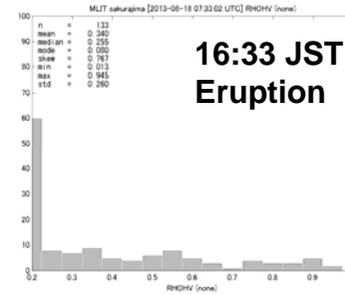
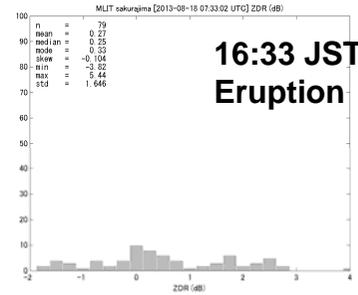
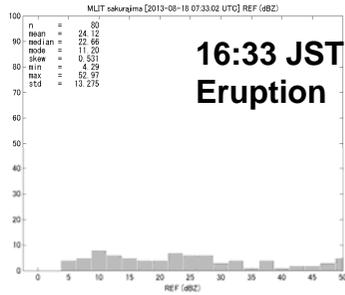
CASE12 (2013/08/18/16:31 JST)

Z_H (dBZ)

Z_{DR} (dB)

ρ_{HV}

K_{DP} ($^{\circ}$ km $^{-1}$)



X-バンドMPLレーダ3次元表示

事例1 2013年8月18日16:32-17:30反射因子

協力: DioVISTA(日立パワーソリューションズ)

Results of 3-D Analysis

➤ Time Evolution of Ash Column

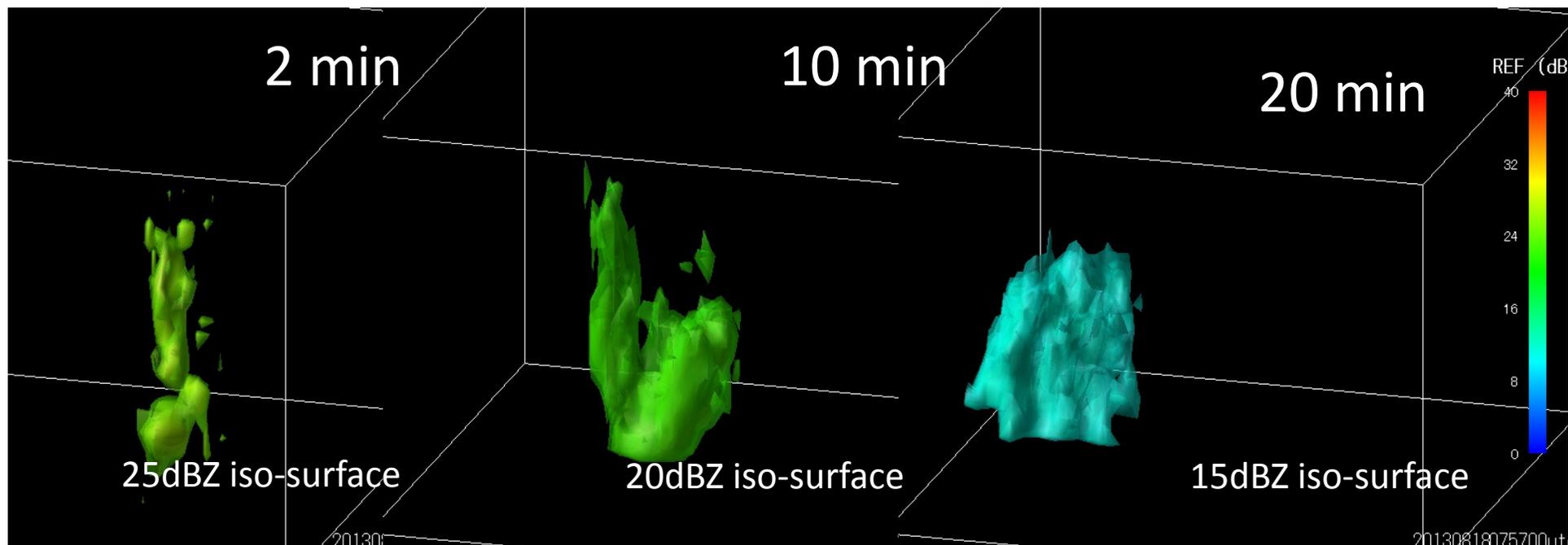
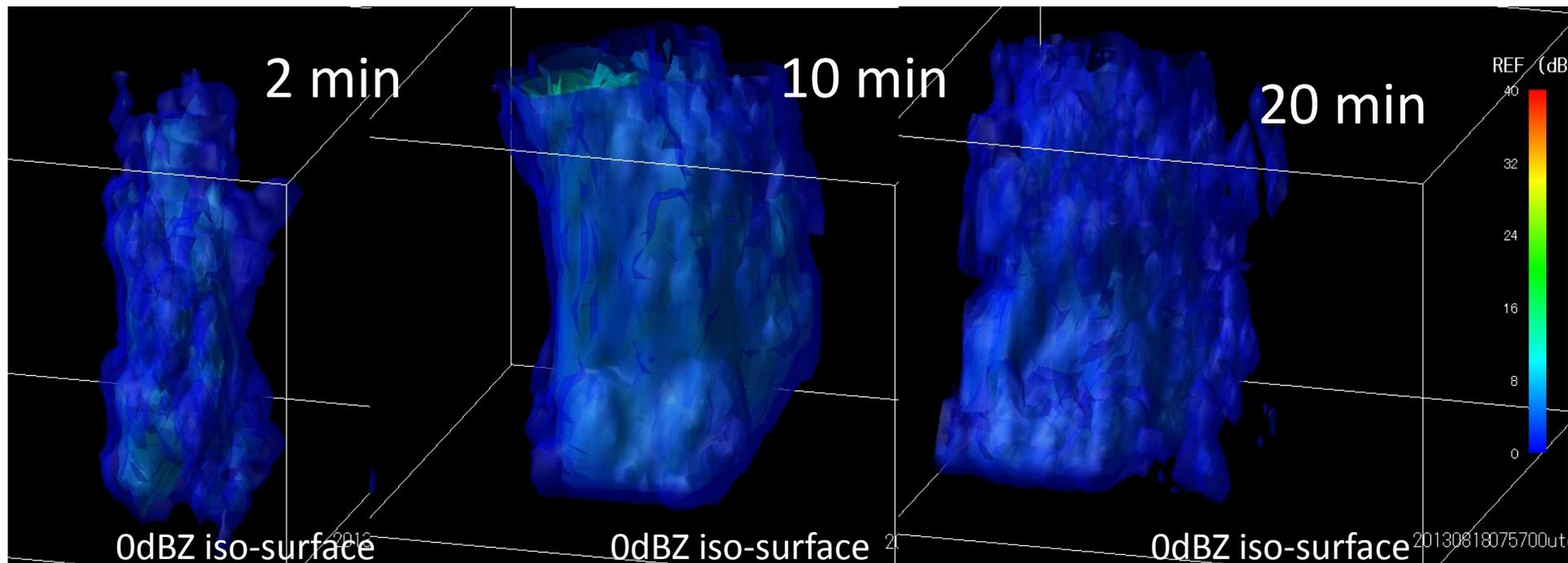
[07:35-08:00 JST \(25 min\)](#)

