

Mechanism of Volcanic Tephra Falling Detected by X-BAND Multi-parameter Radar

Satoru OISHI, Masahiro IIDA, Masahide
MURANISHI, Mariko OGAWA, Ratih
Indri Hapsari and Masato IGUCHI

Back ground and Objectives of the study

Volcanoes give many kinds of hazards and the impact is huge.

TARGET

Sediment related disaster made by Volcanic Tephra

Volcanic Ash < 0.532mm < **Volcanic Lapilli** < 32mm



Volcanic Ash ▪ **Lapilli**



Deposit on slope



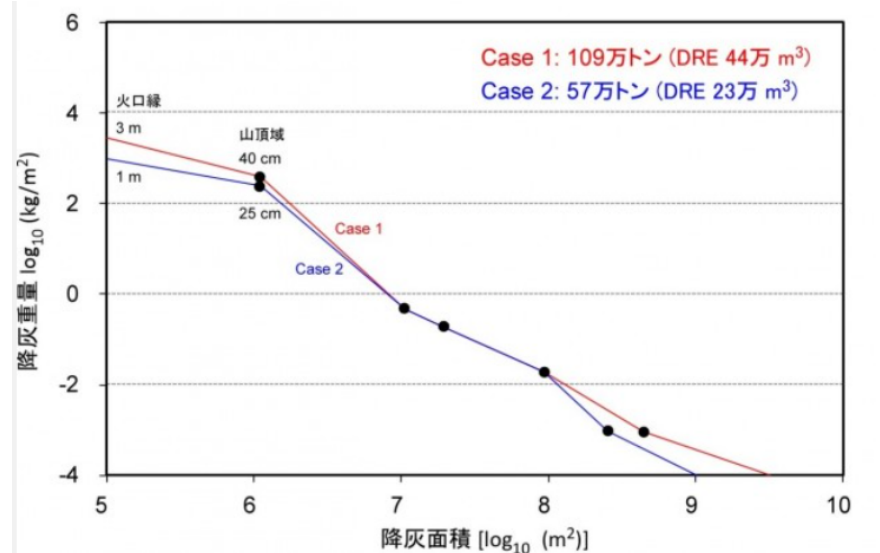
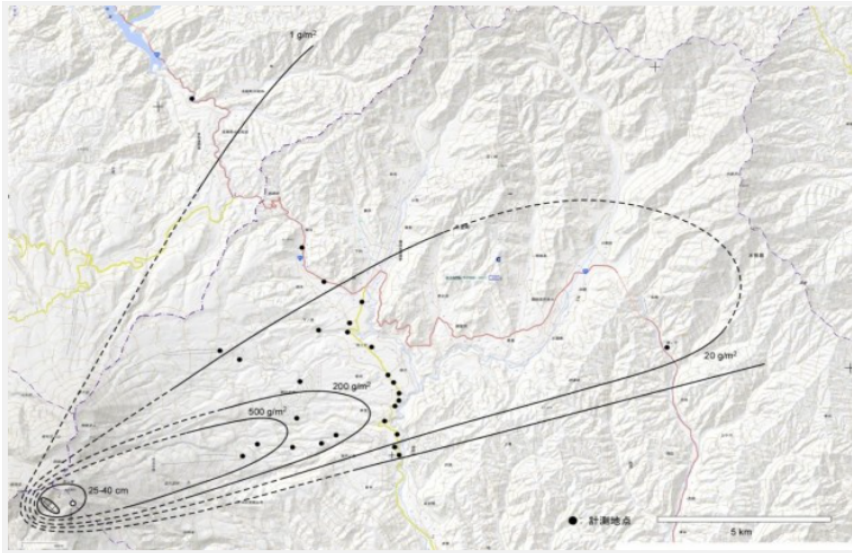
Rain



Sediment Related

Disaster

How to measure amount of sediment after eruption



Such measurement is important and accurate, but

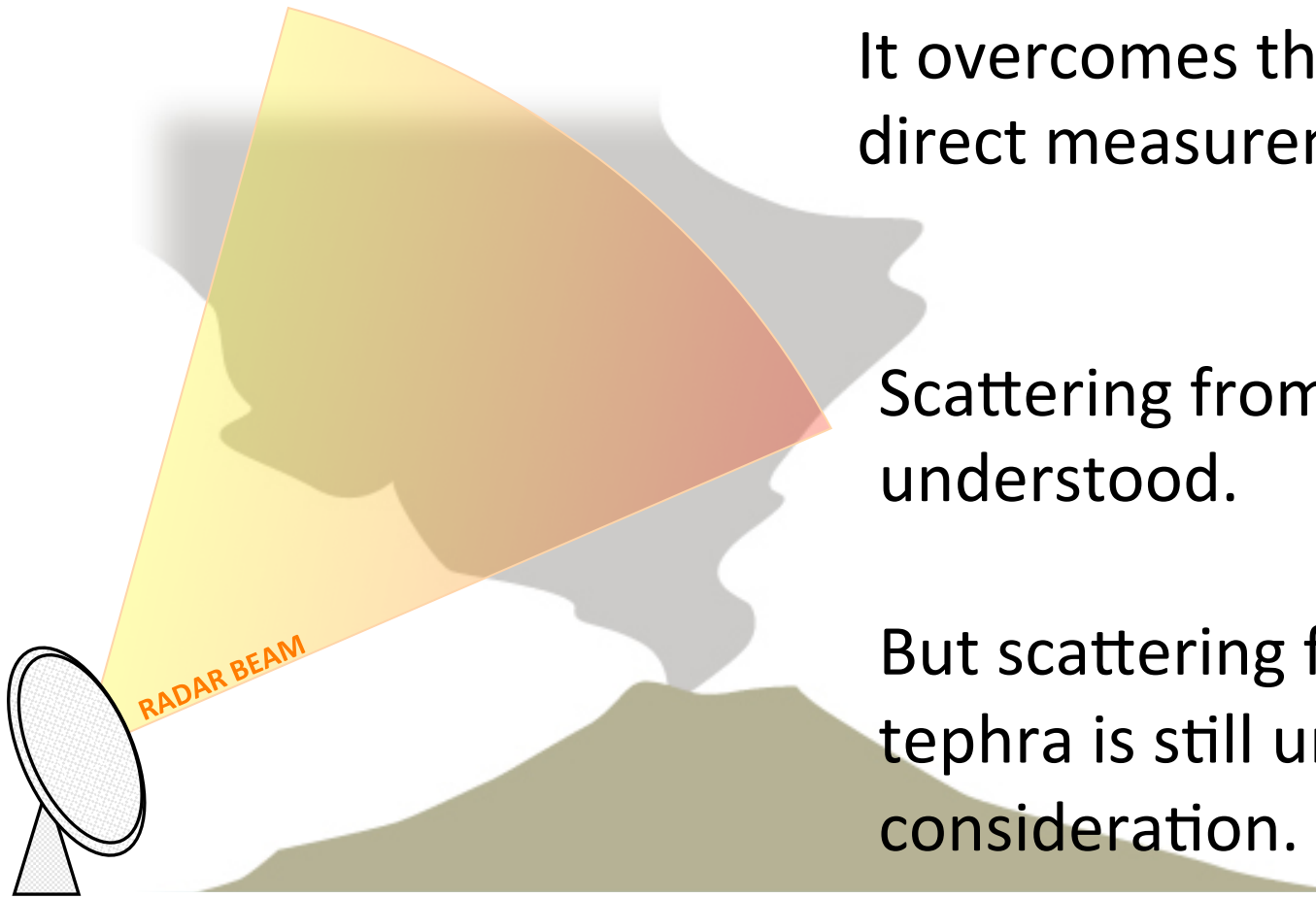
- It **takes time**
- It is **dangerous to researchers.**
- **Limited area** is measured.

Measurement by Remote Sensing

It overcomes the problem of direct measurement.

Scattering from raindrop is well understood.

But scattering from volcanic tephra is still under consideration.



It is difficult to measure the amount of volcanic tephra.

Objectives of the study

- Considering mechanism of **volcanic tephra falling**.
- **Measure the drop size distribution (DSD)** of Volcanic Tephra by direct measurement.
- Polarimetric parameters are validated.

