東大地震研共同利用研究集会「火山現象のダイナミクス・素過程研究」2015.12.21訂

桜島爆発噴煙の動態解析

木下紀正 鹿児島大学 教育学部 教育実践総合センター

桜島爆発噴煙の諸問題

a. 噴煙放出の諸形態 - 中間まとめ

- 色： 灰煙、白煙、灰白煙
- 基本的形態：爆発噴煙、定常噴煙、 断続噴煙
- 爆発後は数時間の灰煙続く(定常的、脈動的あり)
- 爆発噴煙の脈動・多重爆発・断続
- 単発のパフは非常に稀
- 穏やかに始まる連続的灰煙あり
- 灰煙継続中の爆発あり

灰噴火 小野晃司・渡辺・星住・高田・池辺（1995）阿蘇火山中岳の灰噴火とその噴出物. 火山, 40, 133-151

3. 爆発噴煙映像から見る噴煙放出過程 in 木下・坂本, 桜島2013年の噴煙活動と鹿児島の大気環境, 研究集会「火山現象のダイナミクス・素過程研究」2013.12.19−20

b. 噴煙上昇の写真計測

木下・戸高, 鹿大教育学部研究紀要自然科学編,**46**, 15, 1994 ->木下, 爆発噴煙の映像観測とアーカイブ, 火山シミュレーション研究集会, 07.11.29

c. レーダーデータとカメラ映像との比較

鹿大・熊大 噴煙研究グループ, 光学・レーダー観測と衛星画像による火山爆発噴煙の解析, 17CEReS環境リモセンシンポ, 2015.2

定常噴煙の拡散形態

木下紀正・吉田潔、桜島噴煙流の写真解析、鹿大教育学部研究紀要自然科学編，42，1，1990
木下, 火山噴煙の映像観測と解析, 1998.2 Report

煙流軸が水平な直線 x軸とし、y，z軸を図3の様に取り、煙流の輪郭を断面が

$$R_y(x) = ax^p + c, \quad R_z(x) = bx^q + c, \qquad (1)$$

の長径，短径の長円となる錐形で表す

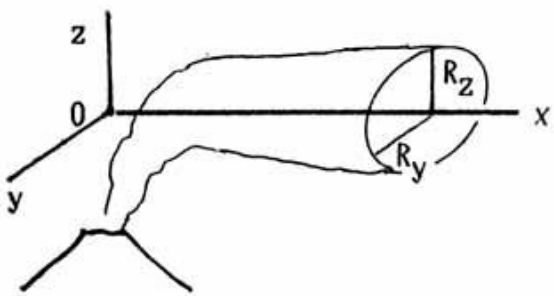


図３．煙流輪郭図の座標設定.

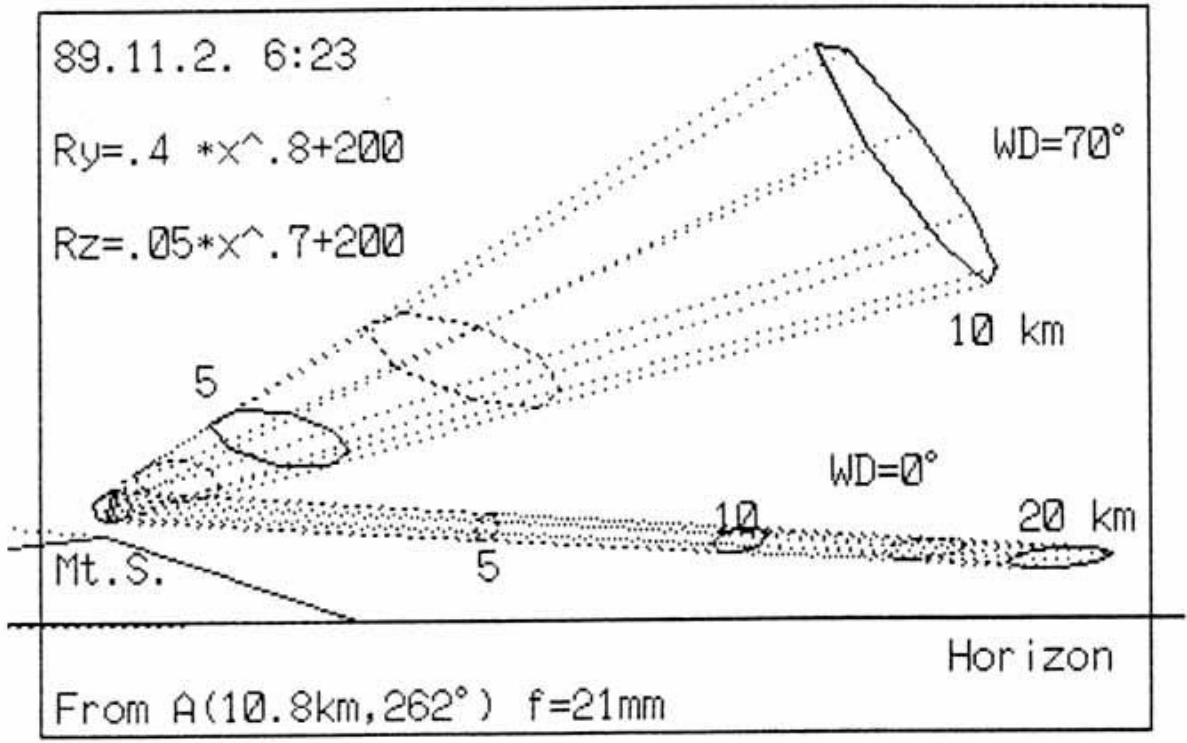


図４．２つの風向 WD に対する煙流輪郭図の比較.
拡散パラメーターは図７と同じ。

噴煙流の透視図

３次元の座標変換の組み合わせとフィルム面への２次元射影変換により求め、写真･ビデオデータと比較

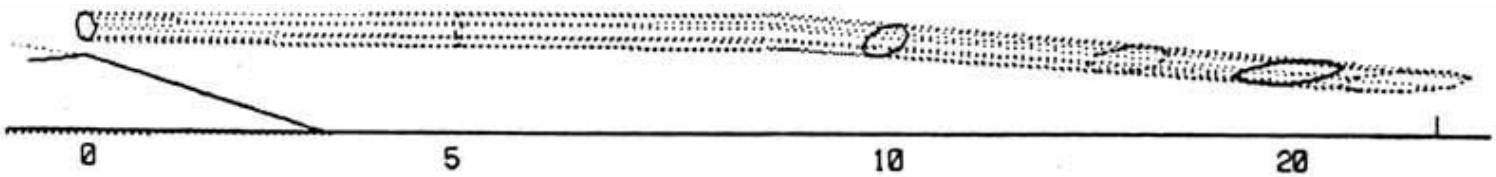
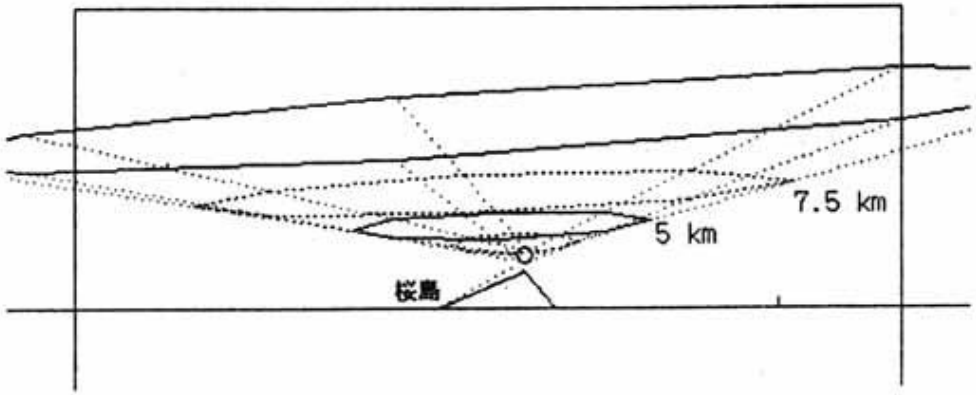


図７．　細い煙流の例．Ａ点より 89.11.2，6:23 の写真（f=21mm）２枚を張り合わせて上下はカットしたものに対応する煙流輪郭図．式(1)で初期拡散項ｃ＝200，水平拡散係数（ａ，ｐ）＝（0.4，0.8），鉛直拡散係数（ｂ，ｑ）＝（0.05，0.7）としたもの．煙流の５ km おきの断面を内接する８角形で表し、それを点線でつなぐ．横の直線は水平線．この２時間後にNOAA-10 の衛星画像が得られ、細い煙流が薩摩半島を越え東シナ海に達していることが判った（VI．３参照）。

図８．大角度拡散の例．89.11.21，10:53，重富より f=21mm の写真に対応．煙流断面は 2.5 km おき．拡散パラメータは　ｃ＝200，（ａ，ｐ）＝（1.0，0.9），（ｂ，ｑ）＝（0.1，0.7）．この 42 分前に LANDSAT-5（VI．２，Fig. 2）、５分後に MOS-1 の同様な衛星画像が得られている。



b. 噴煙上昇の写真計測

焦点距離とカメラの向きによる上すぼまり・倒れこみ効果を評価

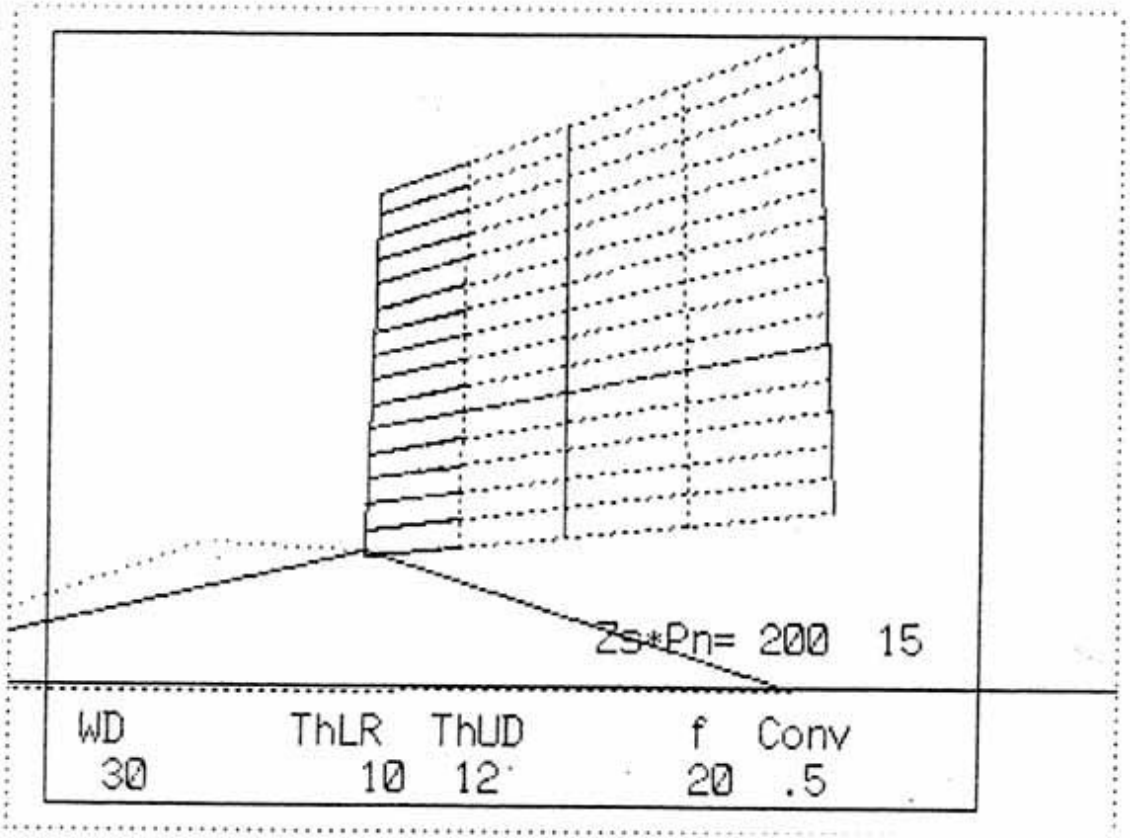


図２．桜島南岳から風下に向かう鉛直面のメッシュ図形の例．格子間隔は鉛直方向 200 m，水平方向 1 km
パラメータは風向 WD(°)，カメラの向き：左右 ThLR(°)，上下 ThUD(°)，有効焦点距離 f・Conv(mm)