➤ Inner Structure of Ash Column

2min after eruption ([07:35:00 JST](#))

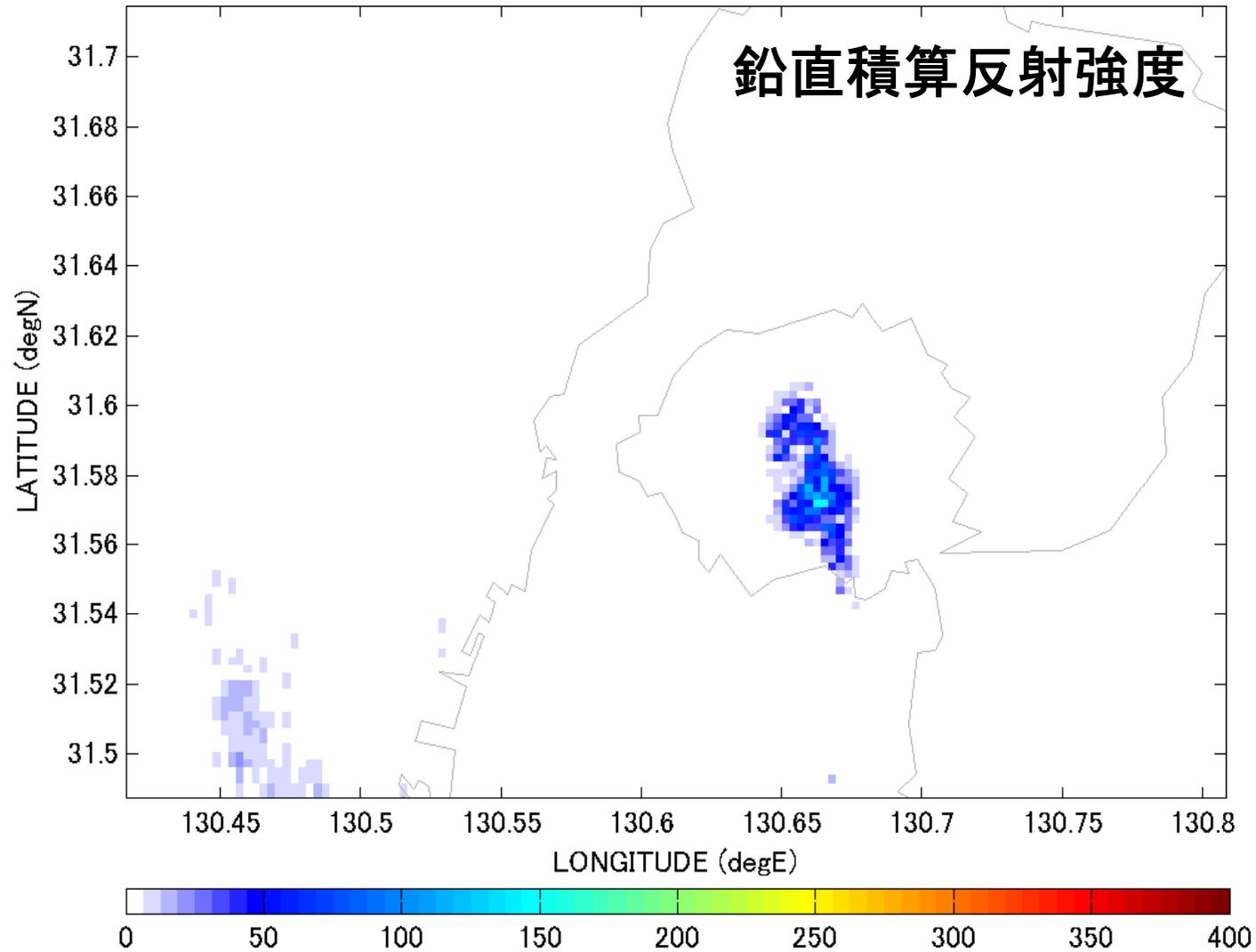
14min after eruption ([07:47:00 JST](#))

24min after eruption ([07:57:00 JST](#))