Detection of volcanic tephra by radar



Area Map

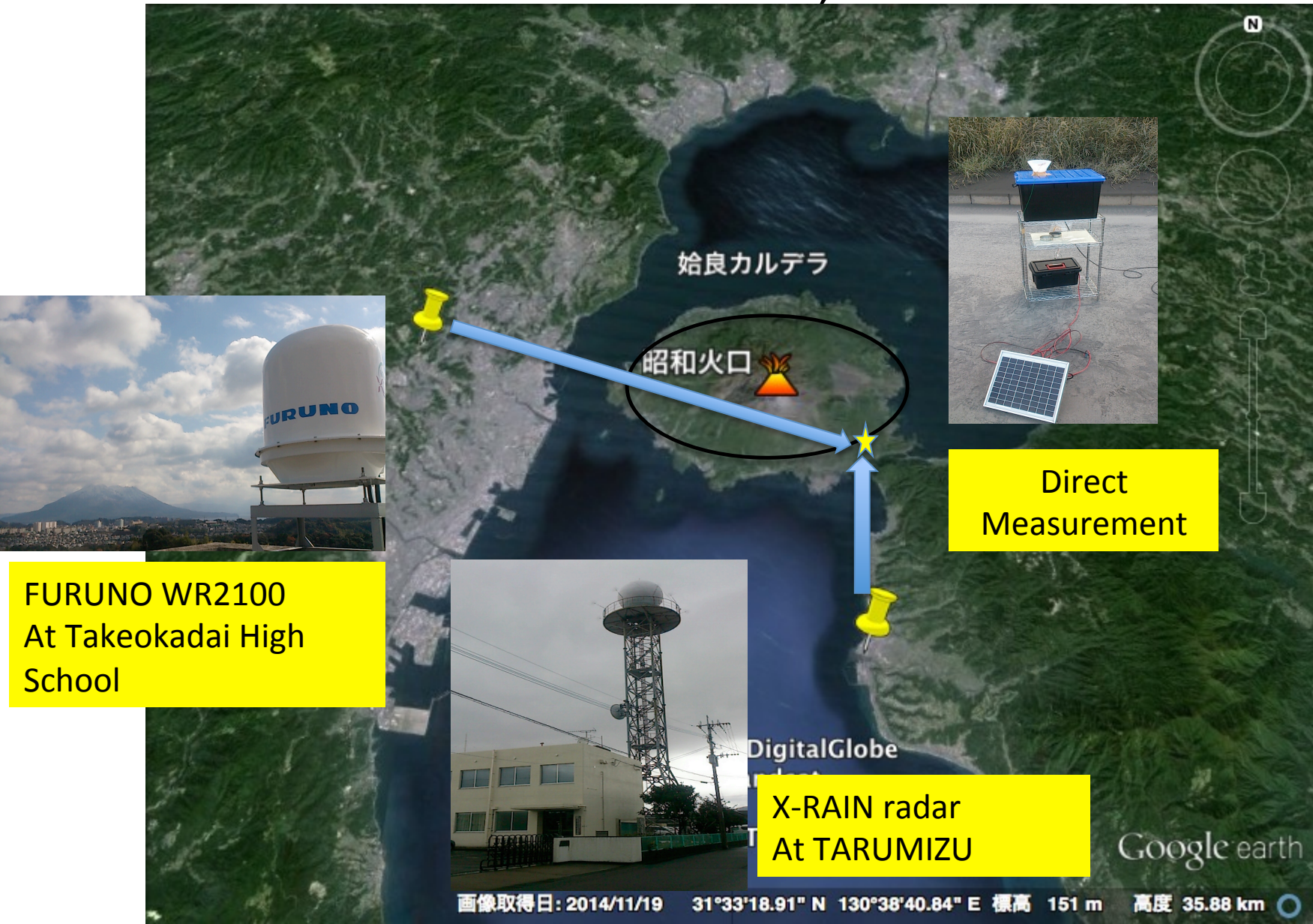
September and December
2014

Moving leeward of volcano
and measuring volcanic
tephra

Data has been analyzed
manually.

SAKURAJIMA observation

December 12-22, 2014



始良カルデラ

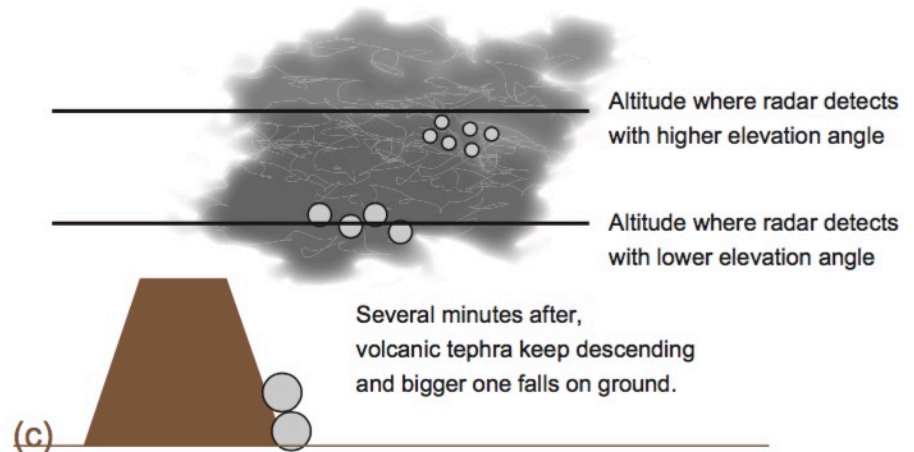
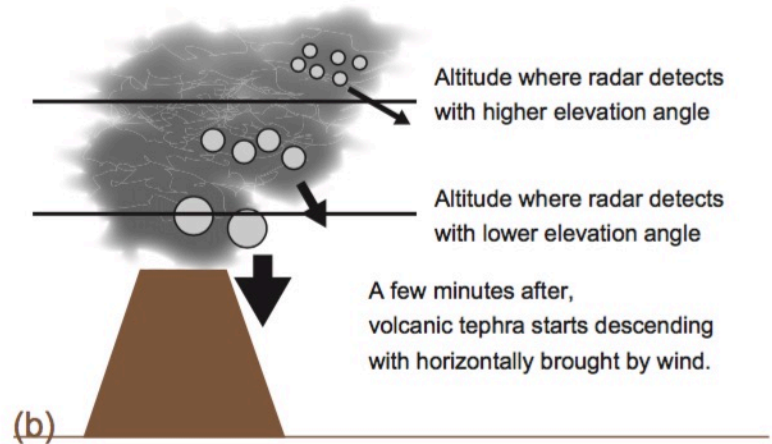
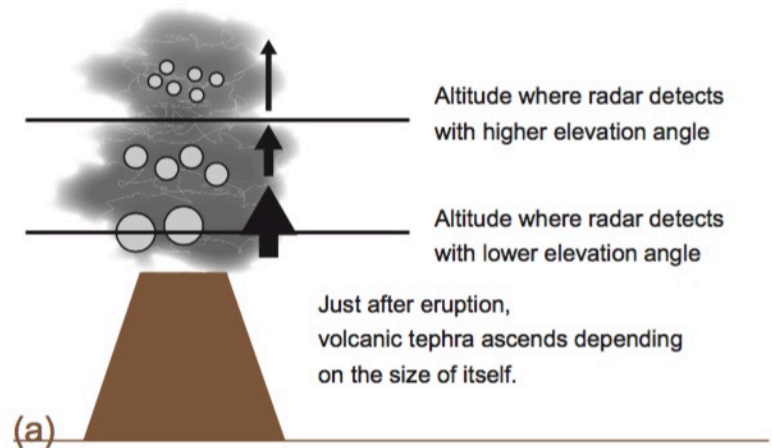
昭和火口

Direct
Measurement

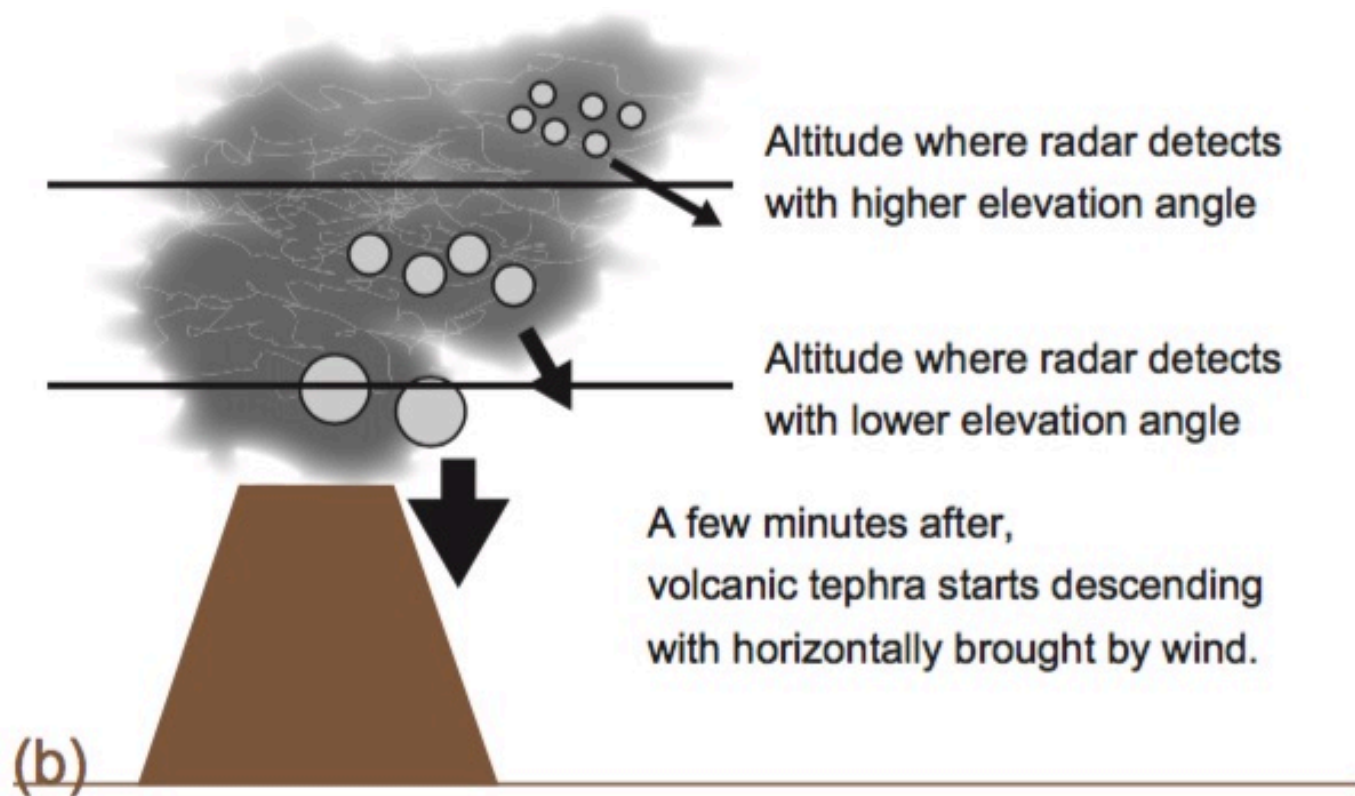
FURUNO WR2100
At Takeokadai High
School

X-RAIN radar
At TARUMIZU

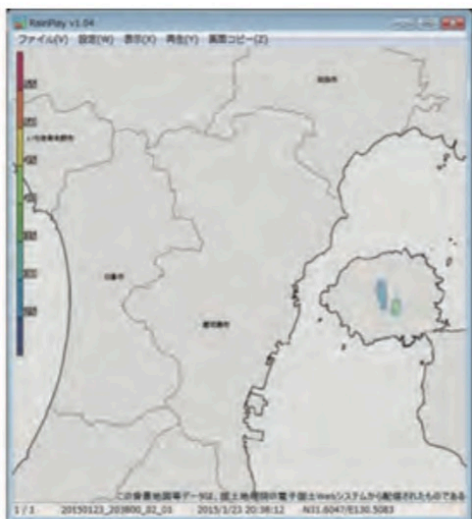
Mechanism of Volcanic tephra falling detected by radar