爆発噴煙の高度評価は航空機の灰煙遭遇回避にも重要

桜島火山噴煙の多点映像観測

鹿大・熊大　噴煙研究グループ
http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/volc/sakushowa/

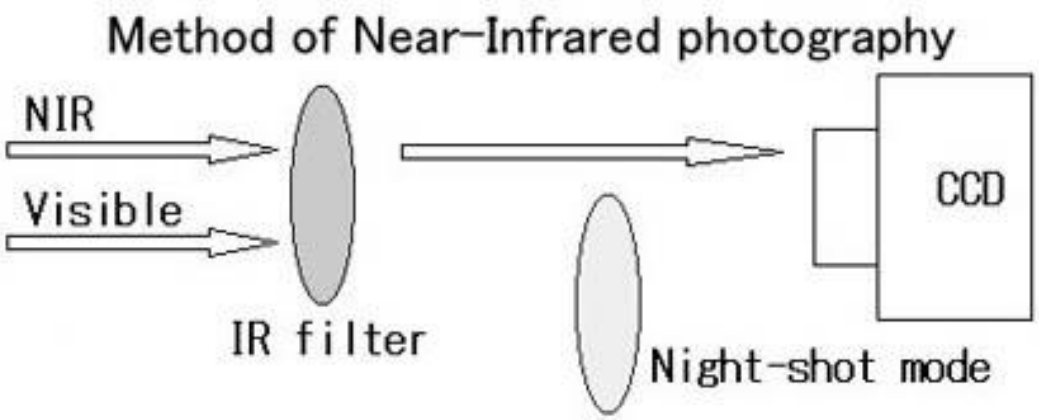
南岳から約
A：WSW11km(鹿大)
B：WSW10km(鴨池港付近）
K：SW17km(錦江台）
T：SSE10km(垂水市役所）

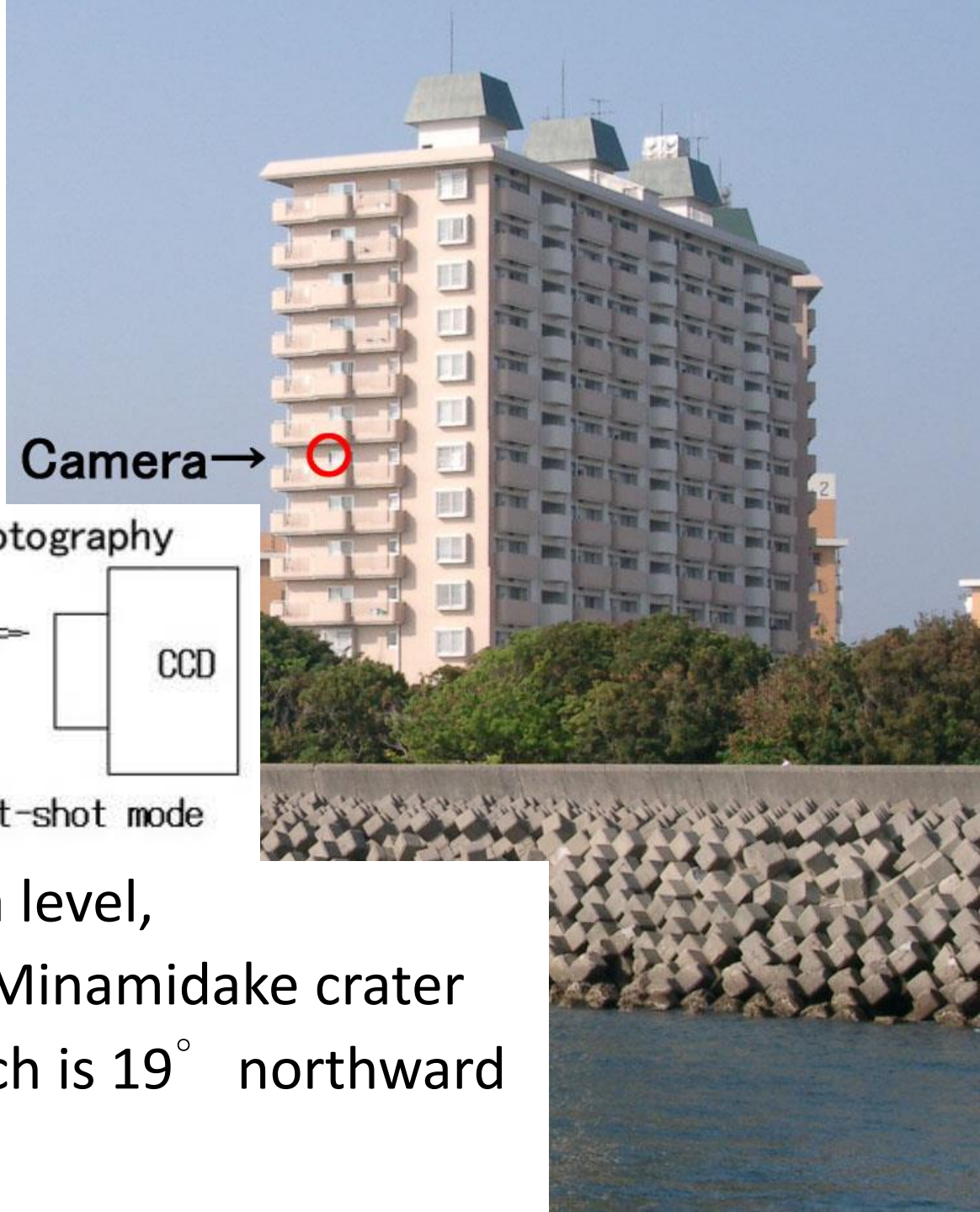
レーダ観測(真木教授他)
との比較へ

KRK 黒神4km 臨時観測2014
TRM垂水気象レーダ(国交省)

観測点 B：

鴨池港近郊の建物8階
Webカメラ(近赤外)
手動カメラ(可視，近赤外)





Height = 26 m above sea level,
Distance = 9.8 km from Minamidake crater of Mt. Sakurajima, which is 19° northward from east

Web Volc

火山と噴煙の写真やビデオ映像のページ - Volc
http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/arist/volc/
/ 21世紀の桜島火山噴煙 (英文)
/volc/sa21c/sa-menu.htm
/桜島噴煙の4点映像観測　2009-2014-

桜島噴煙 2014 A. Notable Eruptions and Flows

鹿児島大学-熊本大学 噴煙研究グループ

Jan. : 1.22(erups 10:16, 14:35) ; Feb. : 2.2(erup 15:49) , 2.20(erup 17:39) ; Mar. : 3.4(erup 10:38) , 3.23 , 3.28 ; Apr. : 4.26(small erup 8:06)

May : 5.10(Erups 13:07, 16:14, 16:31, 16:49) , 5.23(erup 11:28) , 5.31 ; June : 6.6(Erup 13:06) , 6.19(Erup 8:17) ; July : -

Aug. : 8.31(Erups 14:51, 15:07) ; Sep. : 9.7 , 9.8 , 9.27 ,9.28(Erup 15:23) ; Oct. : 10.7 , 10.10 , 10.16(erup 15:09) , 10.19 , 10.24(Erup 12:02)

Nov. : 11.4(erup 15:58) , 11.5(small erups 9:45, 17:04) , 11.6 , 11.7(Erups 8:01,13:54, 14:43) , 11.29(erup 16:11)

Dec. : 12.15(small erup 8:42) , 12.26(stationary)

***** Observation sites and links *******

A: 桜島の今 鹿児島大学教育学部 / 比較的最近の桜島画像一覧 (2014-)

B: Panoramic view , 21世紀の桜島火山噴煙 (-2013), BN: NIR web-camera, b: Manual Sony DSC-HX50V by Y.K.

K: 錦江台から見た桜島 2005.08.27 - 2015.01.10 (熊本大学)

T: 垂水市役所から見た桜島 2007.12.04 - 2014.11.24 (熊本大学)

K, T: Movies of the eruptions 5.10_13:07, 16:32, 6.6_13:11 in Notable Eruptions (熊本大学)

Z: 全天画像カメラ at A : Splended scenes in 3.4, 4.26, 5.31, 11.4, 11.5 ,

レーダ観測: 火山噴火 in 鹿児島大学地域防災教育研究センター「極端現象の監視と予測に関する研究」

****

c. レーダーデータとカメラ映像との比較

垂水レーダ画像

Xバンド(3 cm) 仰角６度　走査２分毎

2013年 噴煙高度が3000m以上 計31事例

（-夜3例　=　昼28例)

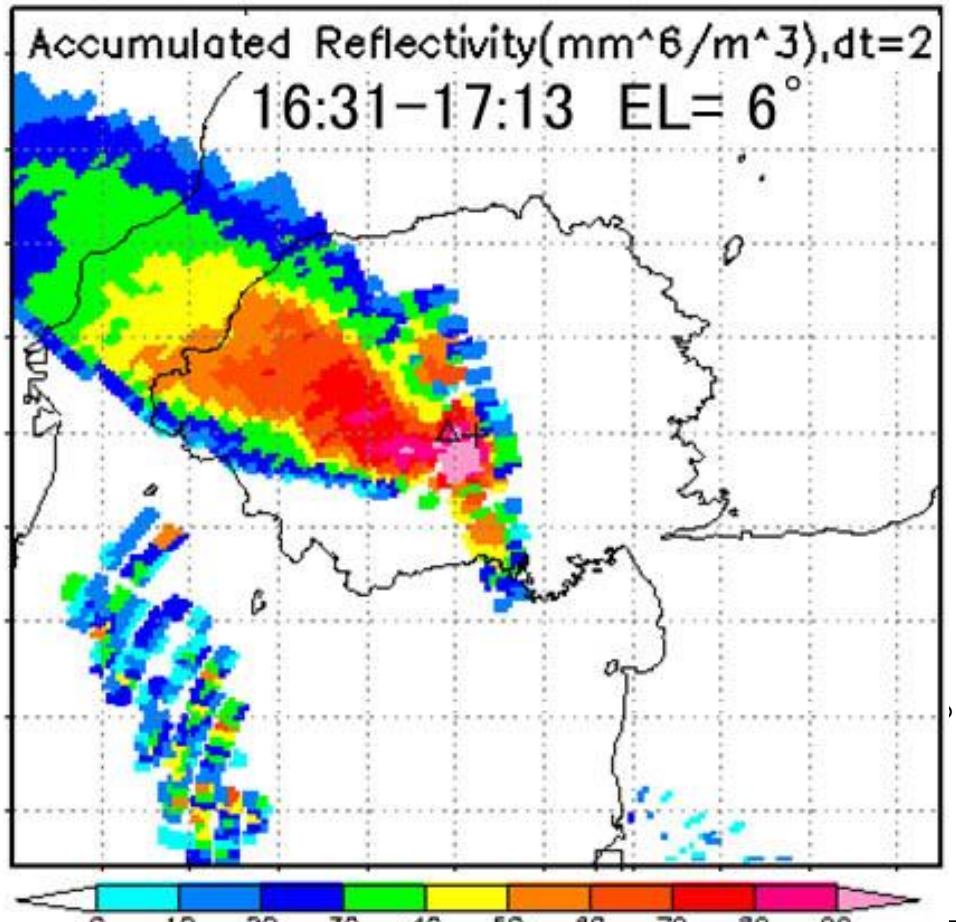
[Cf. 顕著な噴火動画 昼25例: 熊本大Web]