事例1 2013年8月18日

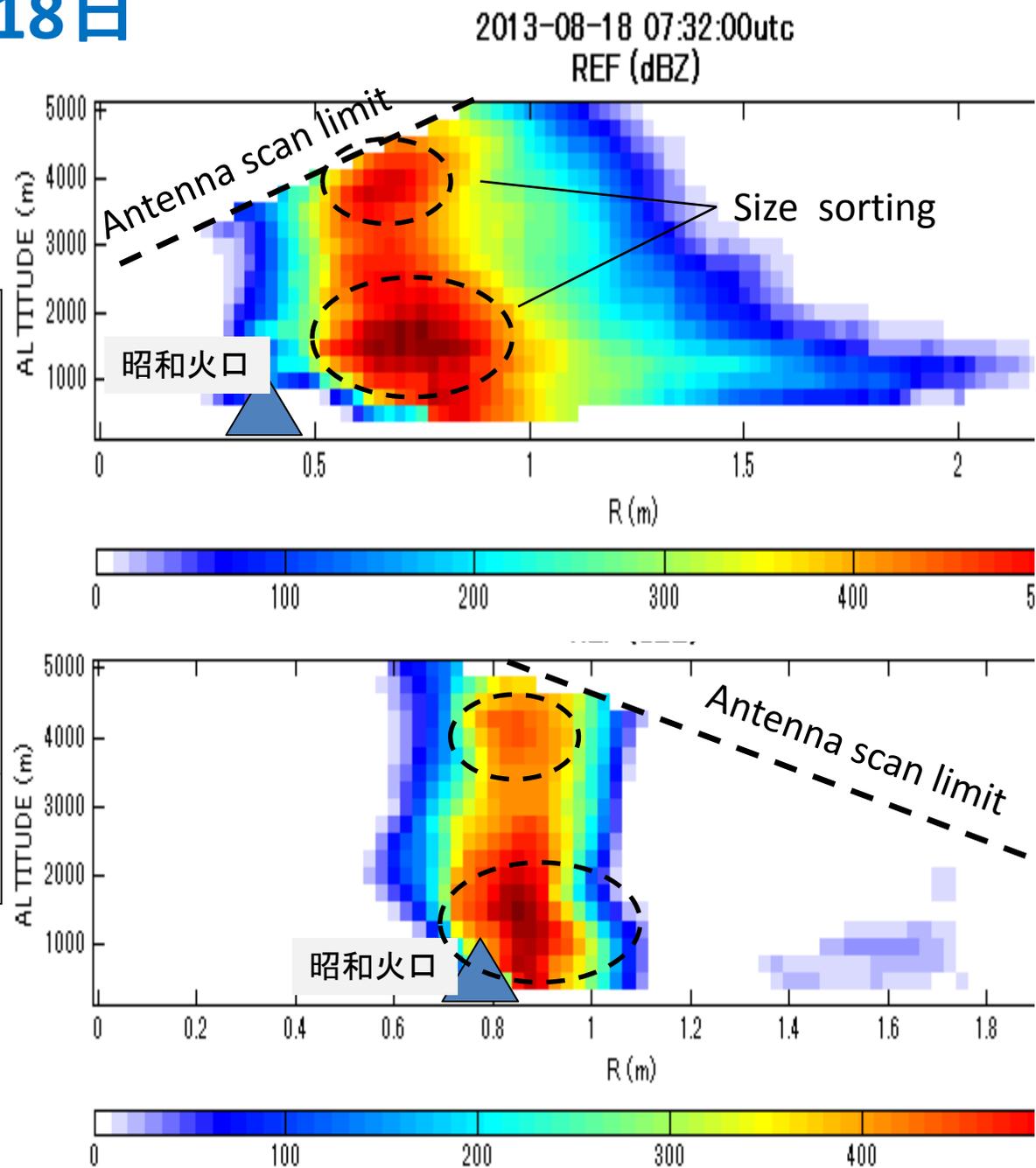
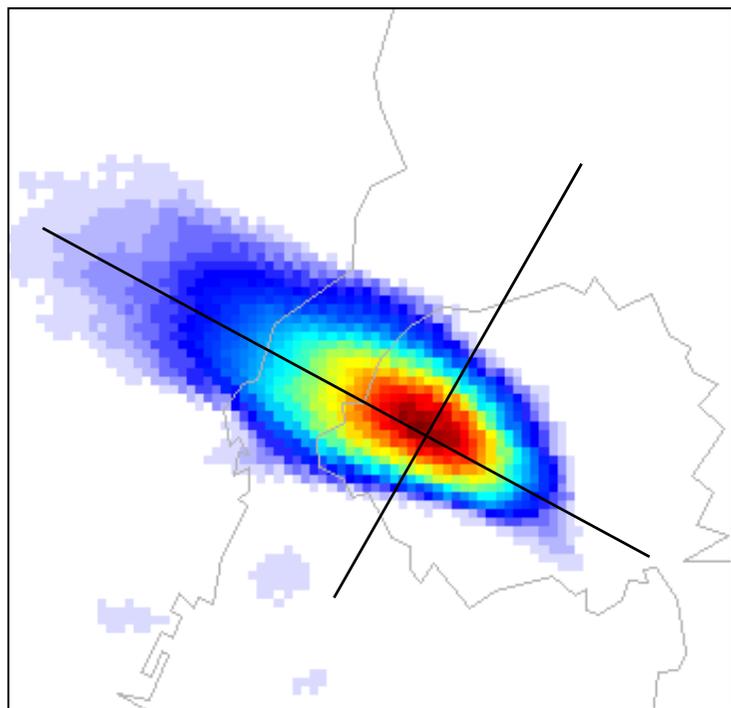
16:32-17:30