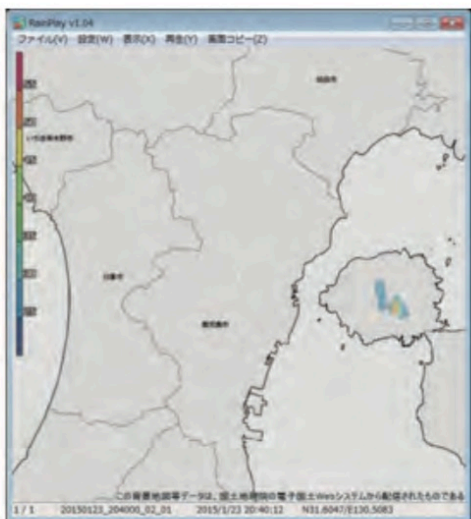
Mechanism of Volcanic tephra falling detected by radar



Elevation Angle
7deg (1750m)

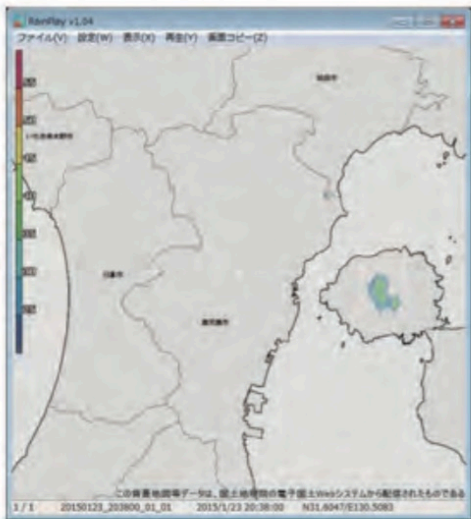


20:38

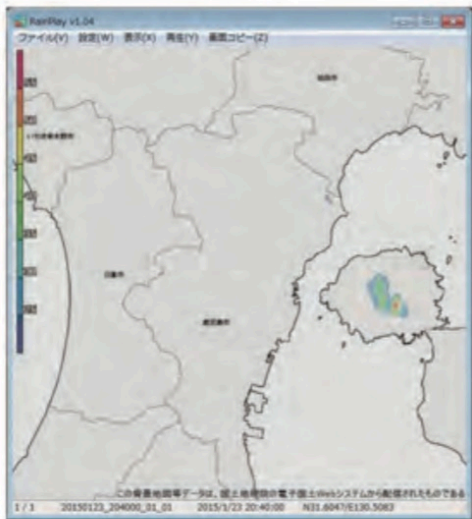


20:40

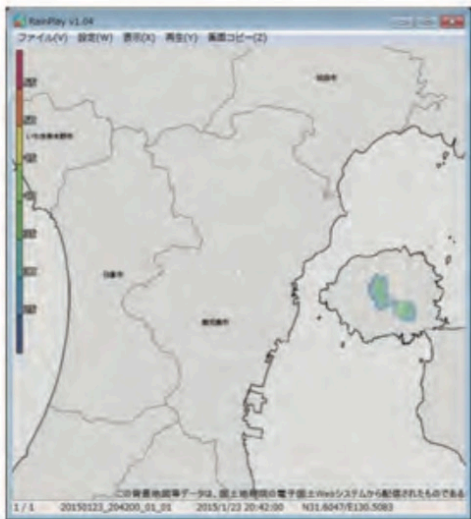
Elevation Angle
6deg (1500m)



20:38

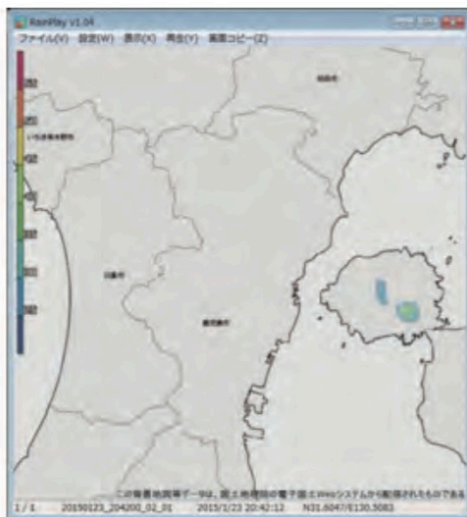


20:40

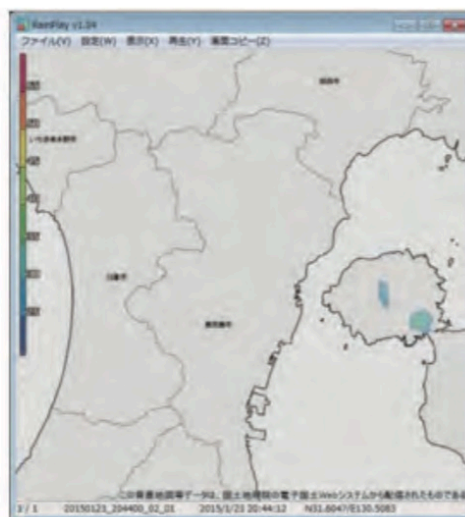


20:42

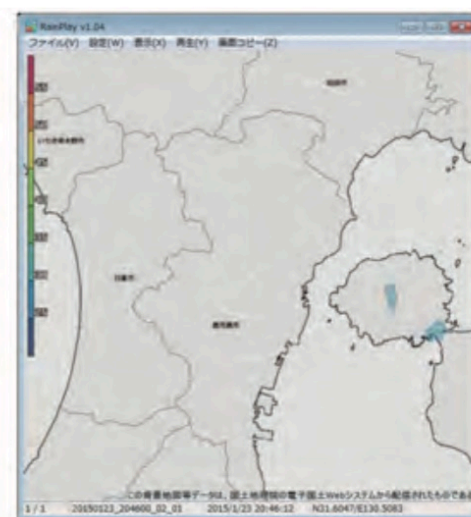
Elevation Angle
7deg (1750m)



20:42

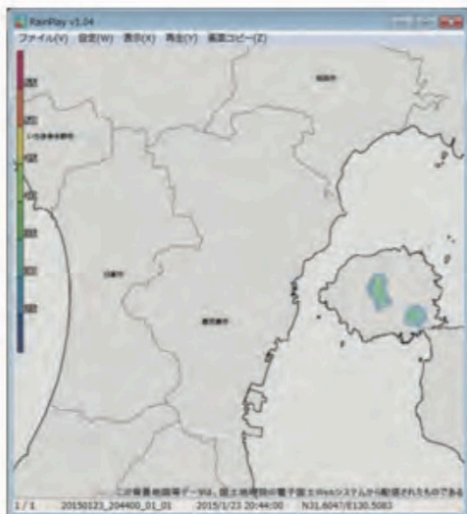


20:44

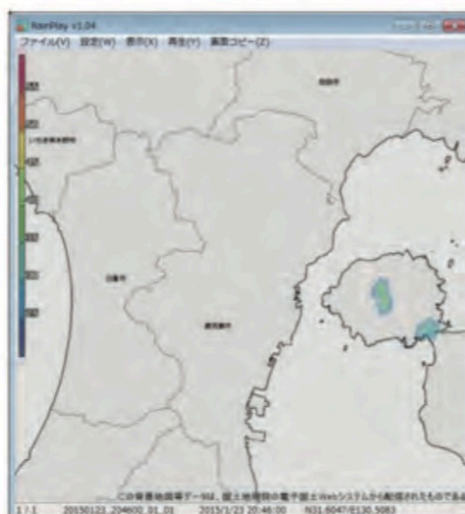


20:46

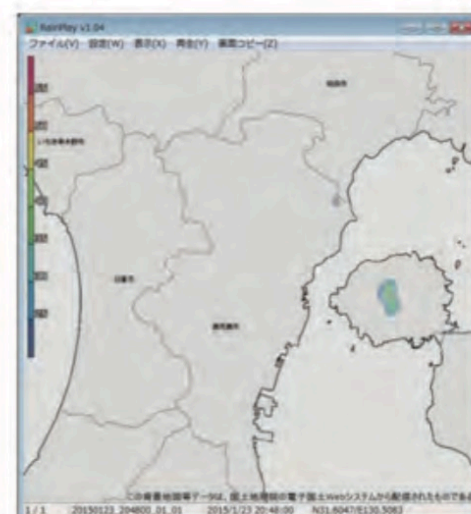
Elevation Angle
6deg (1500m)