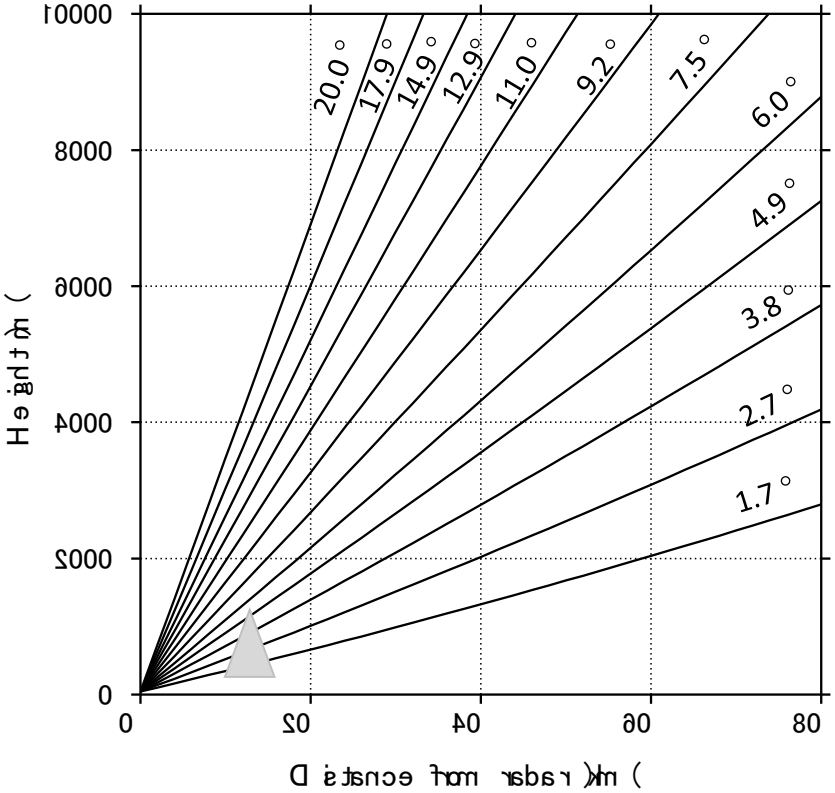
南日本新聞のwebカメラ、レーダ反射強度、
反射因子差、ドップラー速度、相関係数の動画、
レーダ反射因子の積算値分布

１枚のPPTファイル

真木雅之、気象レーダで検出可能な噴煙の最小反射強度について
地震研共同利用研究集会「火山現象のダイナミクス・素過程研究」2013.12.19

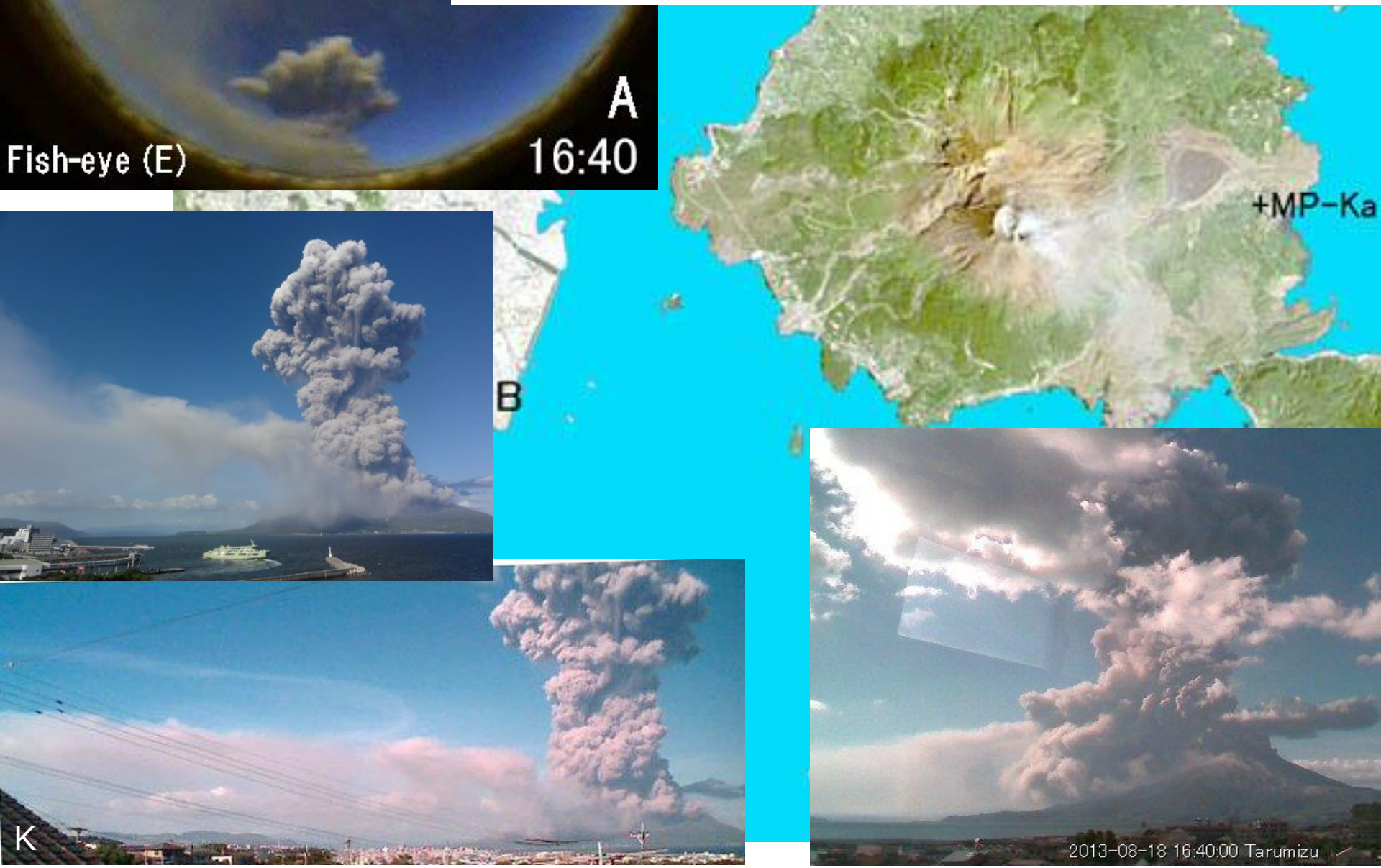
爆発 2013.8.18_ 16:31 >5000m





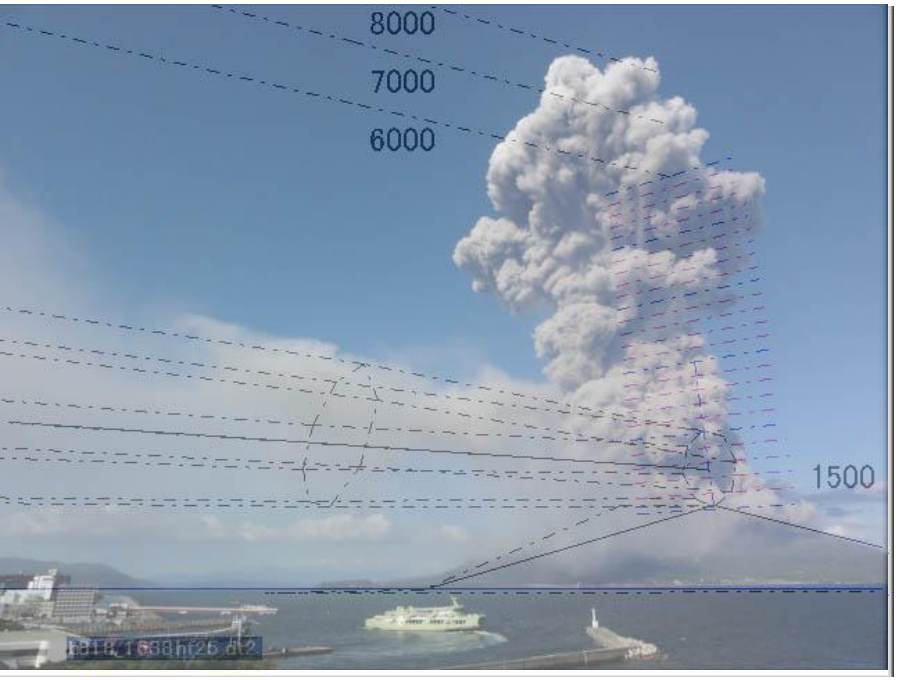
No	deg	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20	t21	t22	t23	t24	t25	t26	t27	t28	t29	t30
el12	20.0												■															■			
el11	17.9									■															■						
el10	14.9																		■												■
el09	12.9						■																	■							
el08	11.0											■															■				
El07	9.2								■													■									
El06	7.5			■												■															
el02	6.0				■						■						■						■						■		
el05	4.9					■															■										
el04	3.8		■															■													
El03	2.7														■															■	
el01	1.7	■						■						■						■						■					