事例1 2013年8月18日

16:32-17:30

時間積算反射強度

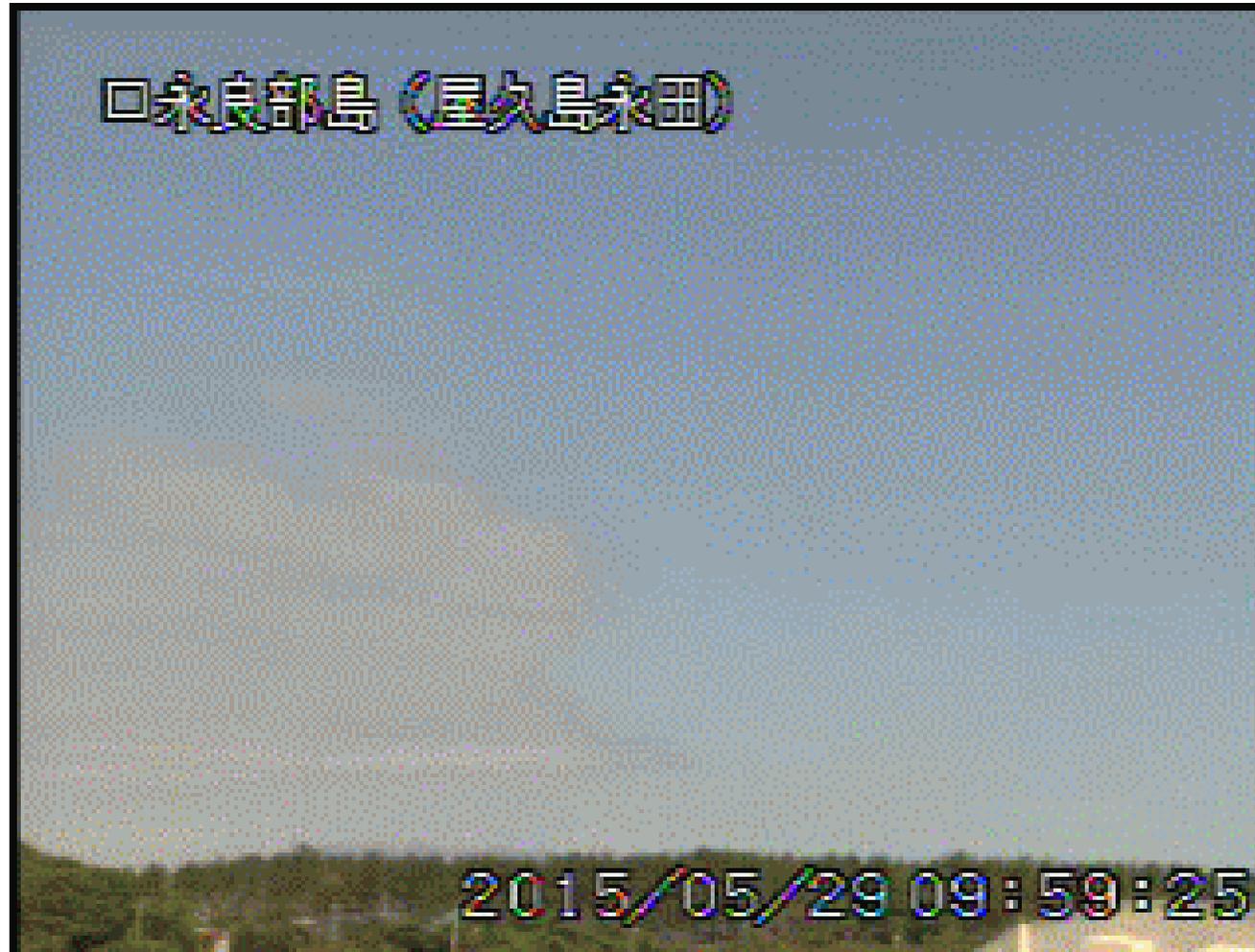


口永良部島火山噴火20150529

速報

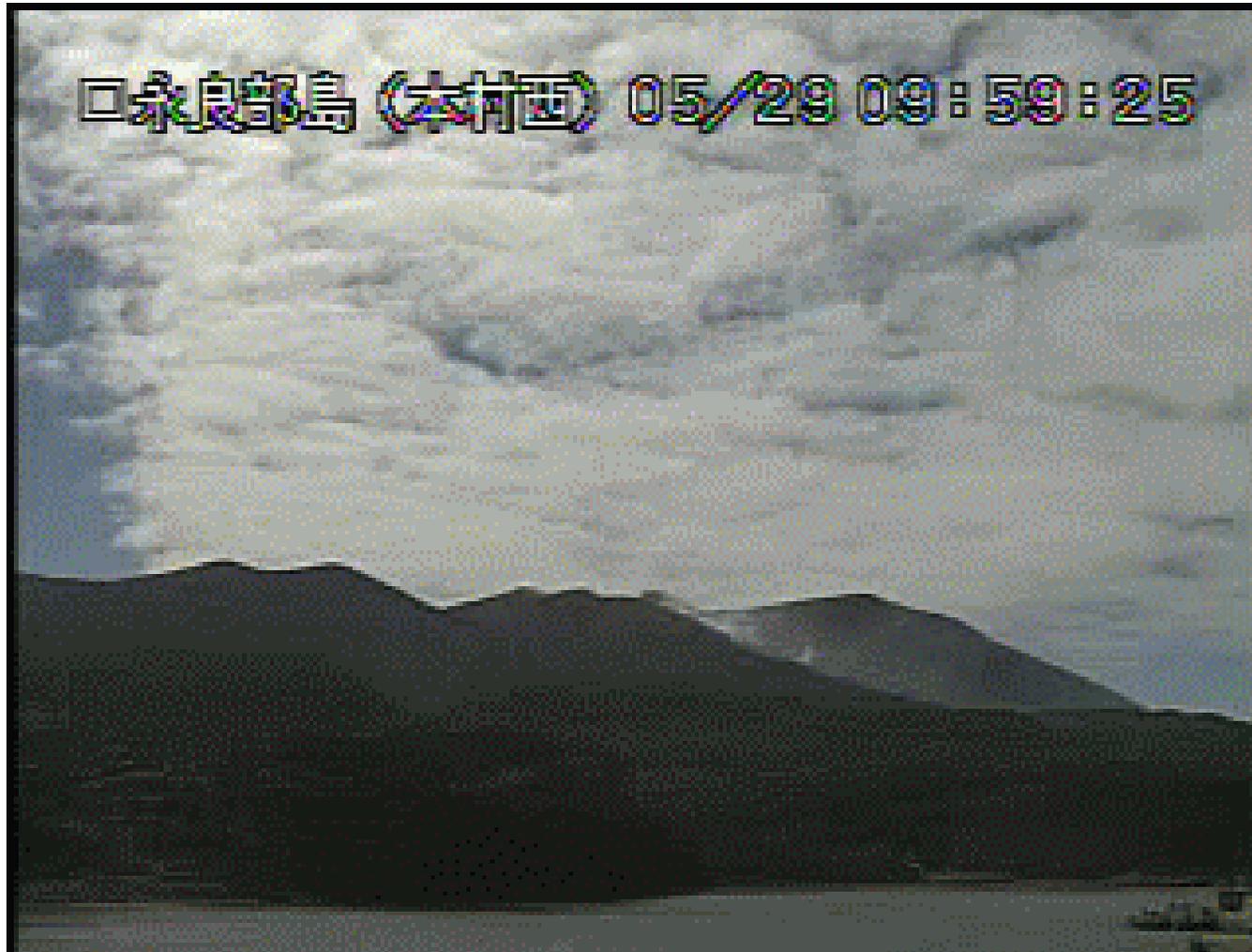
鹿児島大学地域防災教育研究センター

気象庁カメラ(屋久島永田)



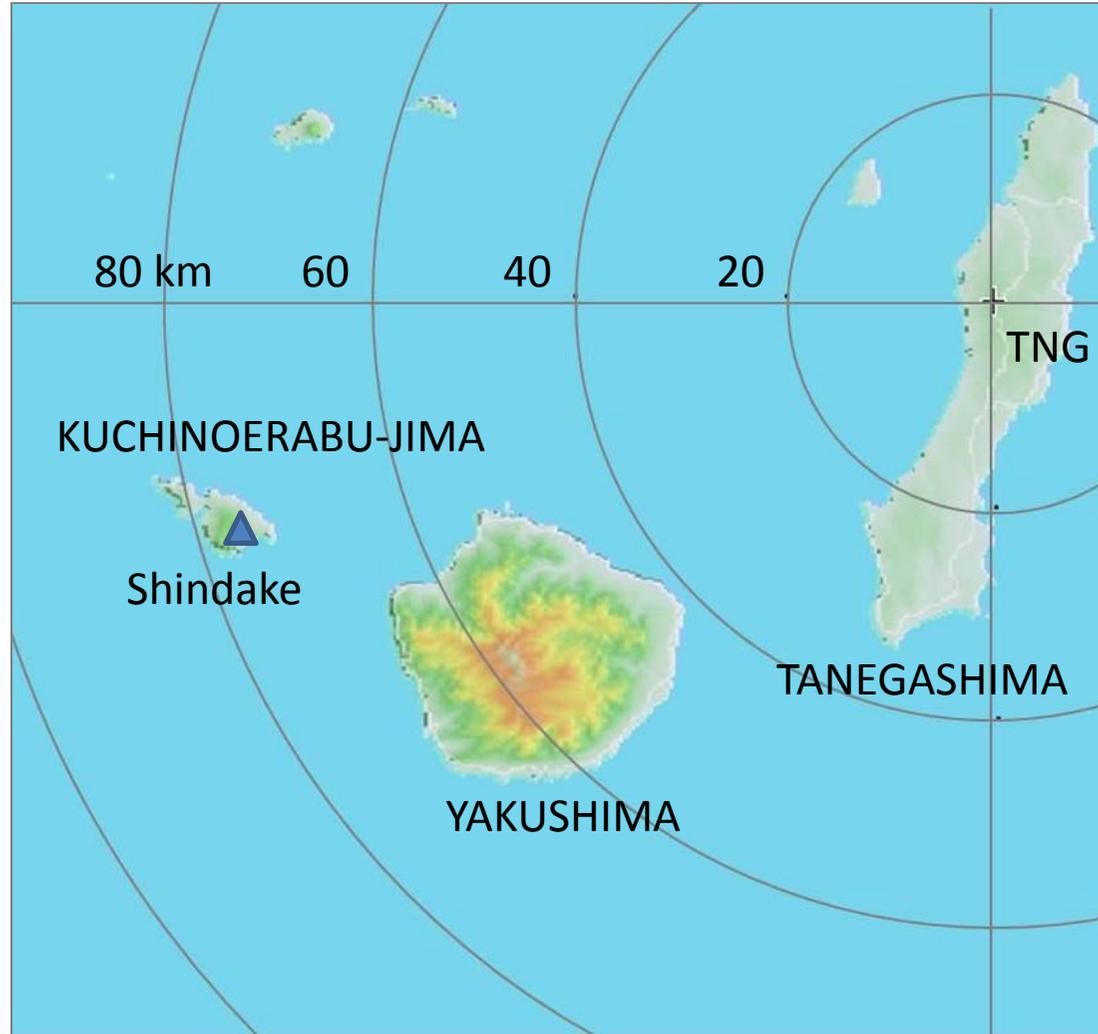
提供:気象研(鹿大-気象研 共同研究)