20:44



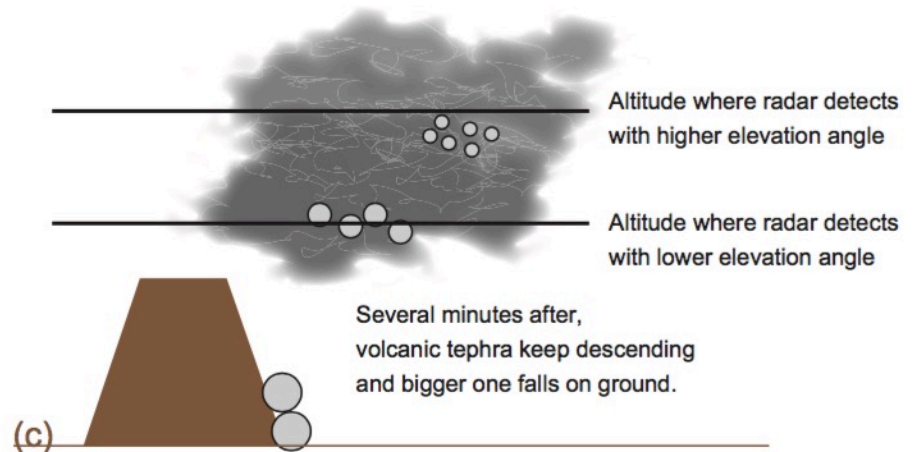
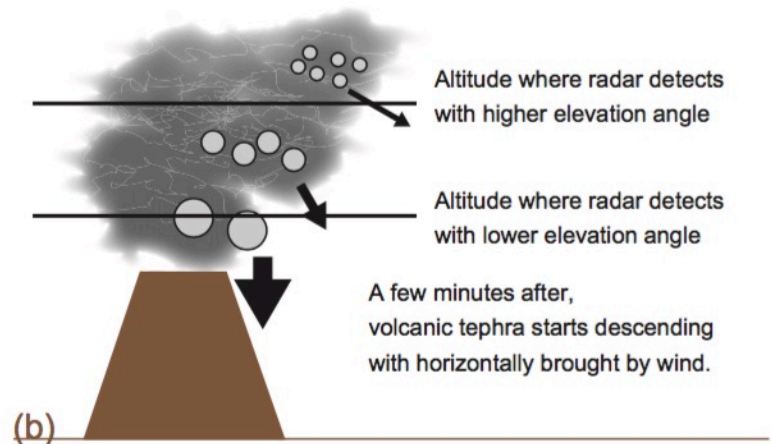
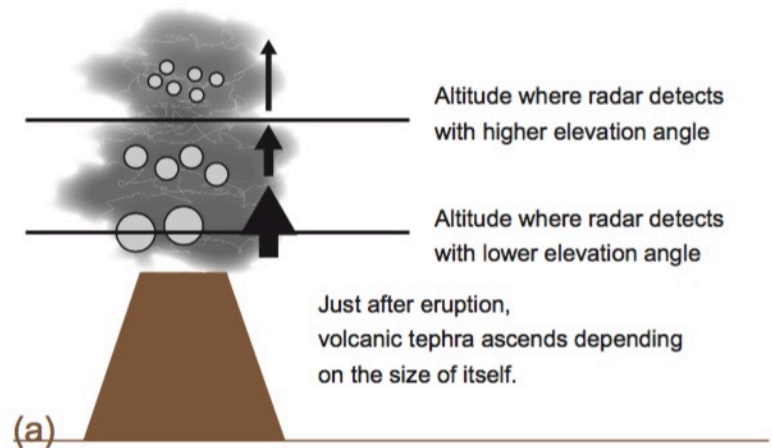
20:46



20:48

Mechanism of Volcanic tephra falling detected by radar.


The model of the mechanism is validated.

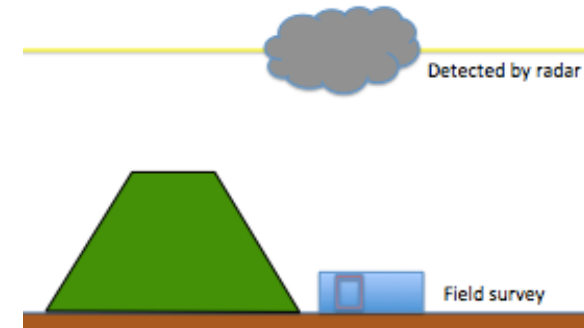


Validation of Radar to measure the amount of volcanic ash

The radar reflectivity factor (Z) depends on the particle size distribution ($N(D)$)

$$Z = \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^6 N(D) dD$$

- 
- Observation of $N(D)$ in Sakurajima
 - Calculation of Z based on ground truth
 - Comparison with Z from X-band radar
 - Simulation
 - Estimation of volcanic ash volume



Comparison between Radar and DSD

Kyushu, Sakurajima volcano



Kurokami observatory
(4km away from the crater)



Observation equipment for volcanic ash

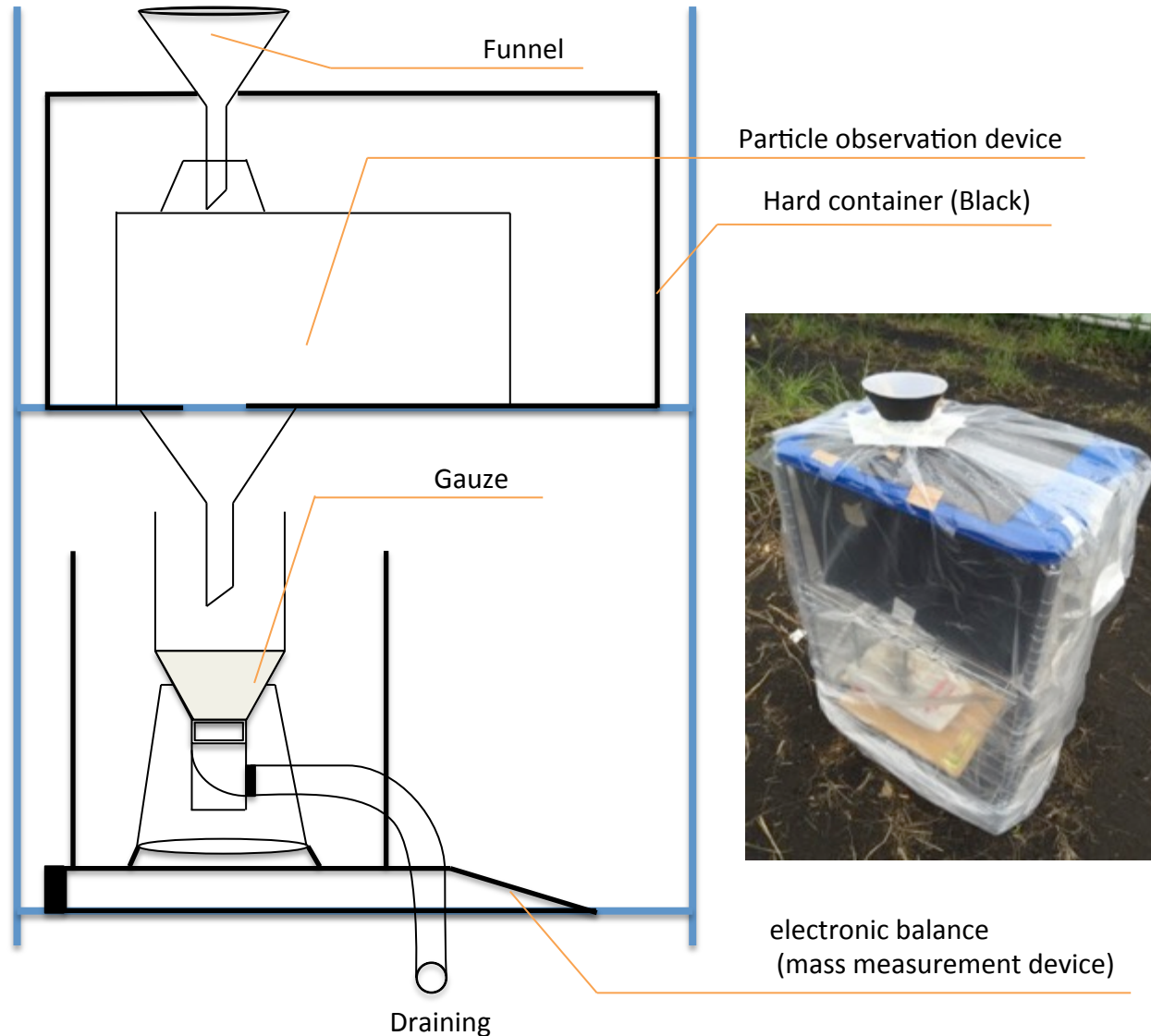
(The combination of particle observation device and mass measurement)

Taking the video of volcanic ash by CCD camera

→ Calculation of the Particle size distribution (N(D))