爆発噴煙2013.8.18_ 16:31 ＞5000m

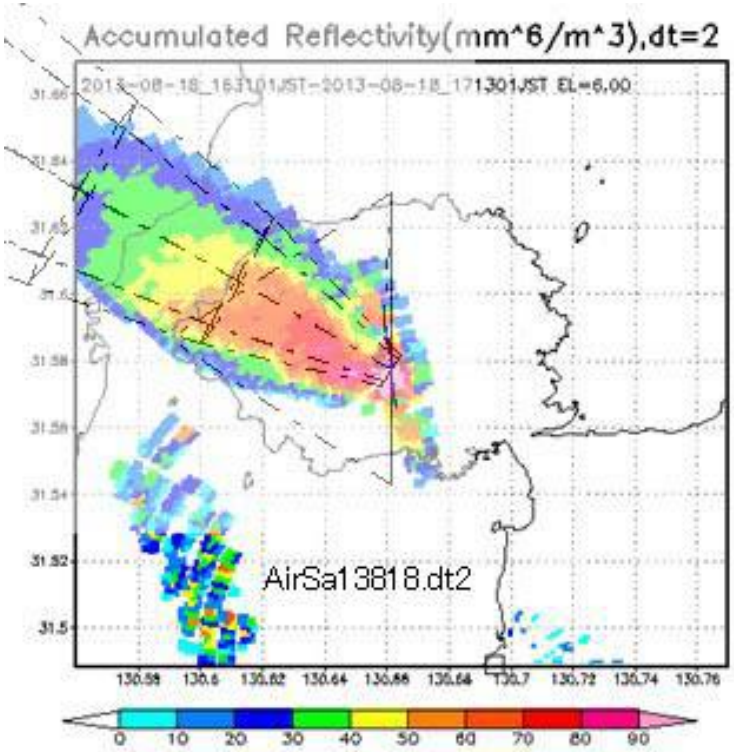


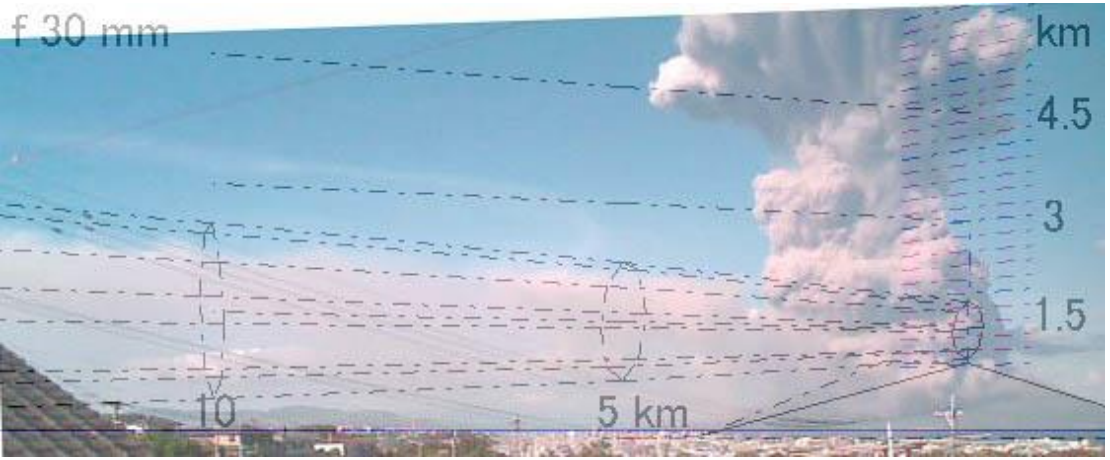
Views around 16:40 at different sites

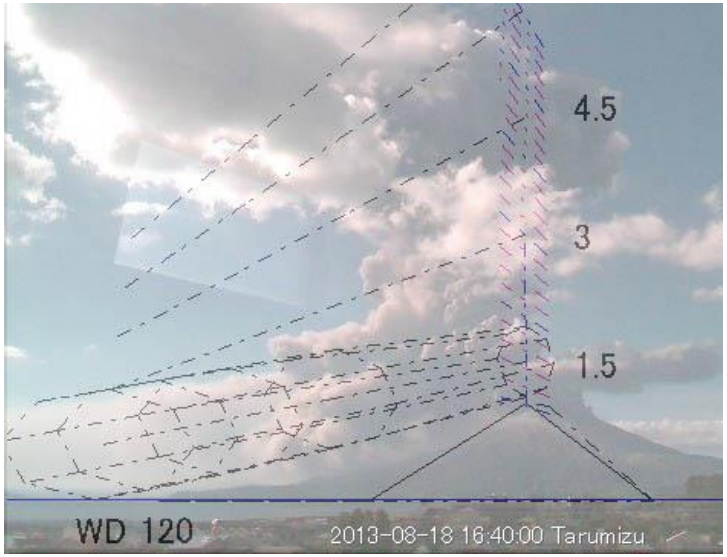
煙流の輪郭2013.8.18_ 16:38-40



B
16:38



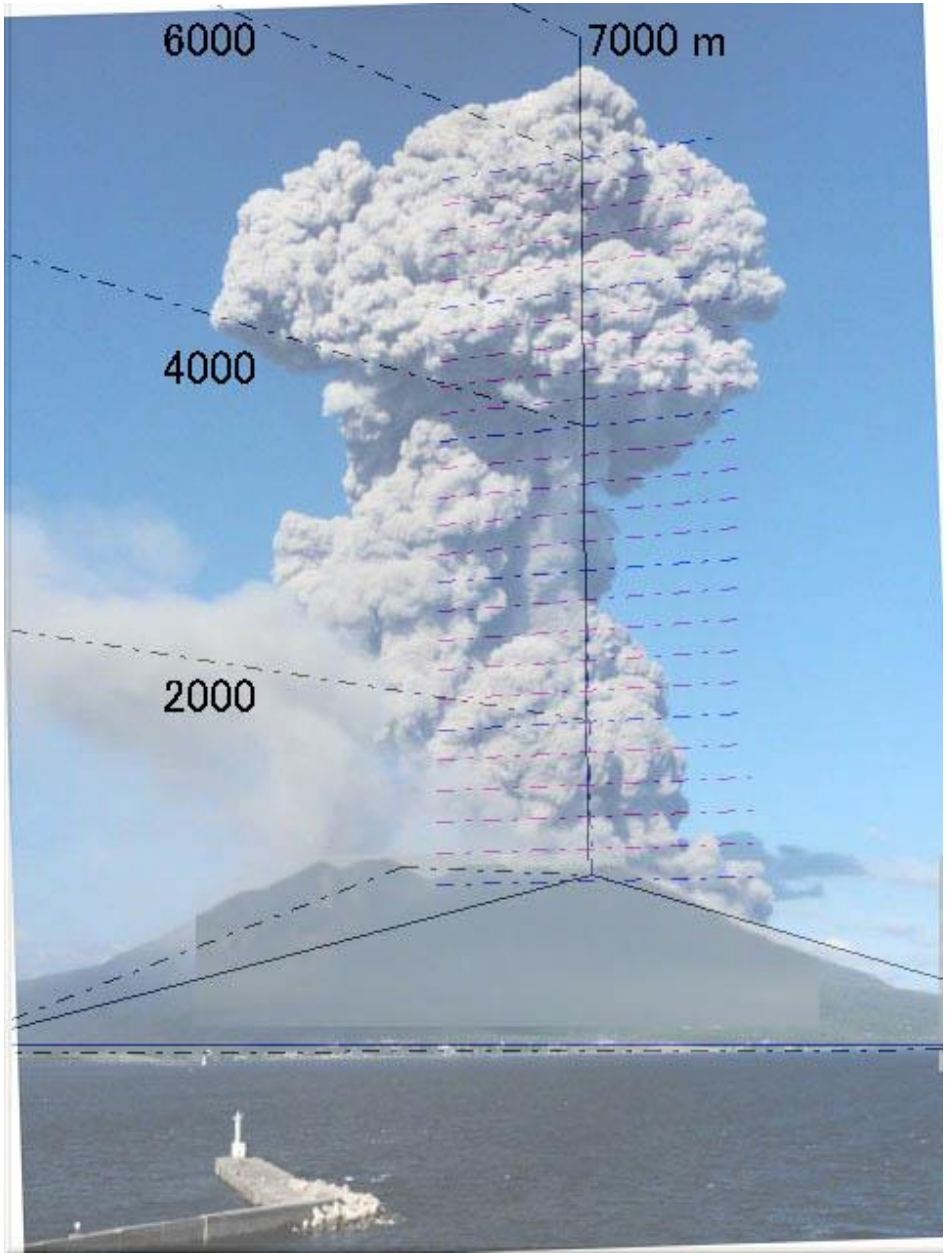