気象庁カメラ(本村西)

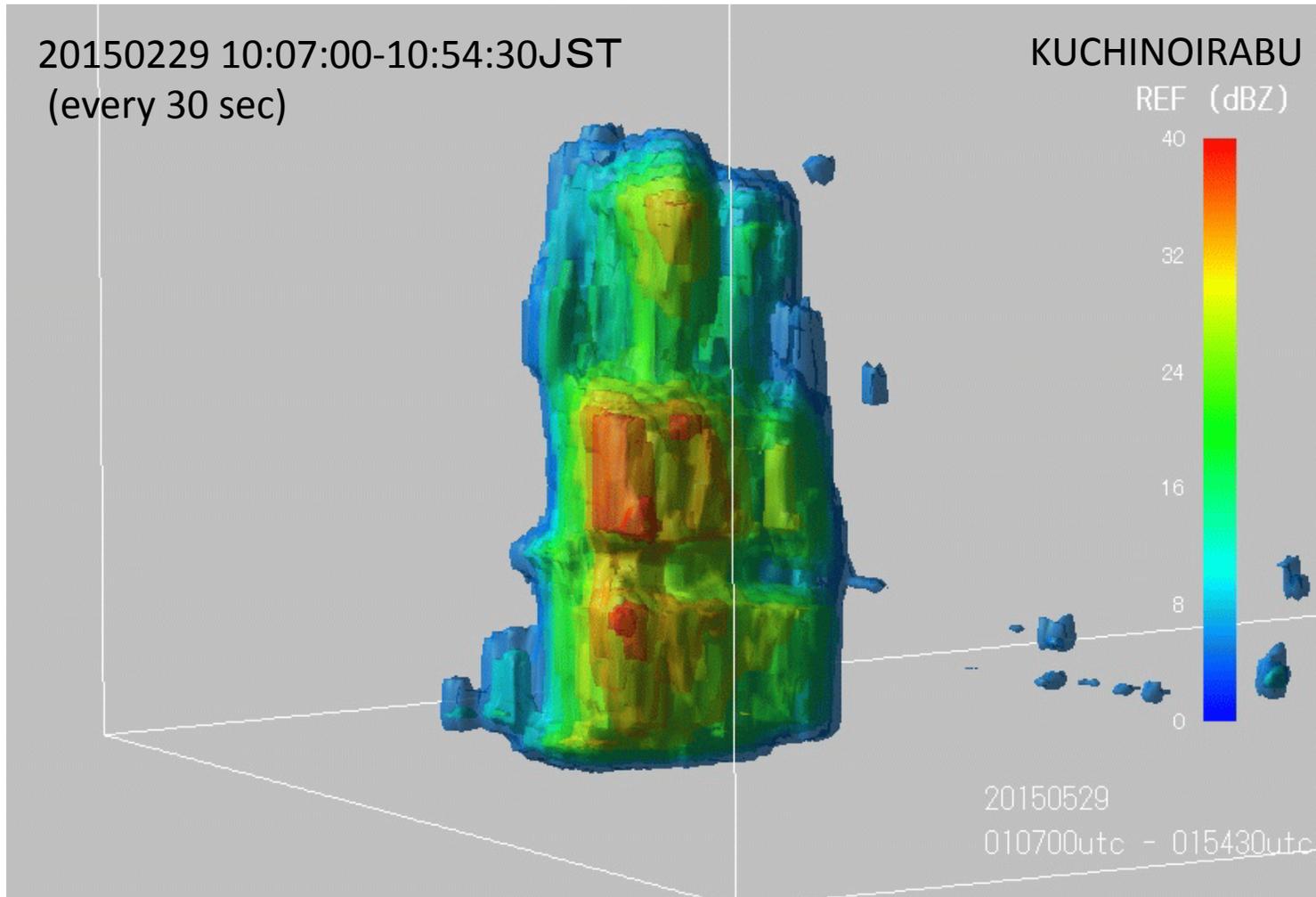


提供:気象研(鹿大-気象研 共同研究)