Mass measurement for volcanic ash

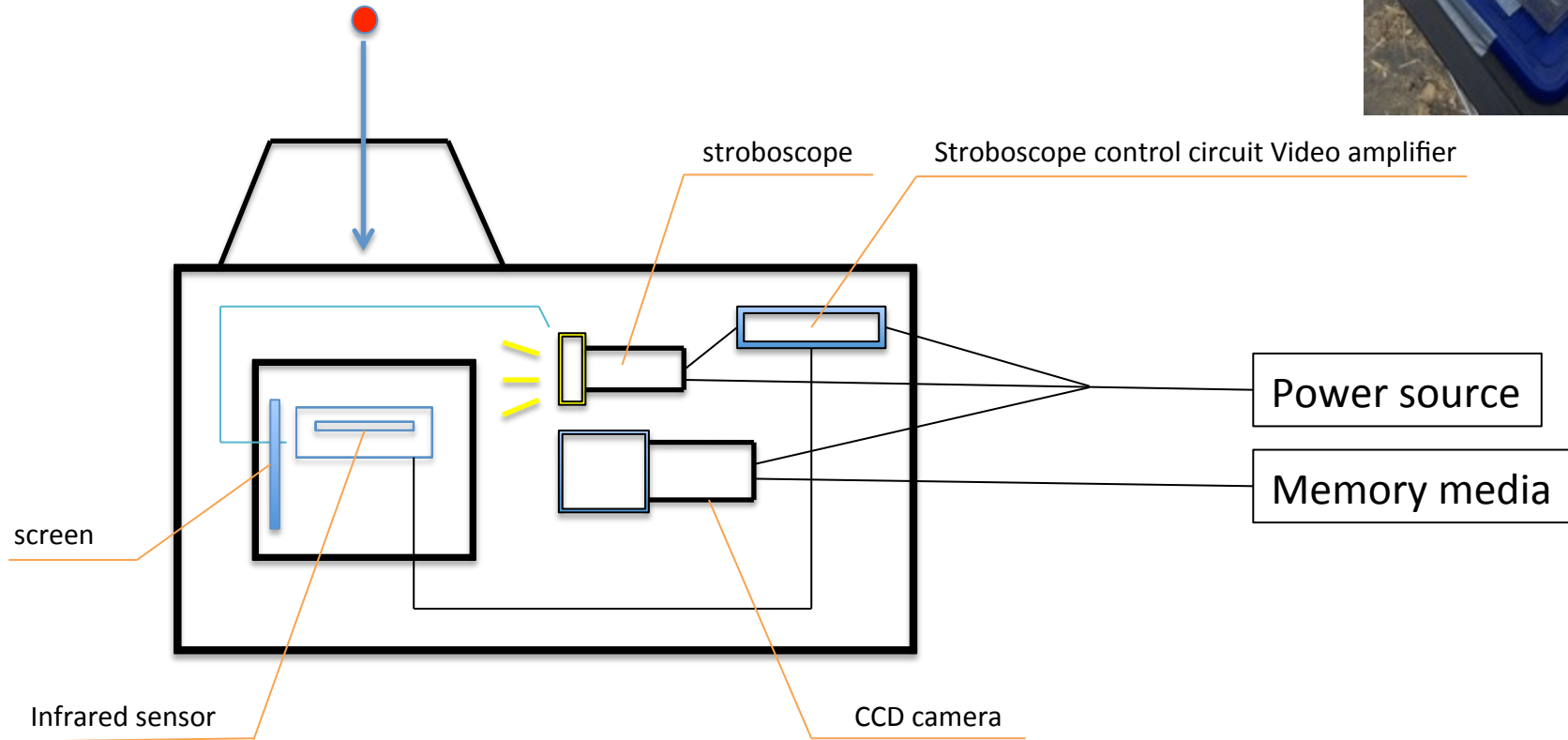


Video Drop Size Detector to measure DSD

Video image capture based volcanic tephra DSD measurement by

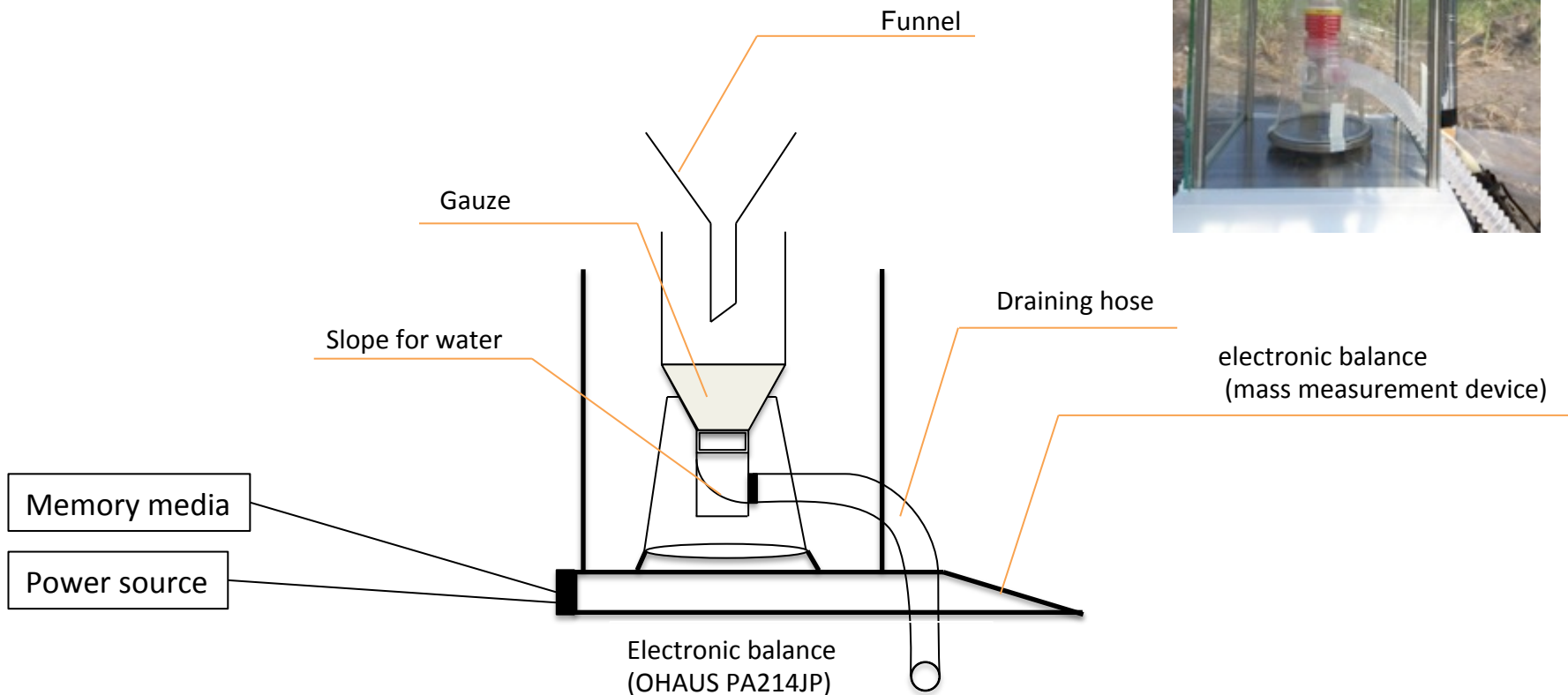
- adjusting the focus of CCD camera
- changing the system of power supply for electrical outlet

Volcanic ash (diameter: under 10mm)



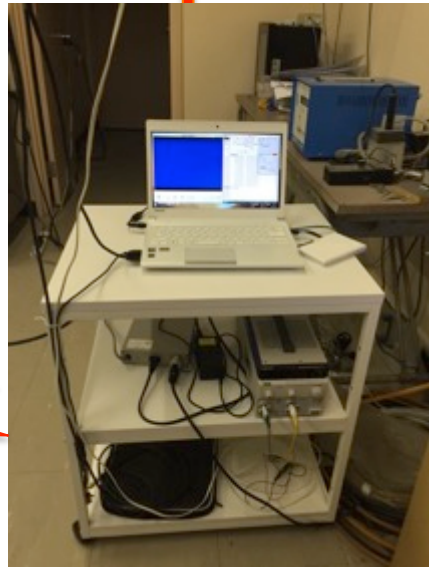
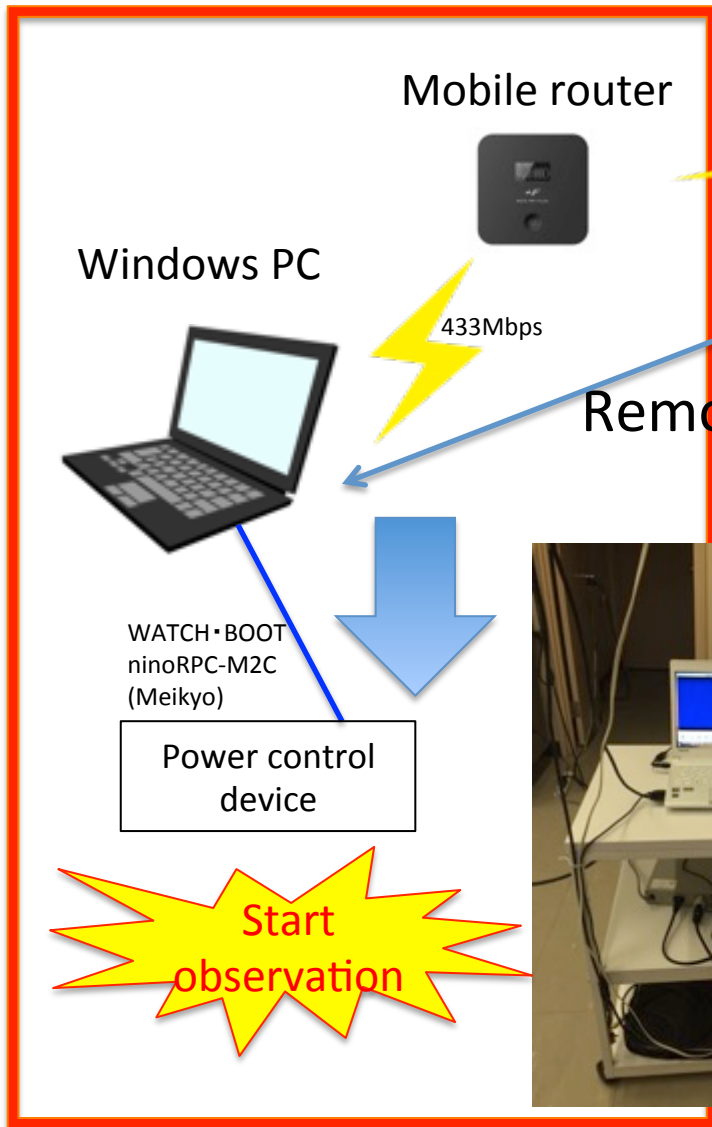
Mass measurement for volcanic ash