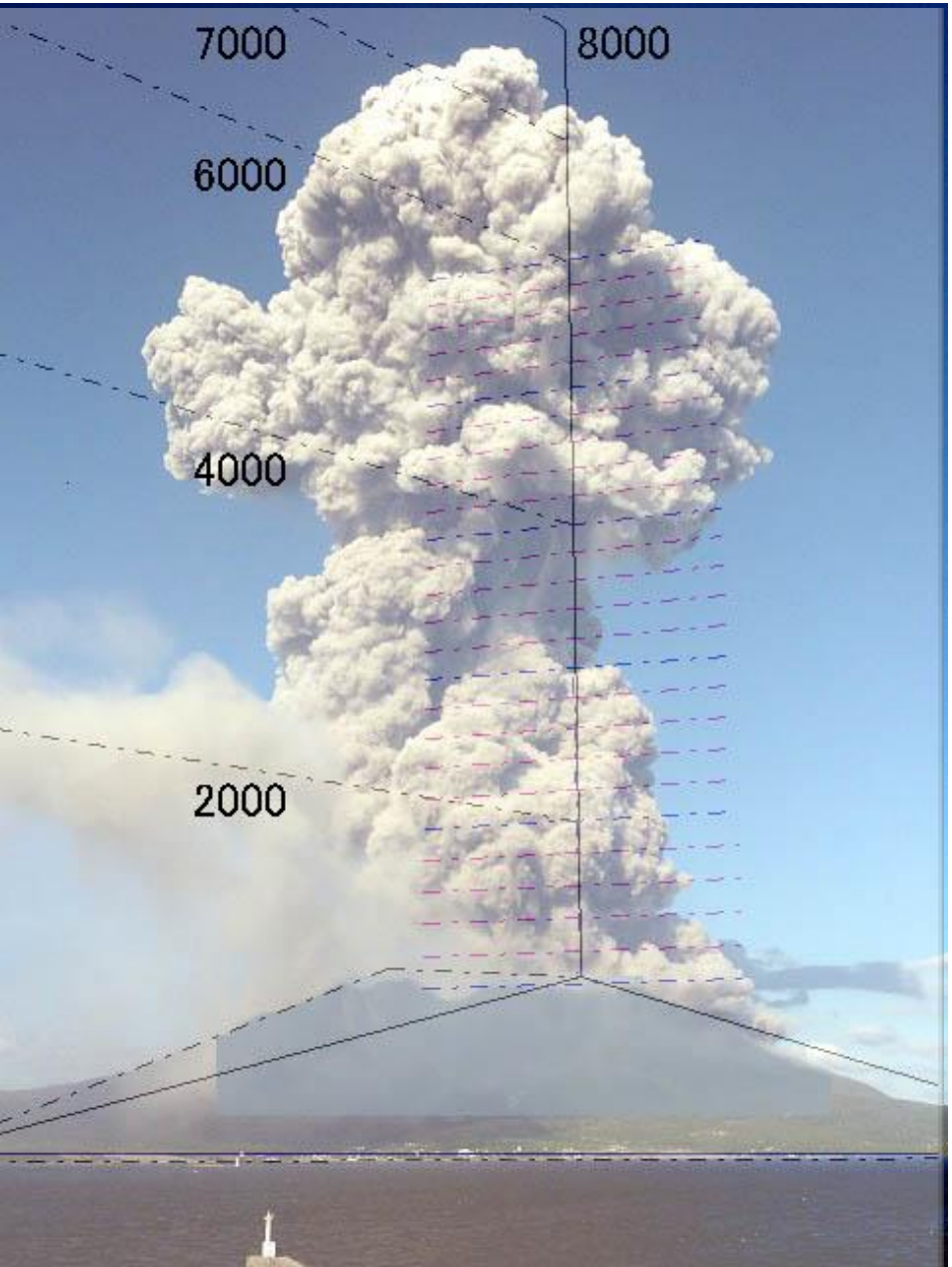
K(SW17km) 16:40

T(SSE10km) 16:40

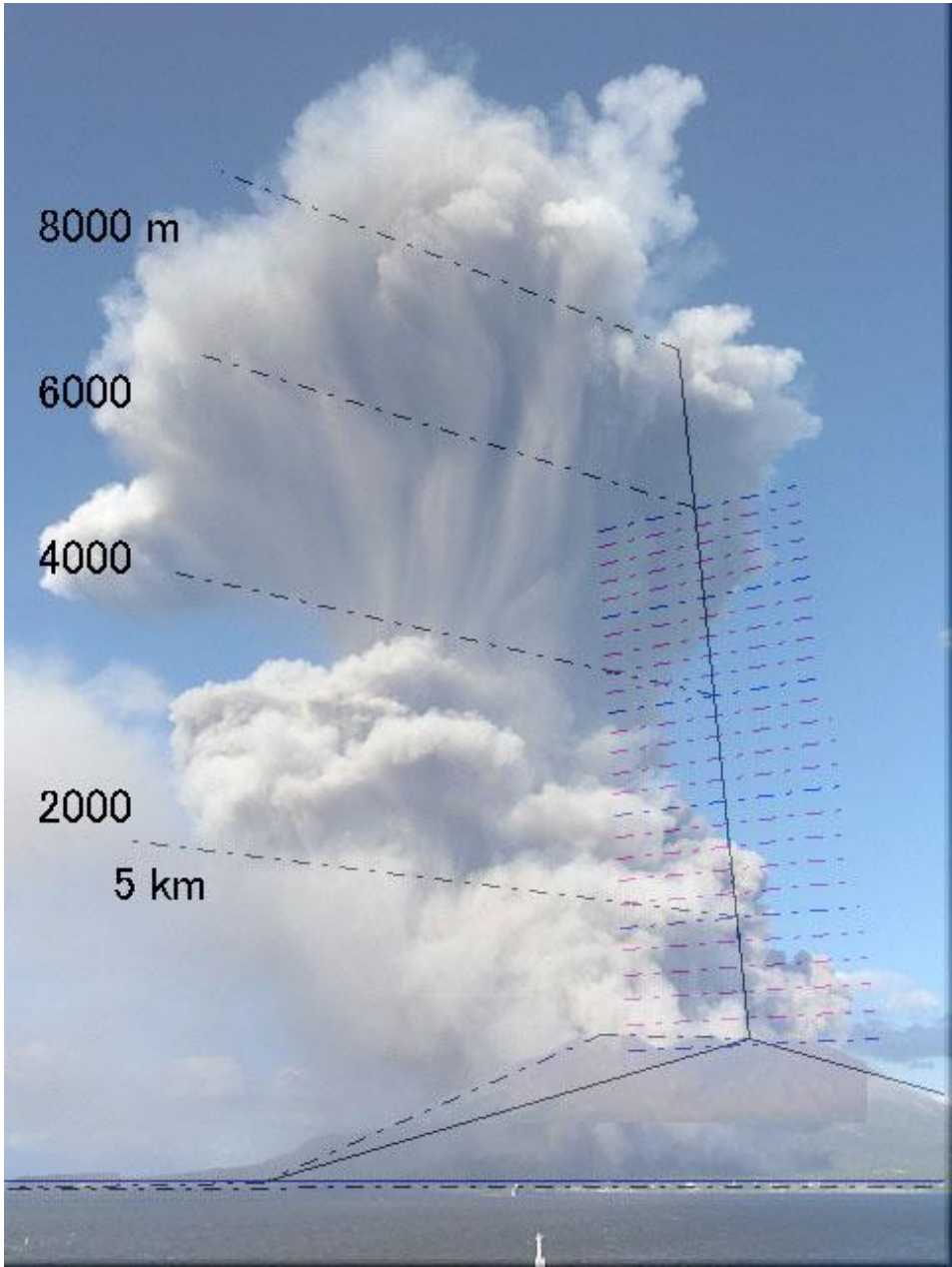
Height of eruption column 16:35



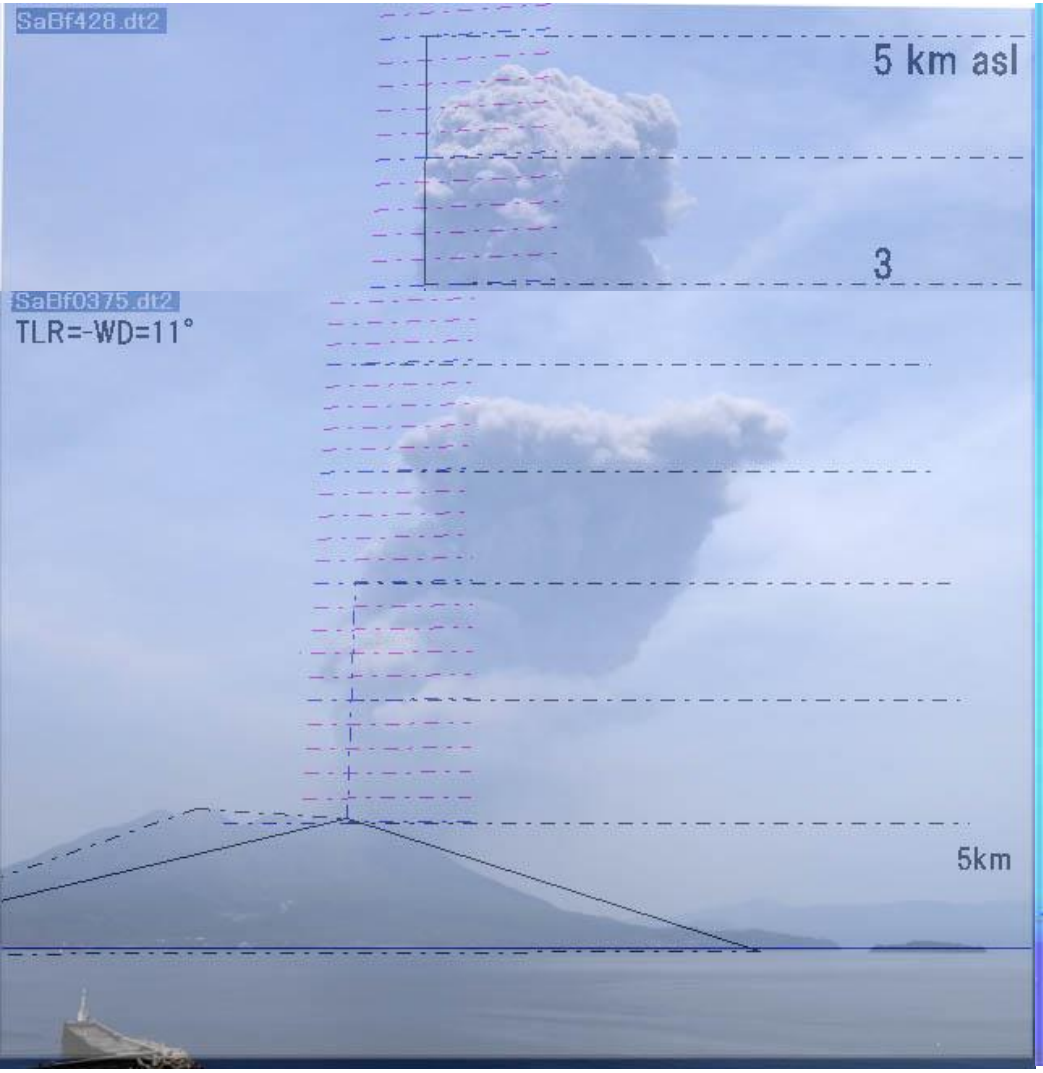
16:36

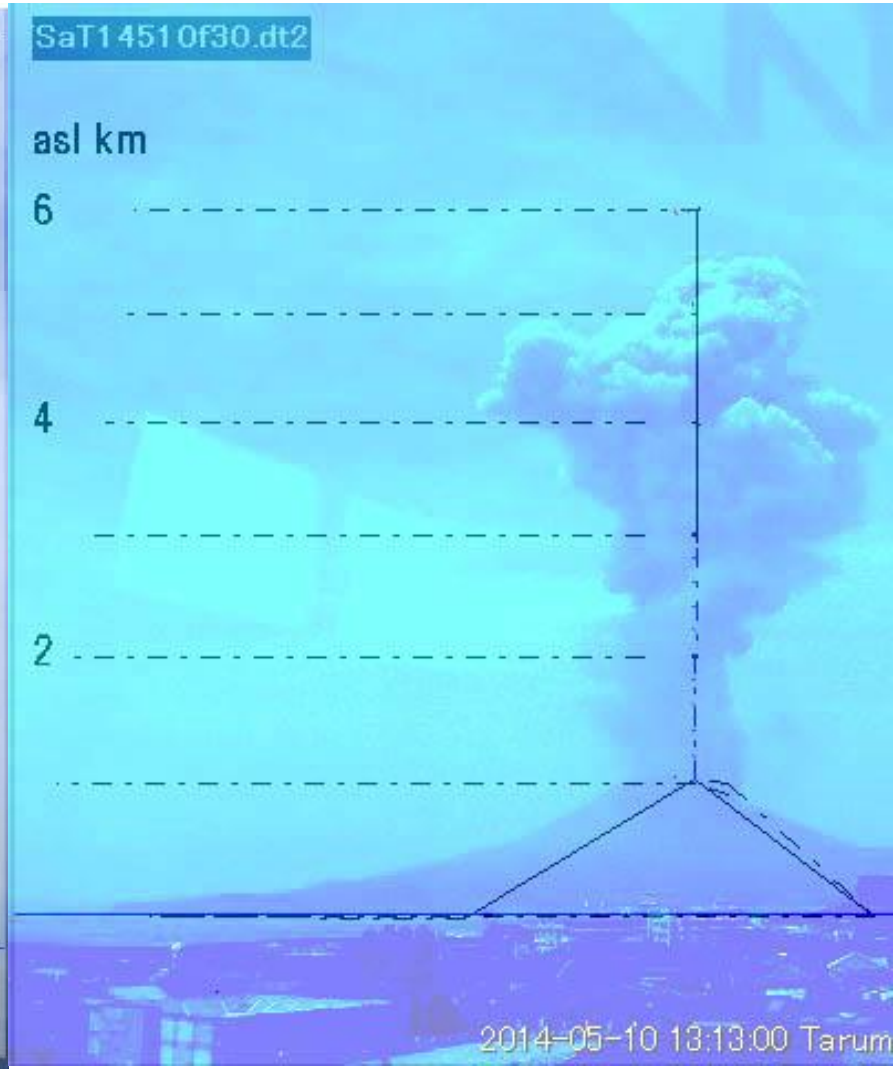


16:42



桜島爆発噴煙 2014.5.10_13:07