Radar Observation Area

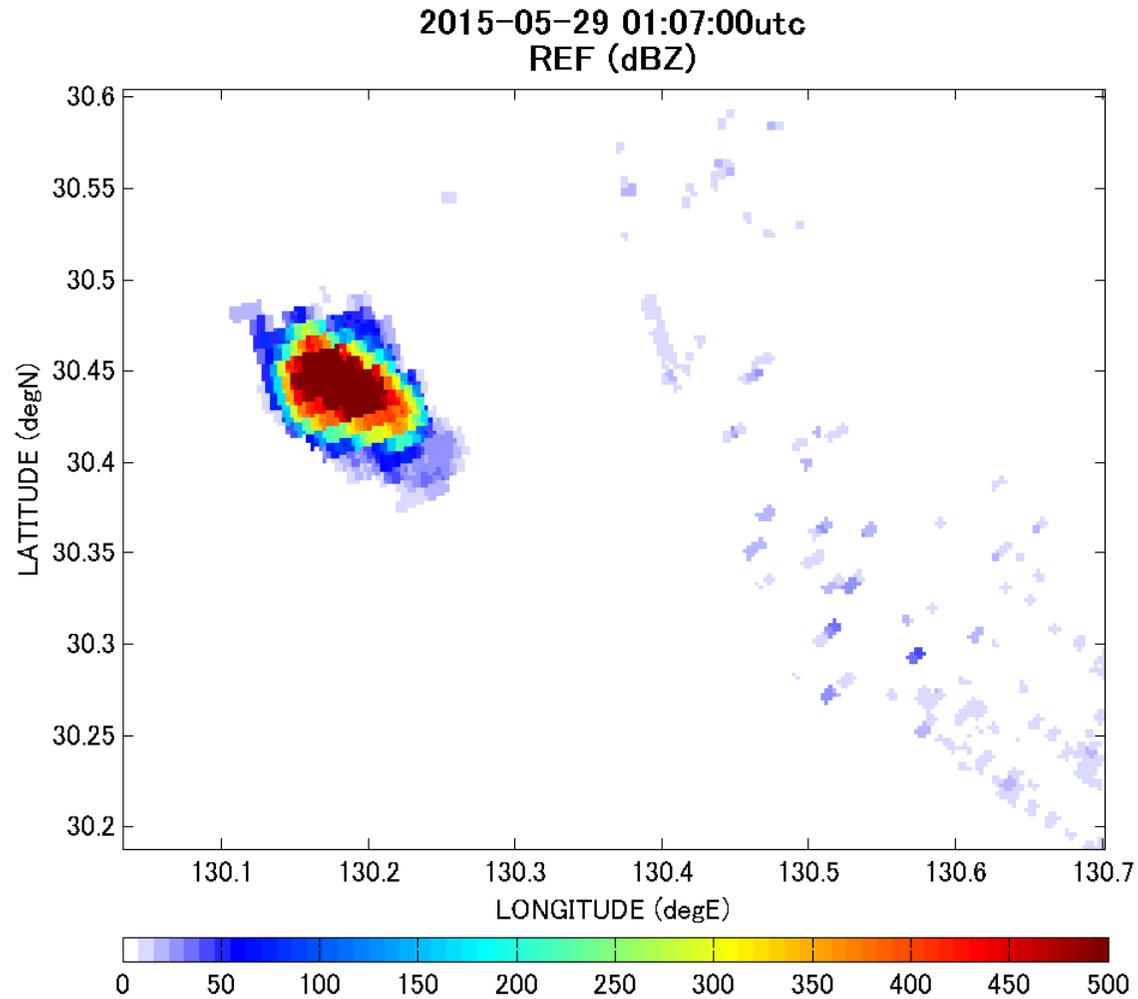


3-D View of Volcanic Ash Cloud

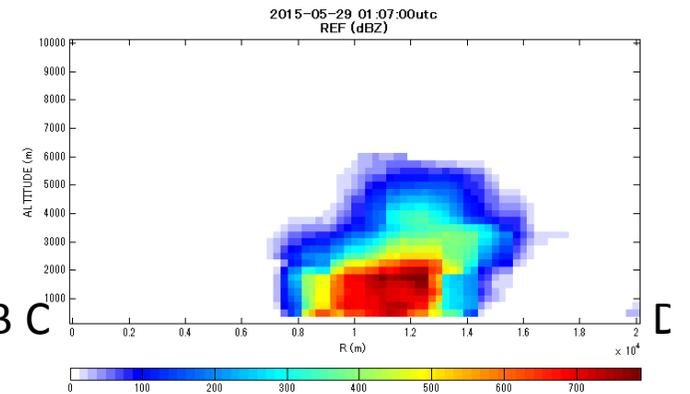
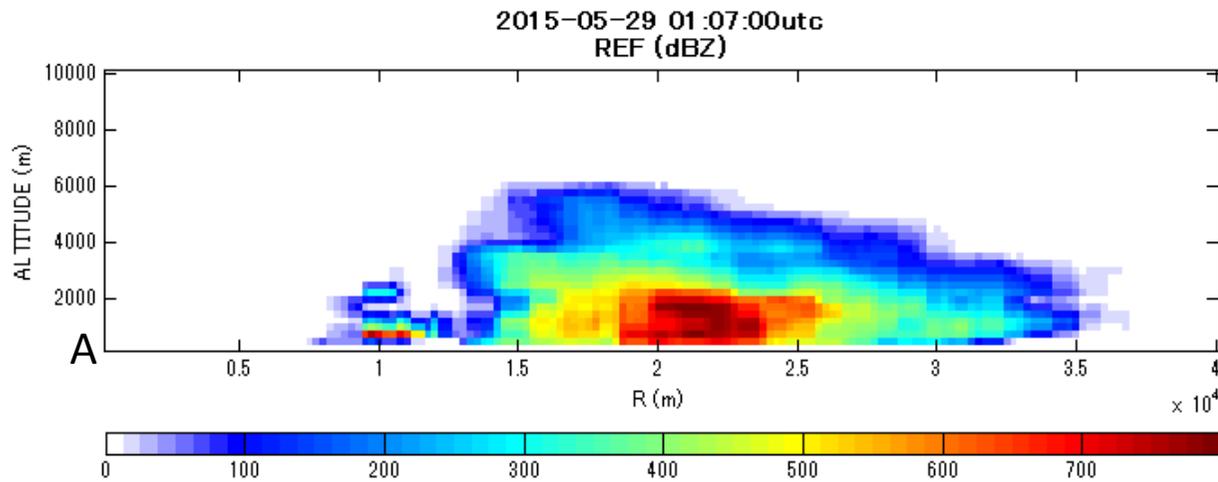
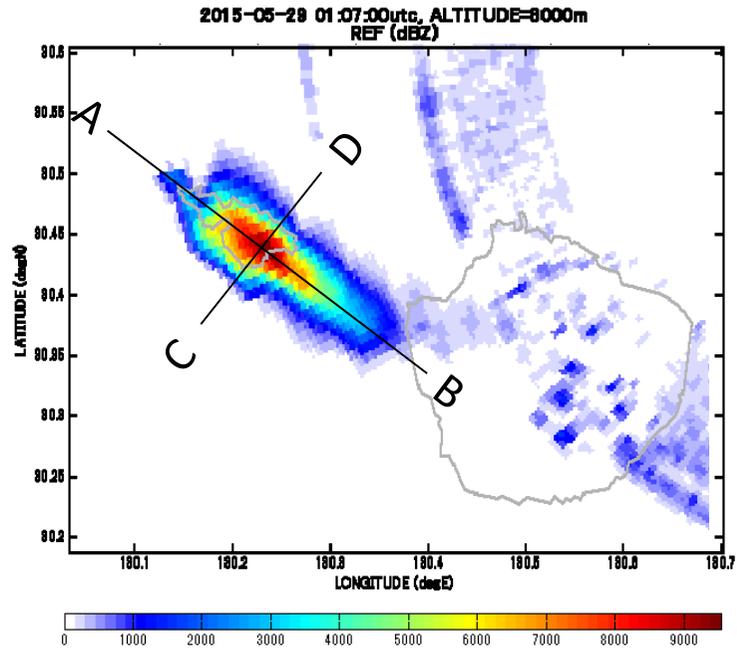


[REF 1-jmaref 20150529](#)

Vertical Integrated Reflectivity (VIR)