The capability of measuring the mass of volcanic ash by separating water
: minimum 0.1mg every second (maximum 200g)



A schematic diagram of the remote observation

Kurokami observatory



Controller



150Mbps

Remote power control
By using the team viewer

Emergency alert email



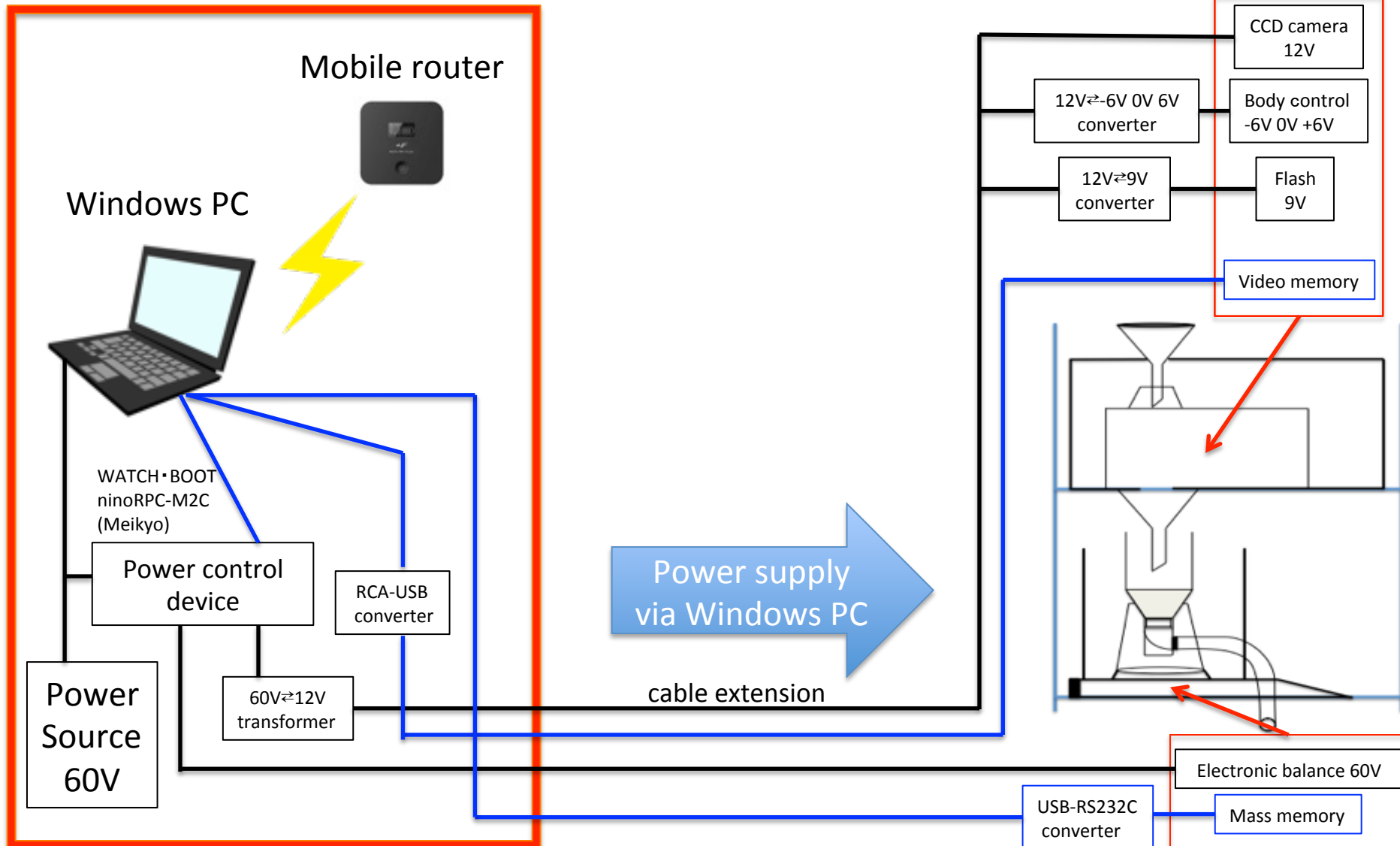
Sakurajima branch, Kyoto.univ
The meteorological agency



A schematic diagram of the remote observation

Kurokami observatory

outside

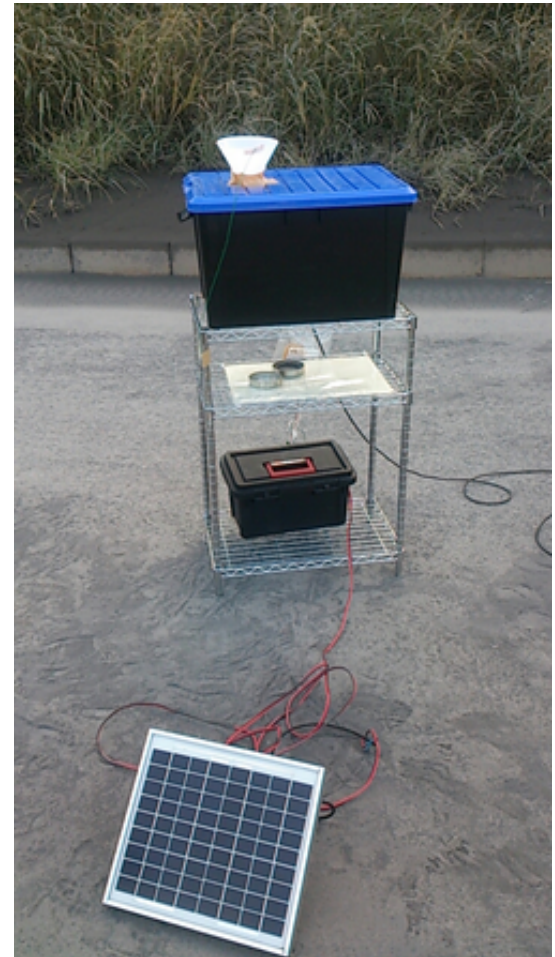
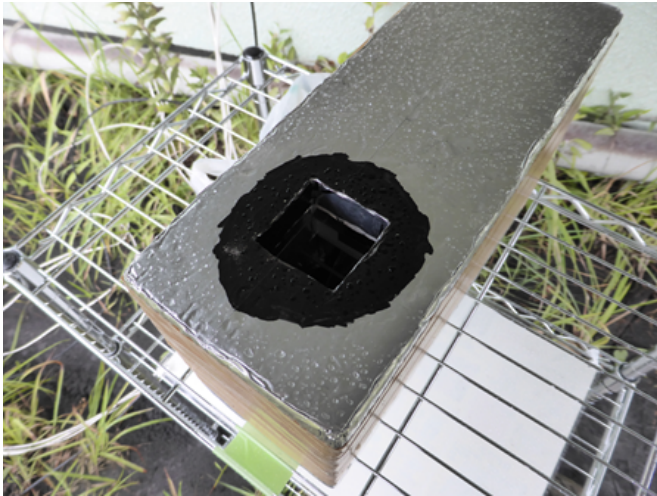


Development of remote observation system for volcanic ash



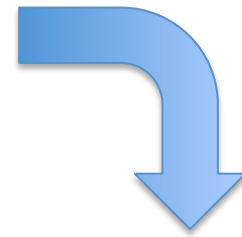
- To start the observation anywhere by using PC or iphone
- To make it possible to observe only when the eruption
- To get many samples of the data
- To observe safety by remote control