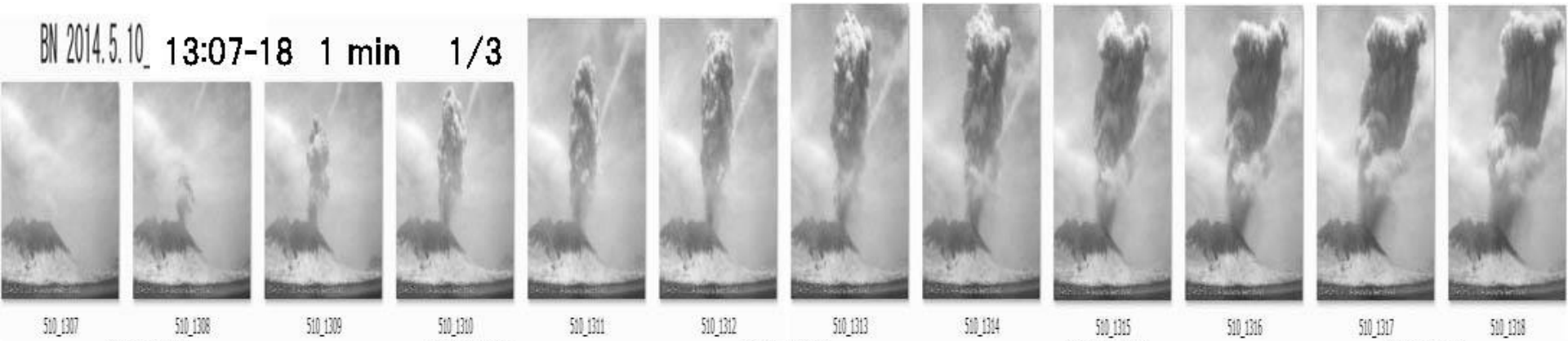


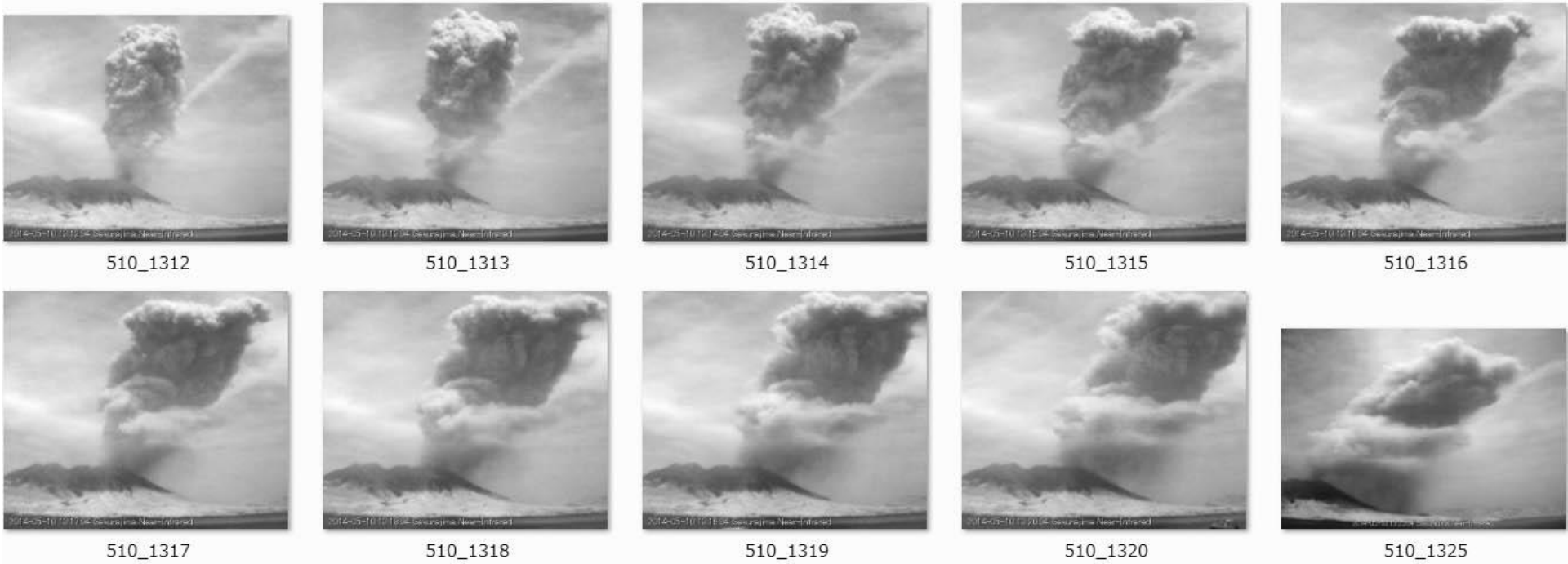


B 14510_13: 14.06v , 18.46v

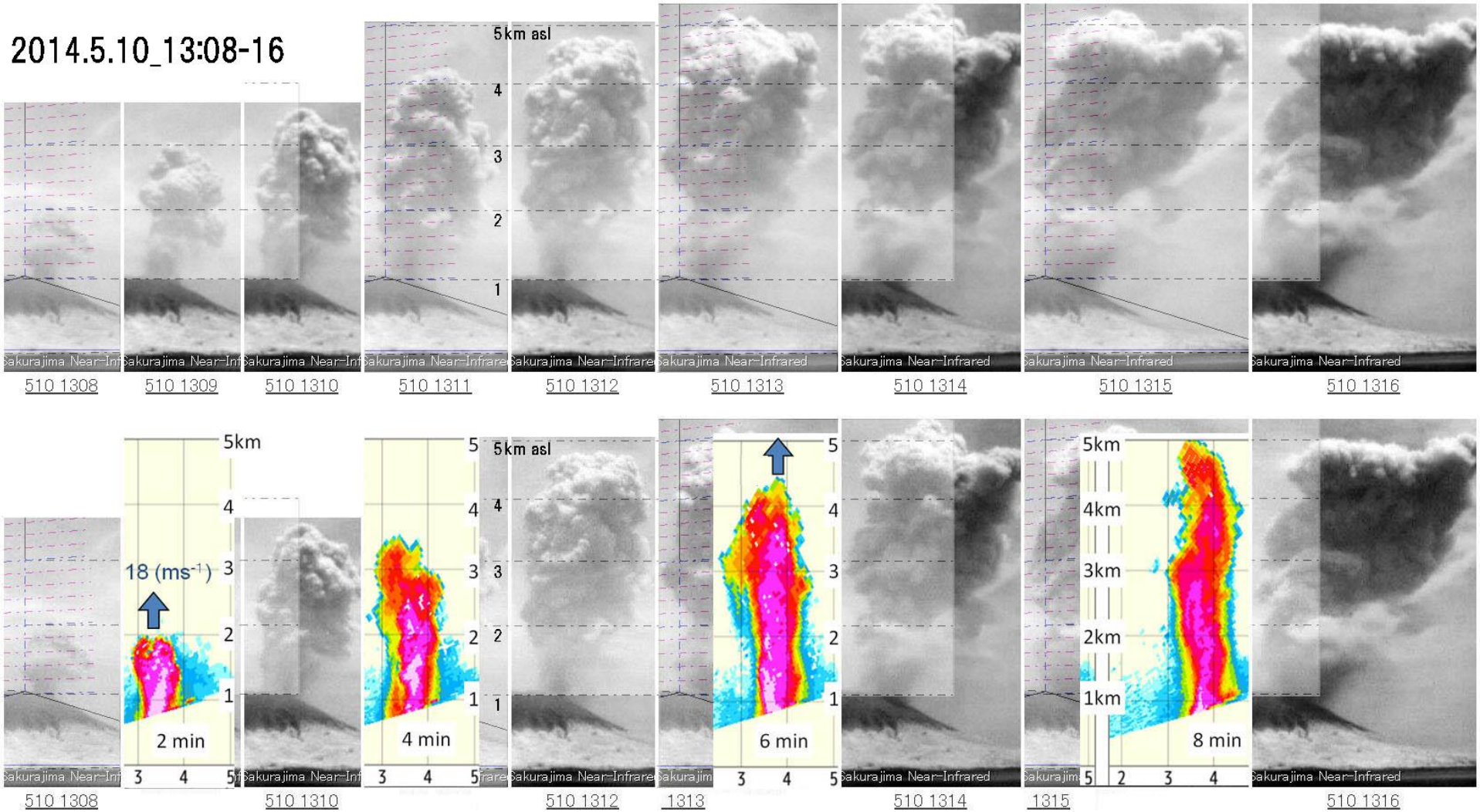
T 13:13

爆発噴煙の上昇2014.5.10_13:07-20, 25





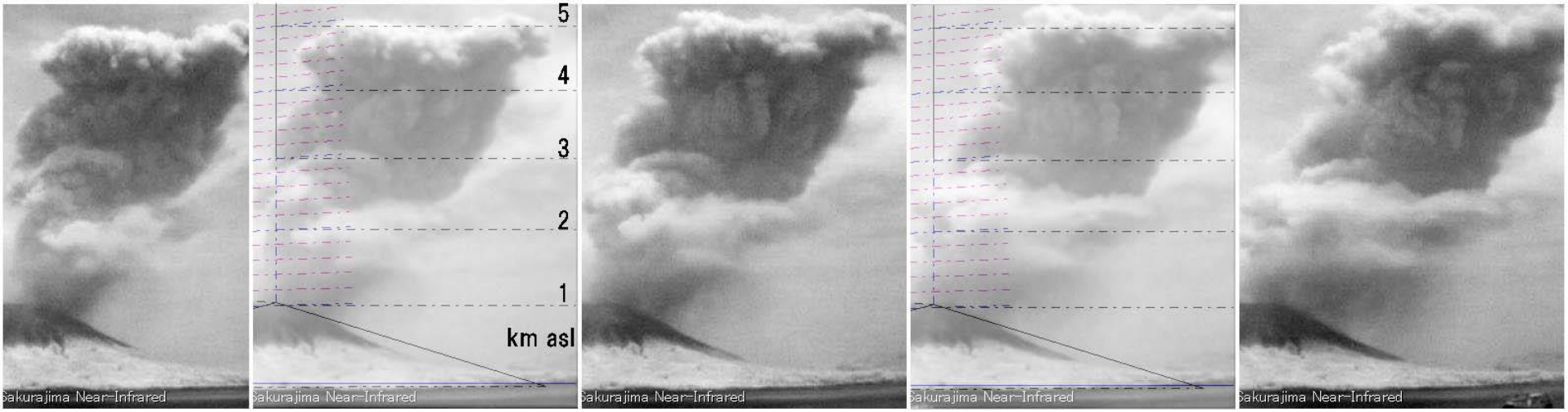
SaBf038.dt2
5 km asl
2014-05-10 13:14:04 Sakurajima Near-Infrared