時間積算した反射強度



まとめと今後の課題

- 現業，研究用気象レーダで観測された火山灰雲データを三次元的に解析するツールを作成。
- いくつかの噴火事例に適用して有効性を確認
- 火山灰雲のリアルタイム監視に向けて
 - 手順の自動化→2015年度内
 - 定量的降灰量推定手法（理学的、工学的）
 - 定量的降灰量予測手法（相関法、数値モデル）
 - 噴火、火山灰雲の検出（無降水時および降水時）

解析ツールの出力例

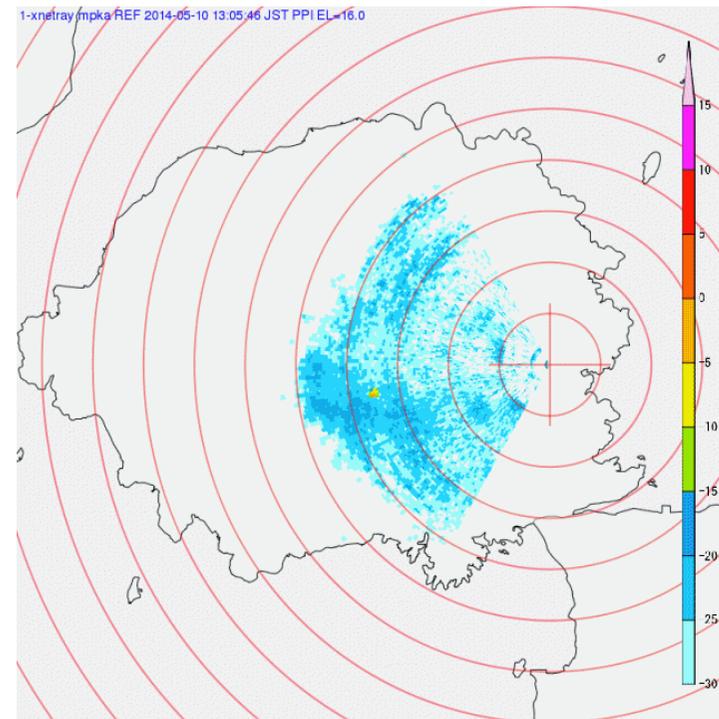
解析事例 桜島爆発的噴火
2014年5月10日

Eruption on May 10, 2014

Web Camera of Minami-Nihon Shinbun



Ka-band radar, PPI(EL=16°)



Report from JMA

Explosive Eruption at 13:07 JST, May10,2014
Ash column height 4500m from the crater
Air shocks, Volcanic rocks (the 3rd uphill)

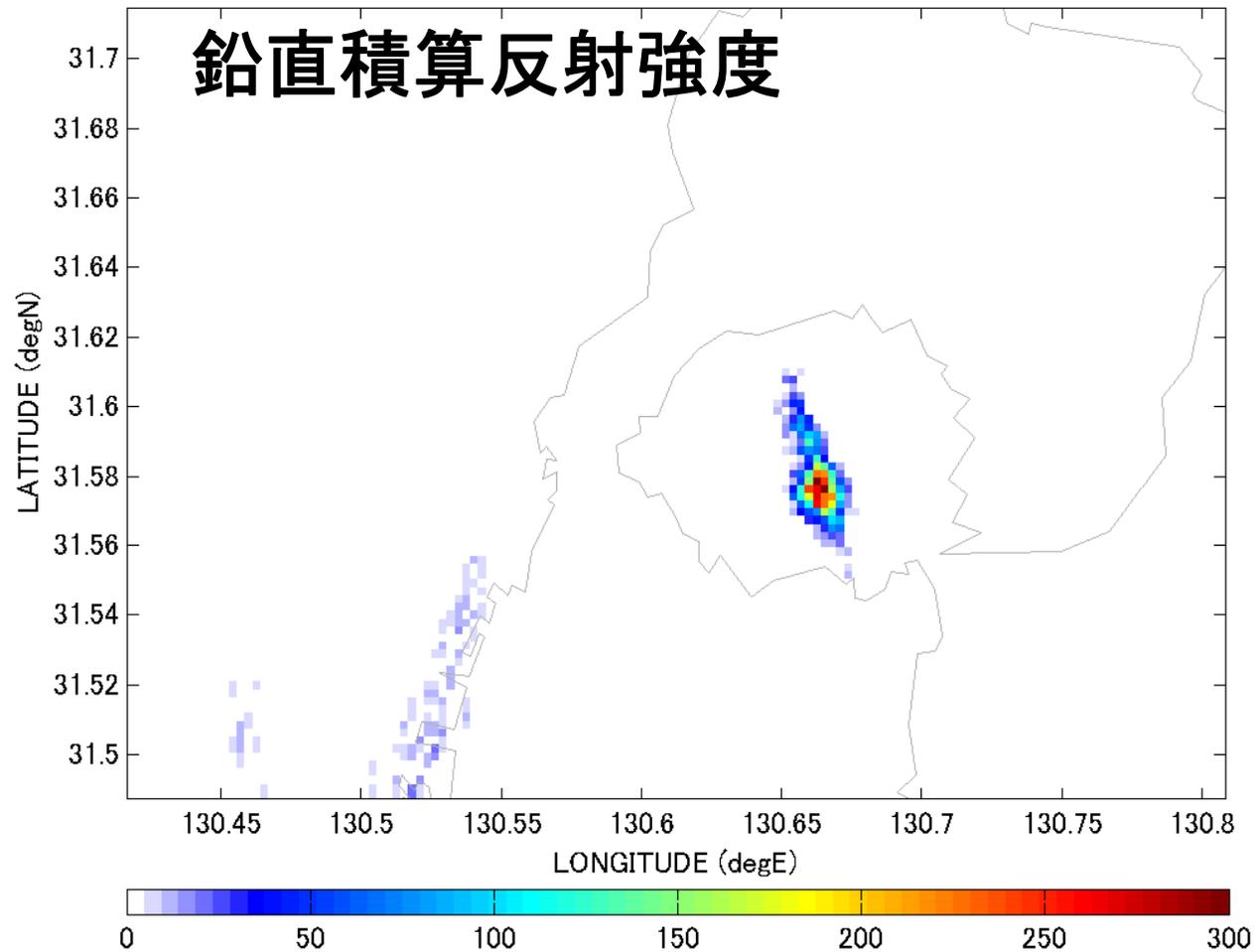
Ash column from Ka-band radar site



201405101300-1335_brrino01_ed3.avi

XバンドMPLレーダ噴煙柱の観測

2014-05-10 04:12:00utc
REF (dBZ)