Drop Size Distribution

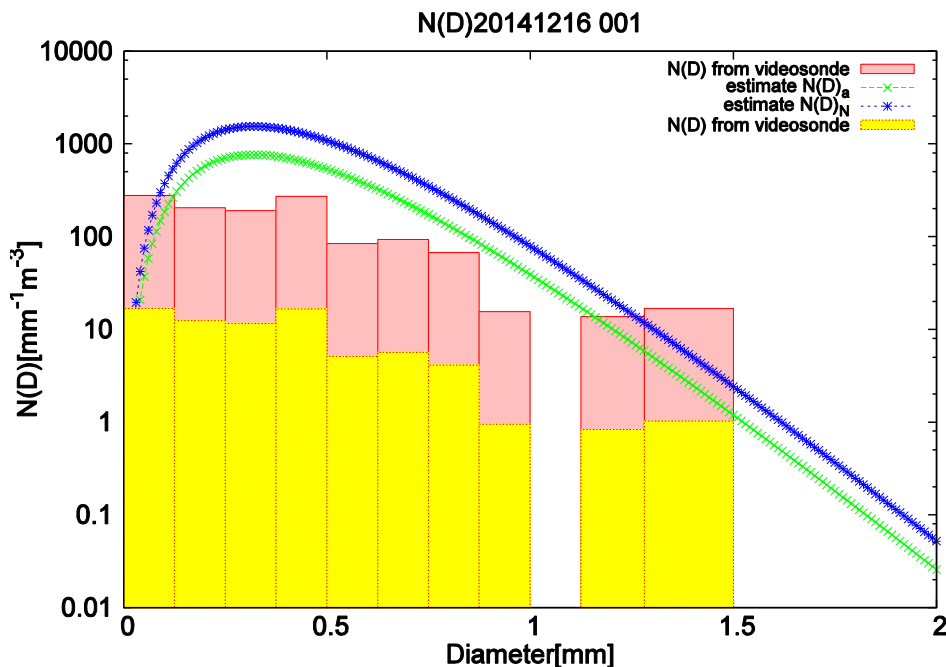
$$N(D) = N_0 D^\mu \exp(-\Lambda D)$$



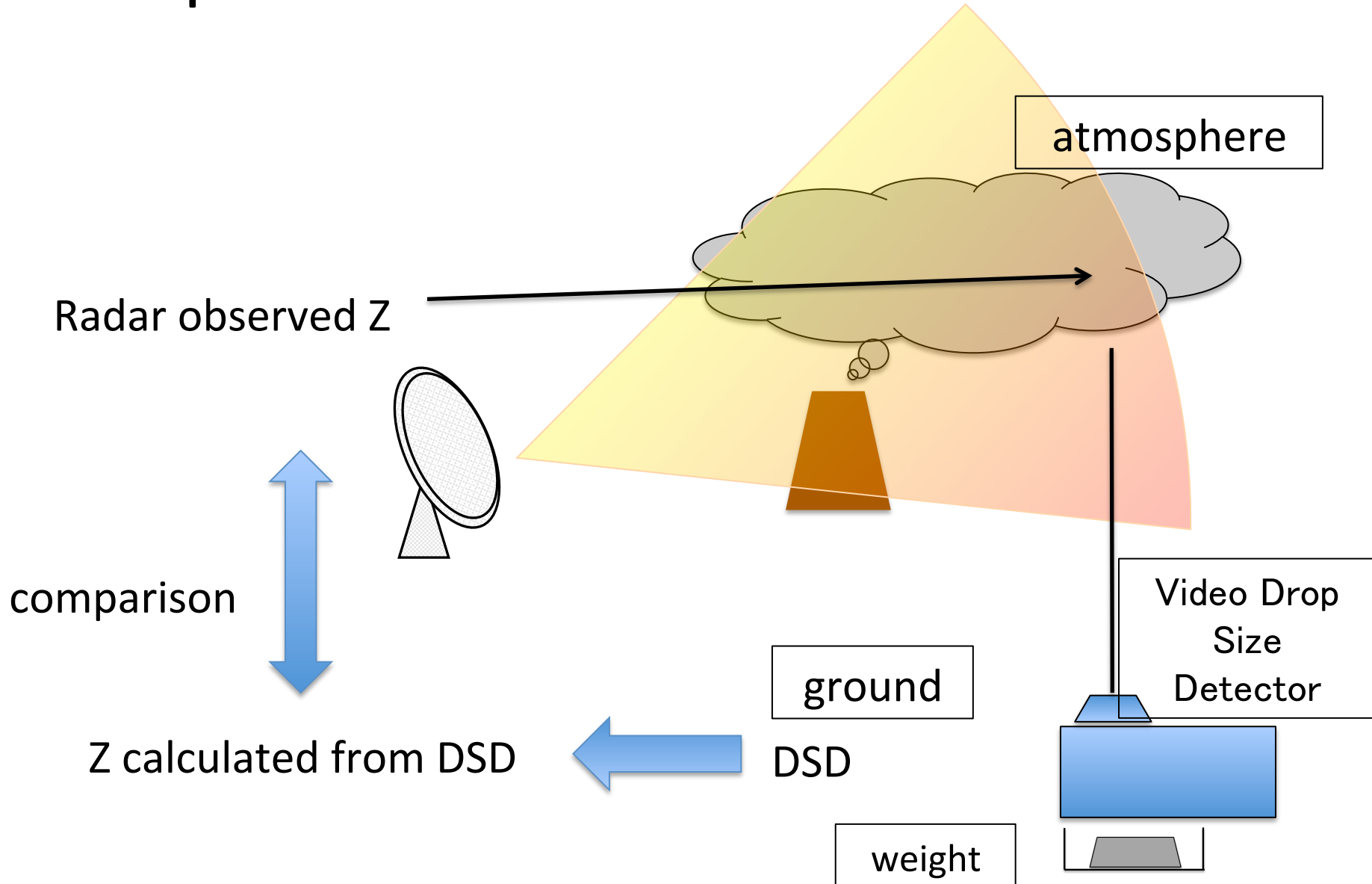
Radar Reflectivity Factor

$$Z \equiv \int_0^\infty D^6 N_0 D^\mu \exp(-\Lambda D) dD$$

$$Z = N_0 \frac{\Gamma(7 + \mu)}{\Lambda^{7 + \mu}}$$



Comparison between radar and DSD



Result

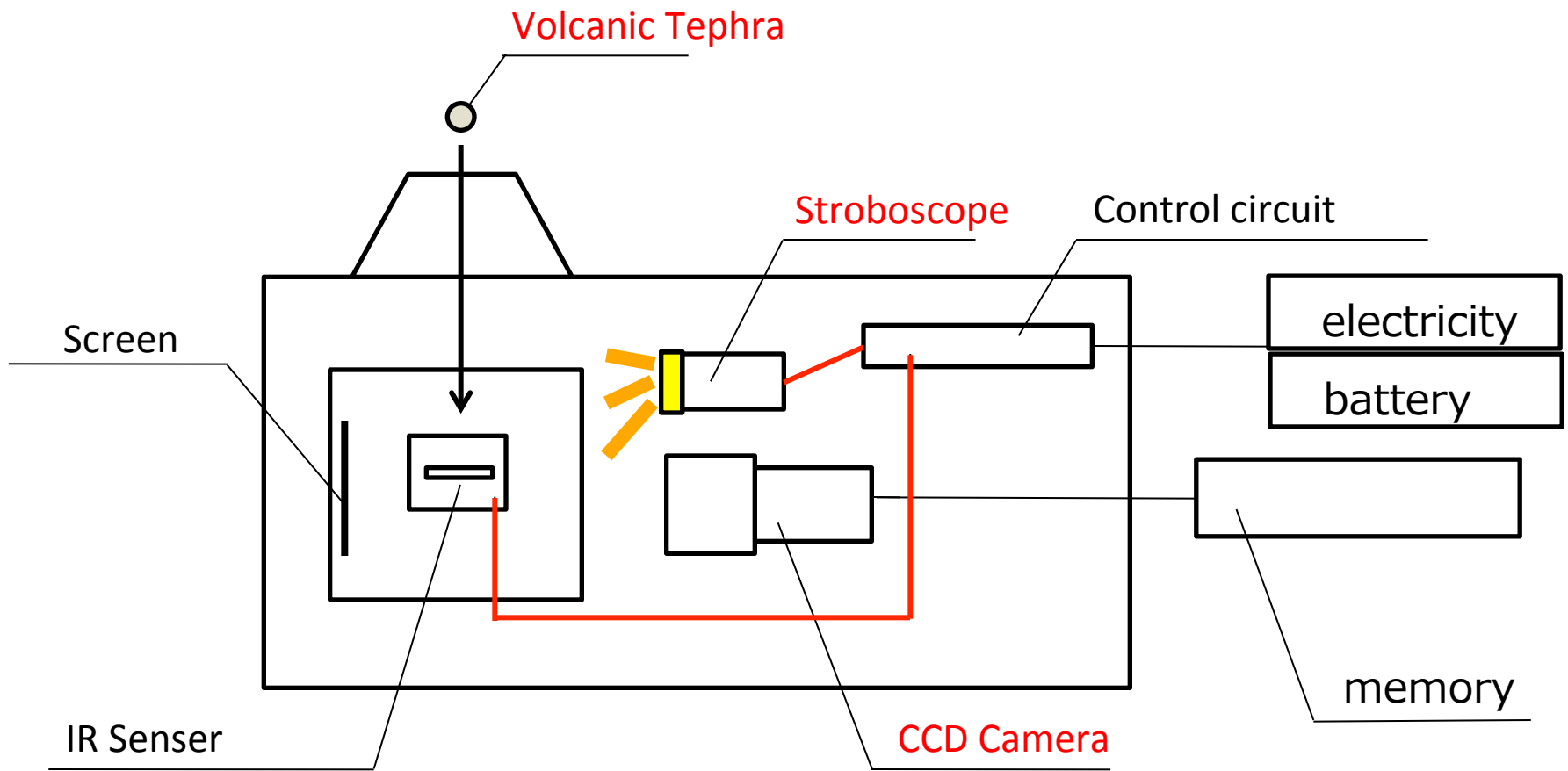
One date was detected both radar and video drop size detector [alt: 377m, 15:01]

Radar observed Z : 18.45 [dBZ]

Z calculated from DSD : 15.01 [dBZ], 18.07 [dBZ]

Thank you for your attention

Video Drop Size Detector to measure DSD



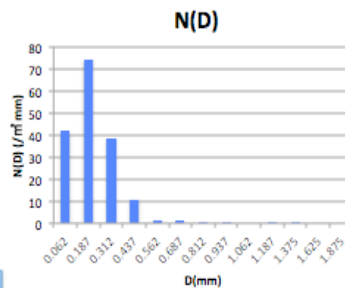
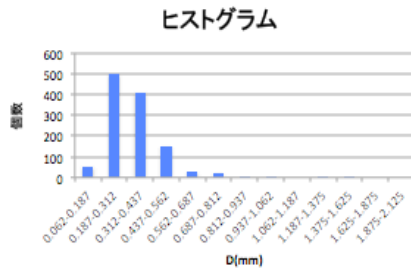
地上観測値の算出方法