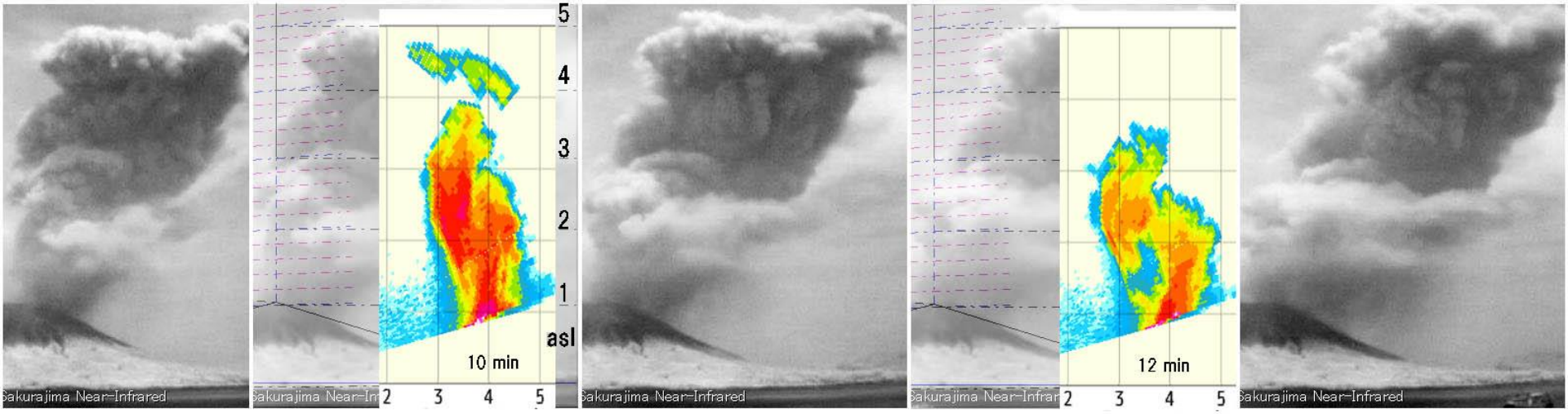


Kaバンドレーダ(8 mm) 防災科学技術研究所
黒神　(昭和火口から約3.6km E)　2014.3.29-6.8

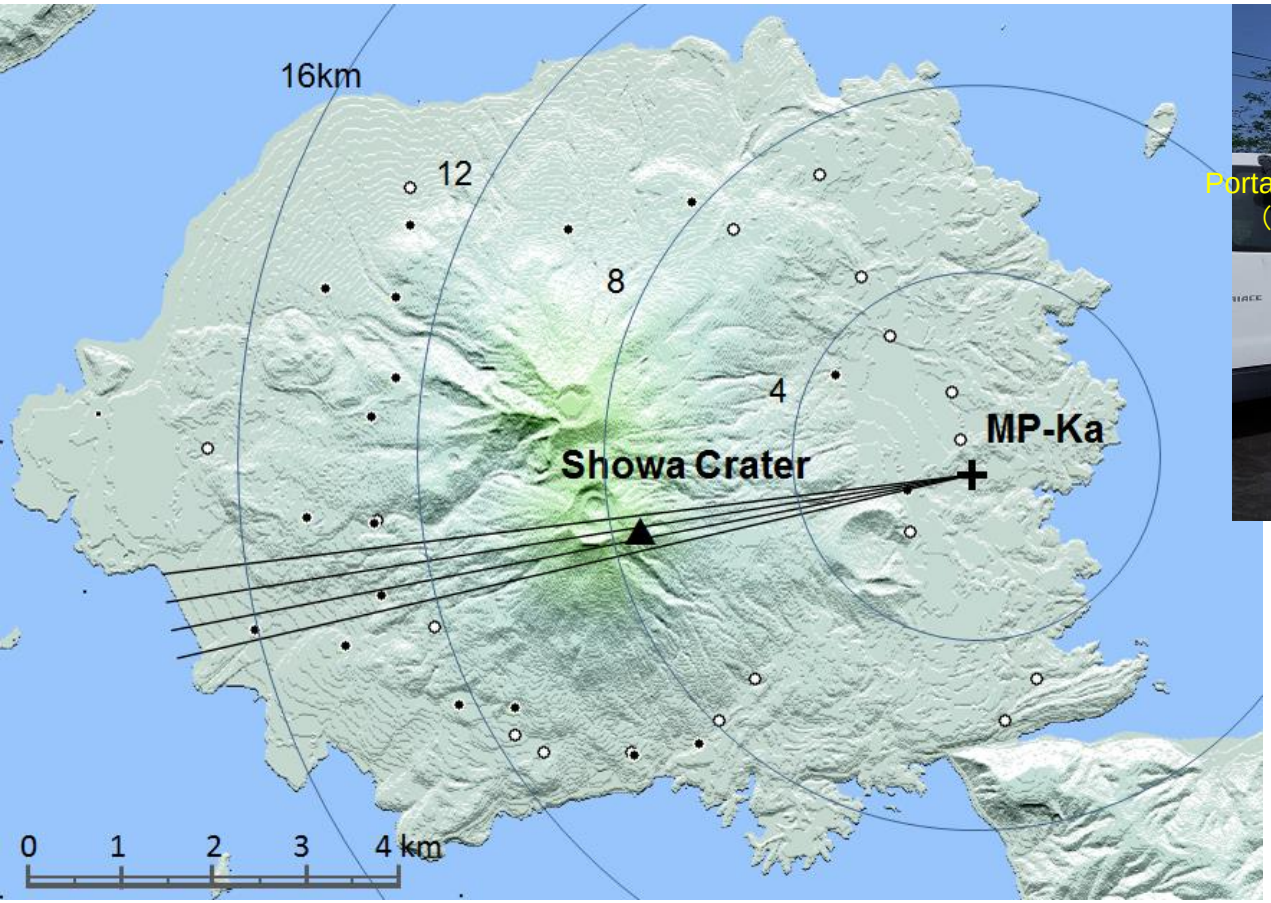
真木雅之他、気象レーダによる桜島火山噴煙の観測, 火山学会,2014.10

爆発噴煙の上昇後2014.5.10_13:16-20





Kaバンドドップラーレーダの観測モード



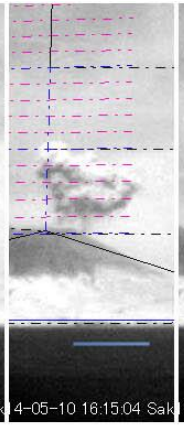
空間分解能:レンジ方向　75m，方位角・仰角方向0.3°

観測時間　:鉛直断面を10秒程度で観測

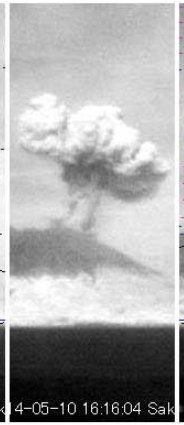
(Cf.　垂水X-MPレーダ　　:ボリュームスキャンに約5分)

小爆発と上昇2014.5.10_16:14-30-55

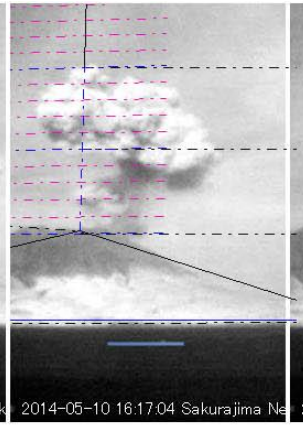
510_1614



510_1615



510_1616

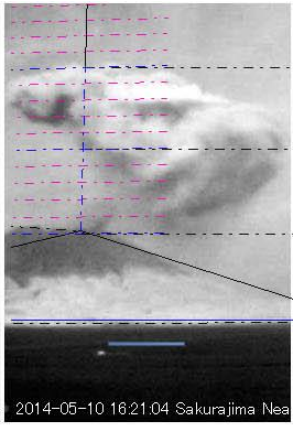


510_1617

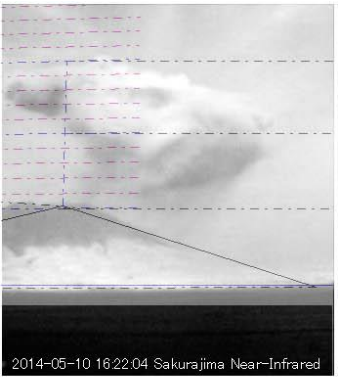
510_1618

510_1619

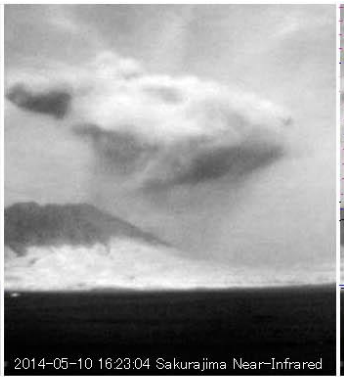
510_1620



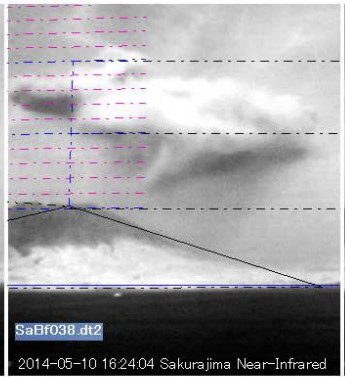
510_1621



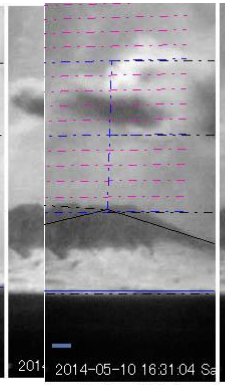
510_1622



510_1623

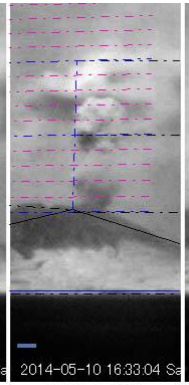


510_1624



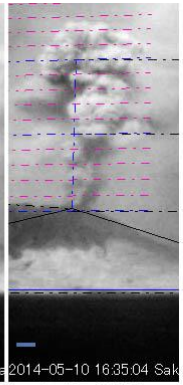
510_1631

510_1632

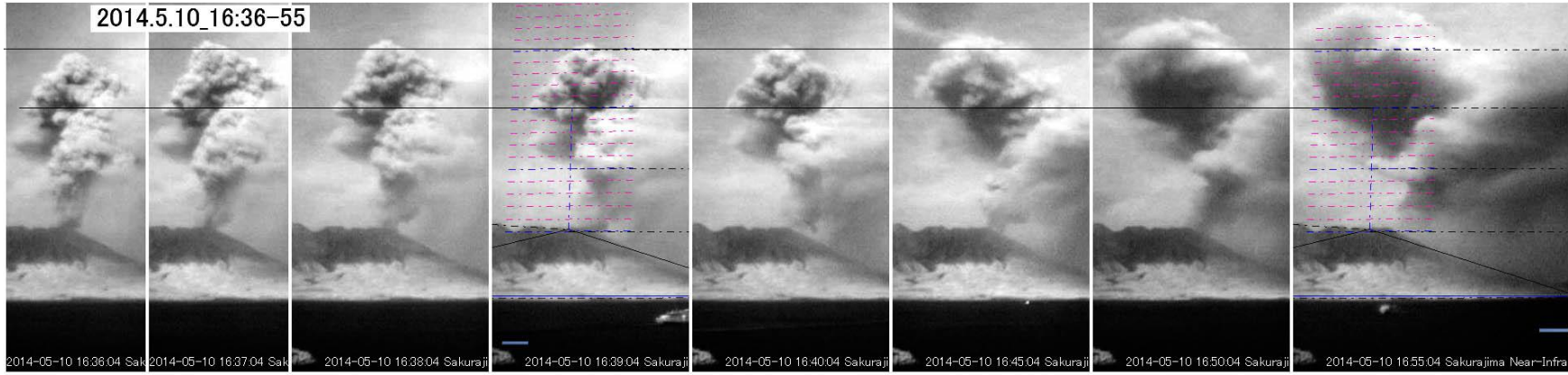


510_1633

510_1634

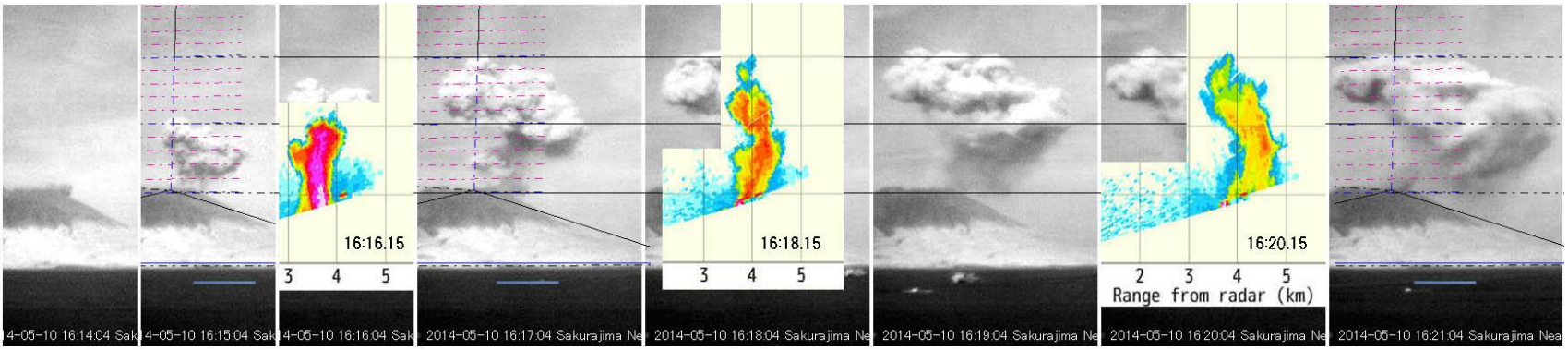


510_1635



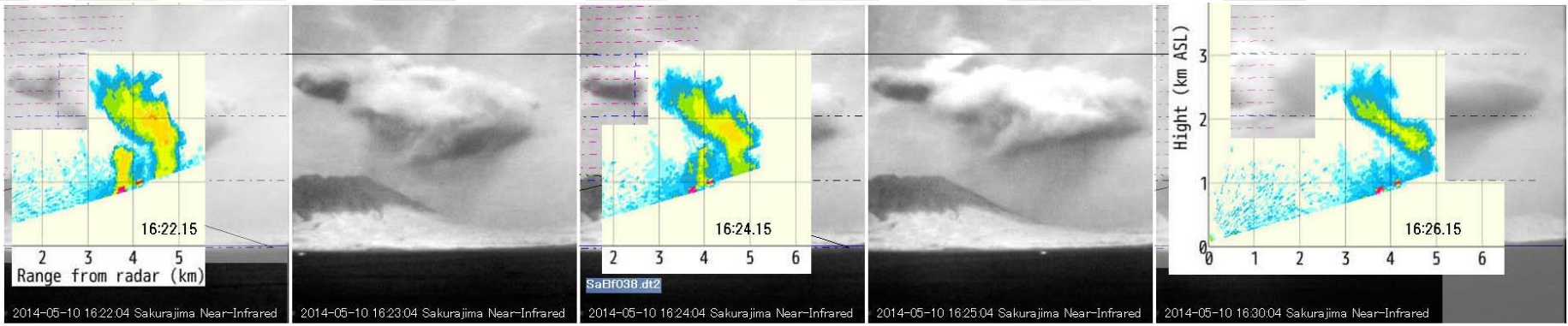
510_1636 510_1637 510_1638 510_1639 510_1640 510_1645 510_1650 510_1655