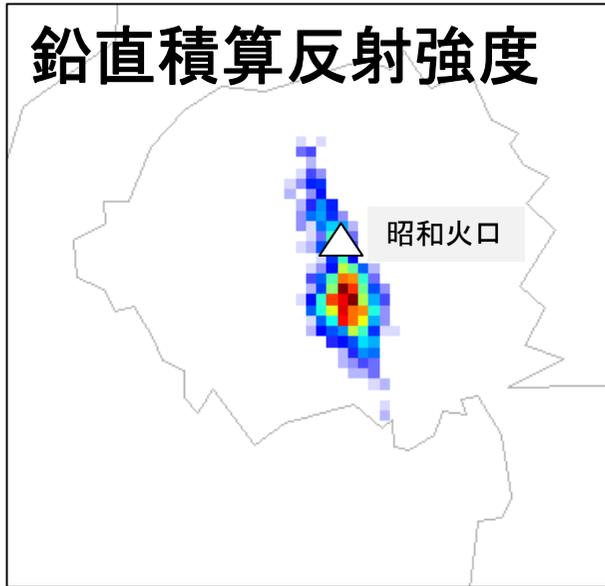


[国交省X-MPLレーダ3次元解析動画](#)

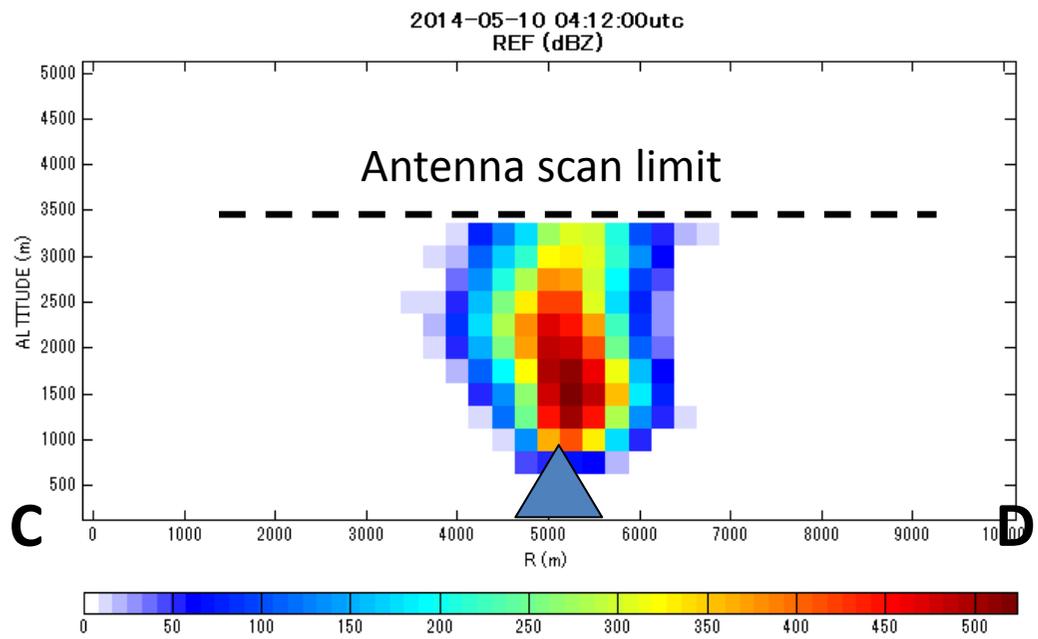
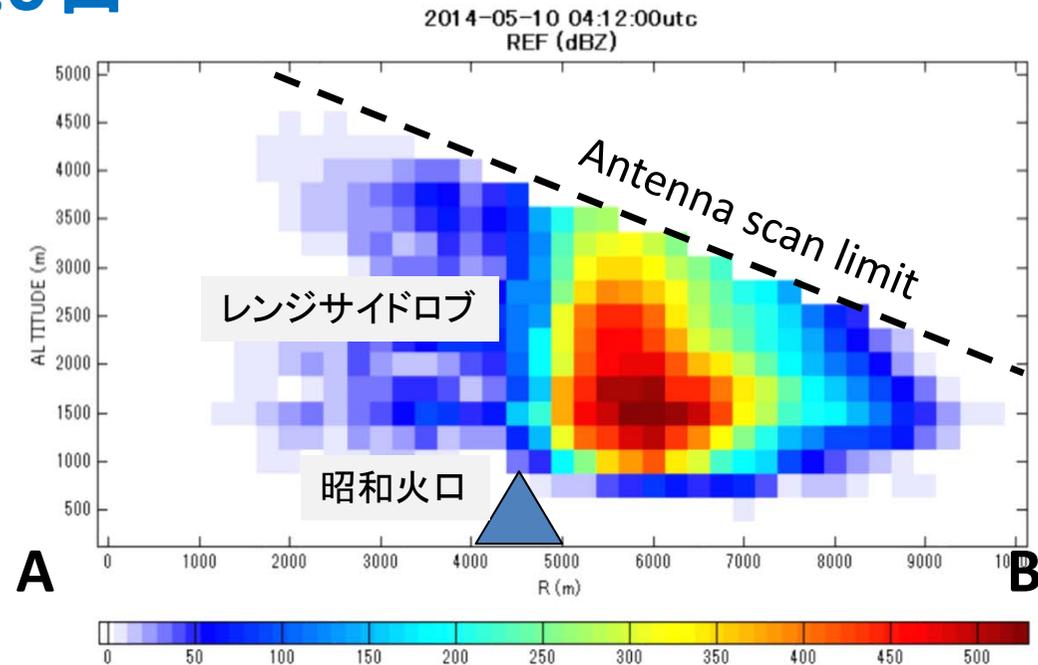
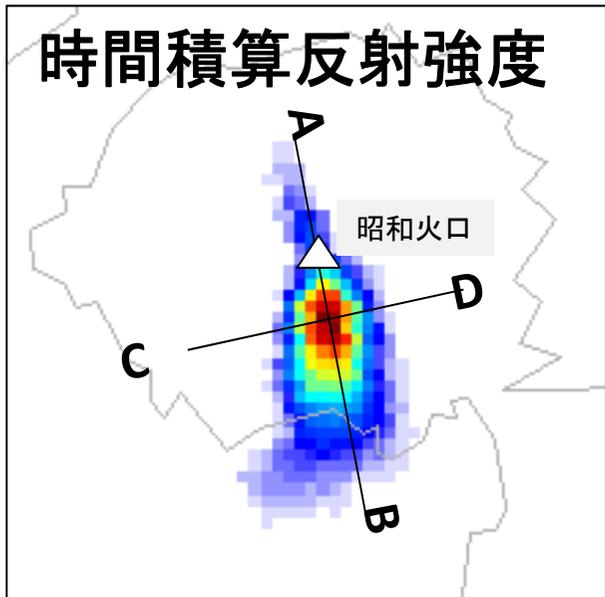
事例2 2014年5月10日

13:12-13:55

鉛直積算反射強度



時間積算反射強度



噴煙柱・火山灰雲の実態解明に向けた共同観測