小爆発と上昇2014.5.10_16:14-30-45　Kaバンドレーダによる断面図との比較

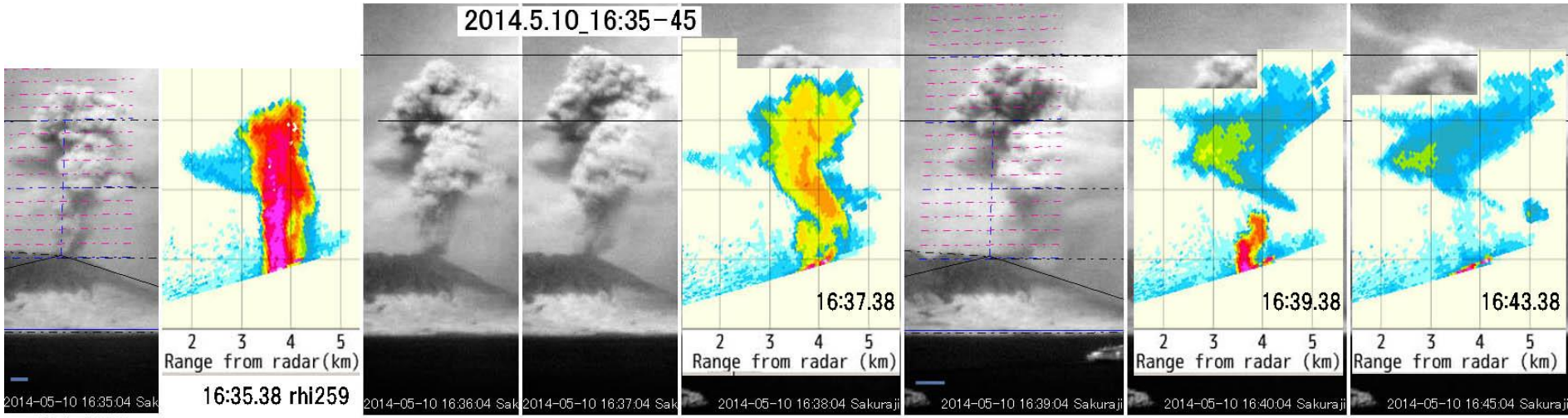


510_1614　510_1615　510_1616　510_1617　510_1618　510_1619　510_1620　510_1621

rhi261

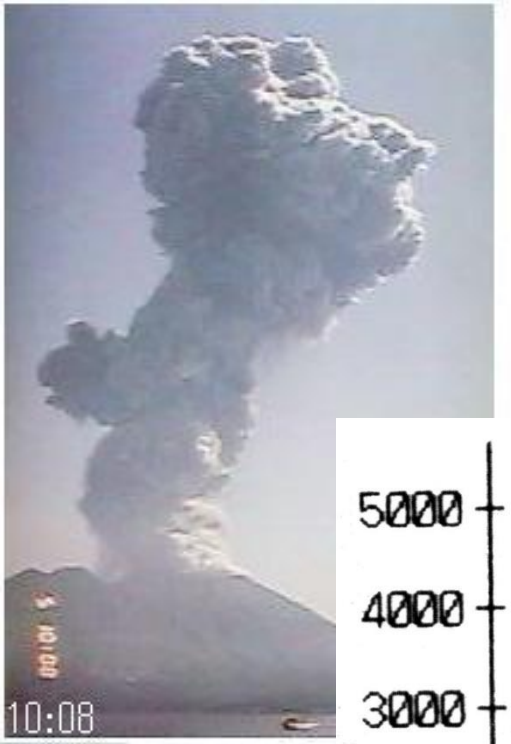


510_1622　510_1623　510_1624　510_1625　510_1630

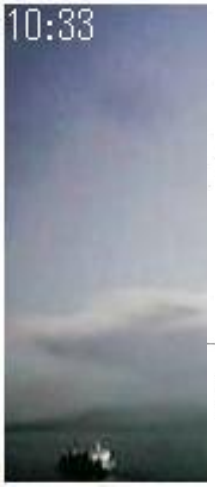


510_1635　510_1636　510_1637　510_1638　510_1639　510_1640　510_1645

Eruption in coincidence with Landsat



93.3.5_
10:04



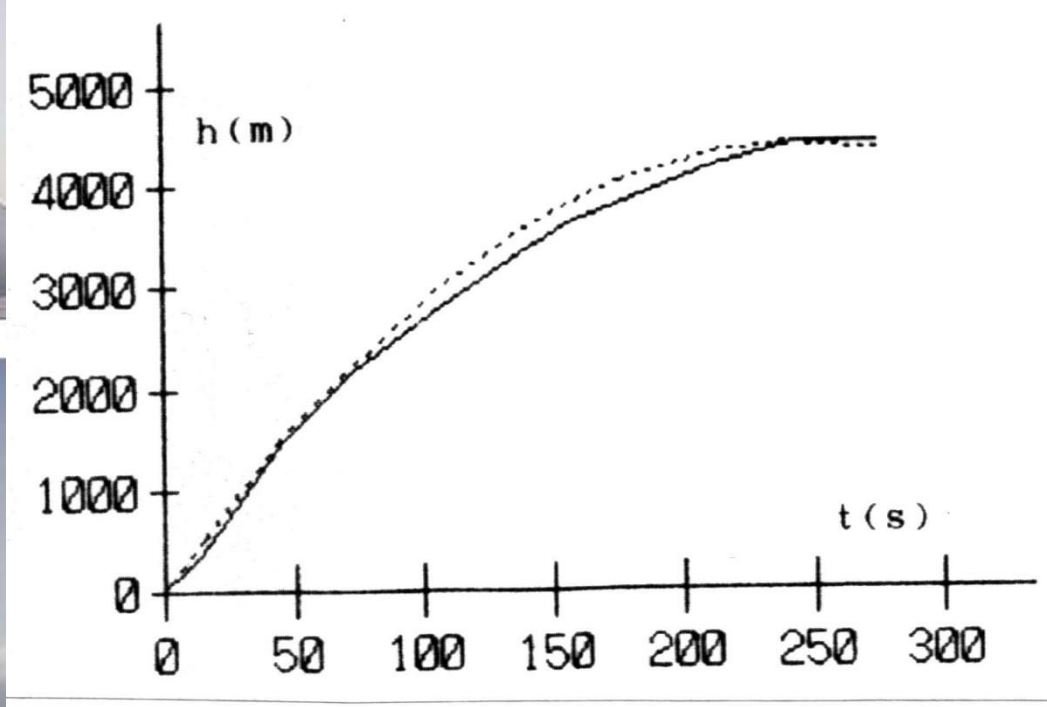
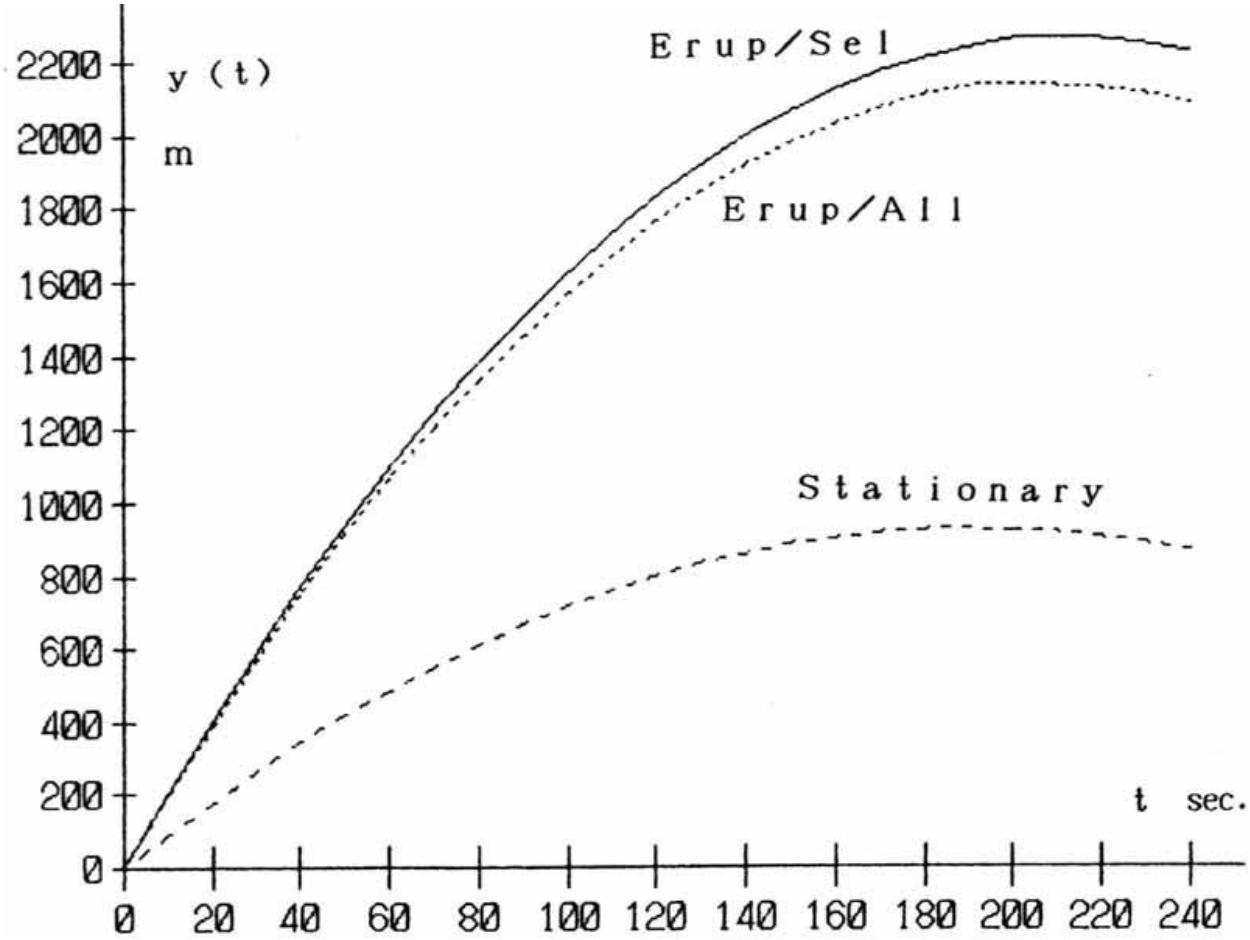


図８．爆発噴煙（'93.3.5, 10:04）の実測値（実線）と，二次曲線による近似（破線）．

噴煙上昇の平均的振舞い



実線と点線は[表１の]爆発噴煙の＃31事例（Erup/Sel），全52事例（Erup/All）
それぞれのａ，ｃ＝Hmaxの平均値、破線は定常噴煙13事例の平均値を用いて

$h(t) = -a(t-t0)^2 + c$ を計算.　(1990.1-1993.12)

噴煙上昇パラメーター

木下・戸高(1994)

表２．噴煙上昇パラメーターの統計量.

		Erup/All	Erup/Sel	Stationary
Samples		52	31	13
Hmax m	Av.	2139	2265	925
	S.D.	802	816	128
	Max.	4400	4400	1100
	Min.	1050	1200	700
v_i m/s	Av.	19.3	20.2	9.4
	S.D.	7.8	6.4	2.7
	Max.	36.0	36.0	12.9
	Min	3.1	7.6	4.7
a m/s^2	Av.	0.0501	0.0498	0.0252
	S.D.	0.0361	0.0334	0.0108
	Max.	0.2066	0.2066	0.0389
	Min.	0.0016	0.0115	0.0079

表３．噴煙上昇パラメーターの相関係数

	H_{max}, v_i	a, v_i	H_{max}, a
Erup/All	0.62	0.78	0.08
Erup/Sel	0.64	0.69	−0.04
Stationary	0.76	0.98	0.63

ご静聴有難とうございました.

謝辞
この報告は鹿大・熊大噴煙研究グループの成果に基づいています。メンバーの方々に深く感謝致します。
レーダー解析結果の使用について、真木雅之教授と共同研究者の方々に深く感謝致します。

参考URLと解説 (改訂追記)

火山と噴煙のページ　http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/arist/volc/
/volc/Sa13-14R6/menu-sum.htm　Selected 6 Eruptions in 2013-2014 to compare radar and camera images
/Sa13-14R6//Ra130818/sa13818menu.htm　R2. 2013.8.18_16:31
Manual photographs, Eruption scale, Plume shape at B
at Kinkodai : with scale, at Tarumizu : with scale,
/Sa13-14R6/menu-5.htm　Radar 5: 2014.5.10_13:07 vs. Cameras
at B, Kinkodai, Tarumizu and Fish-Eye at A
Scale fit, Rise fit

衛星画像ネットワーク鹿児島　http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/arist/sing/

木下、火山活動と噴出物の動態、大気環境学会誌50(2015), A48-57:
入門講座「火山噴火と大気環境」第一講.

K.Kinoshita, M.Maki, S.Tsuchida, N.Iino and C.Kanagaki, Eruption clouds at volcanoes in Kyushu observed by web-cam., radar and sat. images, The 23rd CEReS Intrl. Symp., Chiba Univ., Dec.2015