地上観測によって得られたノンパラメトリックに粒径分布算出したデータを質量補正後にレーダー反射因子へ変換

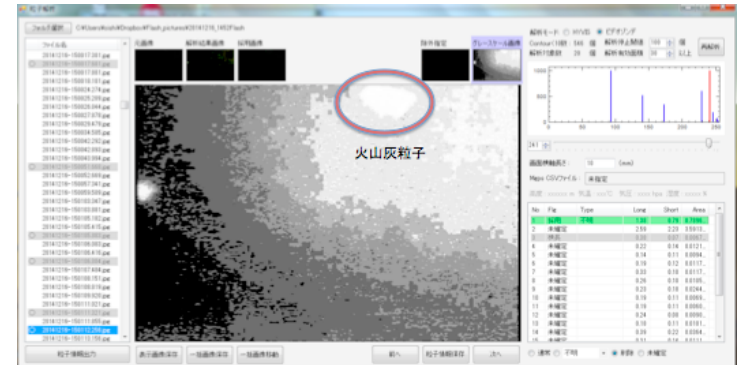
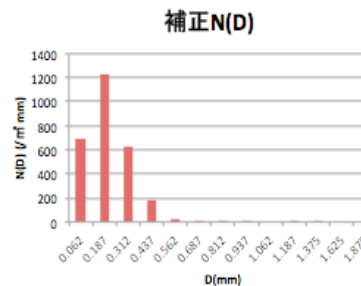
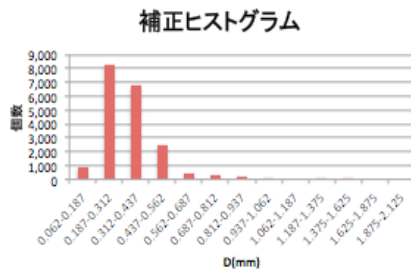
表 2014年12月16日14時52分 桜島爆発(火口上800m)時の観測データ

採取した火山灰の質量(g)	1.068
ビデオゾンデ粒子により算出した火山灰の質量(g)	0.065

フラッシュ画像の枚数	1597
粒子が映っている画像の枚数	862
粒子が映っていない画像の枚数	735
捕捉された粒子数	1171

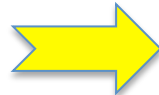


質量補正



(粒子解析の様子)

$$Z \equiv \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^6 N(D) dD$$



これによって算出されたレーダー反射因子と観測地点直上のレーダーでの反射因子を比較

地上観測値の算出方法

- ノンパラメトリック
- パラメトリック

地上観測値の算出方法

- ノンパラメトリック

地上粒径分布観測との比較

国交省レーダーとビデオゾンデの比較結果

国交省レーダーでは
観測地点上空で観測されたのは
15時01分の高度377mの一瞬のみ

→ 12.75(dBZ) $Z \equiv \int_{D_{min}}^{D_{max}} D^6 N(D) dD$

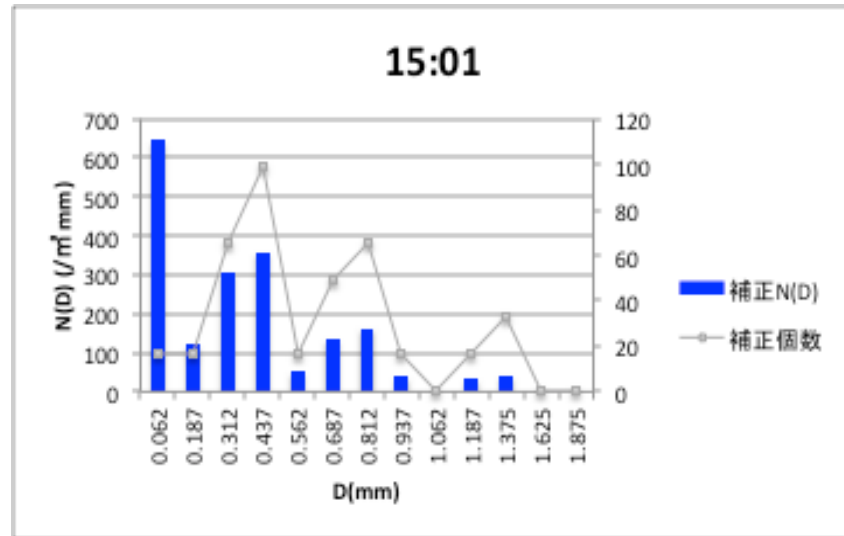
等価レーダー反射因子

$$Z_i = \frac{|K_i|^2}{|K_w|^2} Z_e$$

Z_e : 水に対するレーダー反射因子

Z_i : 火山灰に対するレーダー反射因子

$$Z_i = 3.72 Z_e$$

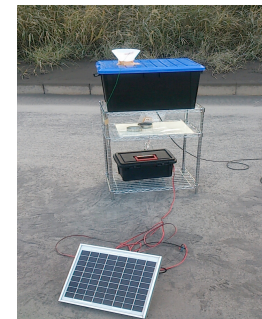


1分間の粒径分布から質量補正
して算出したレーダー反射因子

18.4(dBZ)



18.7(dBZ)



地上観測値の算出方法

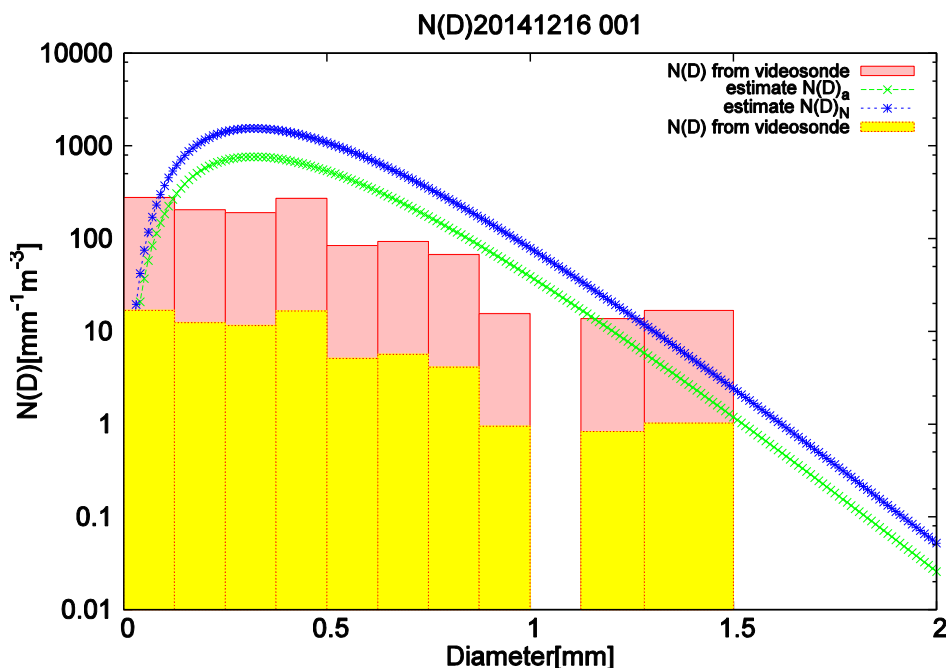
- パラメトリック

地上計測粒径分布からモデルを通す
→分級過程などを考慮できる

粒径分布の算出方法

粒径分布 $N(D)$ は火山礫の粒径クラスごとの個数から算出

単位体積あたりに存在する粒子の個数を示す。



たまたま捉えられなかった粒子
たまたま多く捉えられた粒子
不確実性の影響を受ける

離散型粒径分布

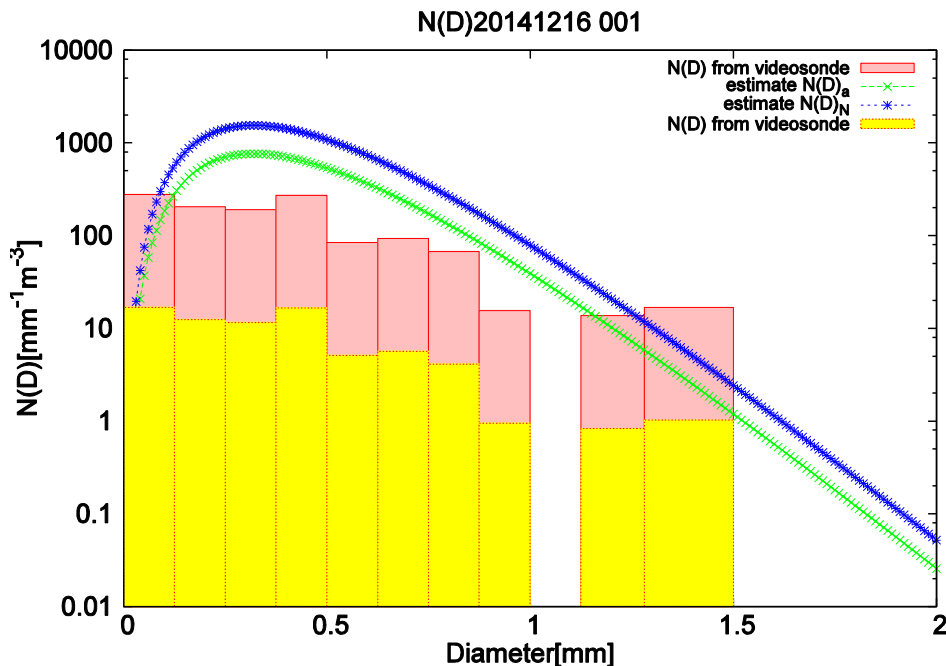


連続型粒径分布

粒径分布の算出方法

$$N(D) \\ = N_0 D^\mu \exp(-\Lambda D)$$

μ, Λ は粒径分布の形状
 N_0 は粒径分布の切片
を決定づけるパラメータ



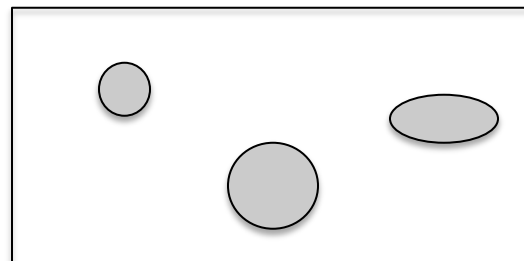
粒径分布の算出方法①



測定した質量

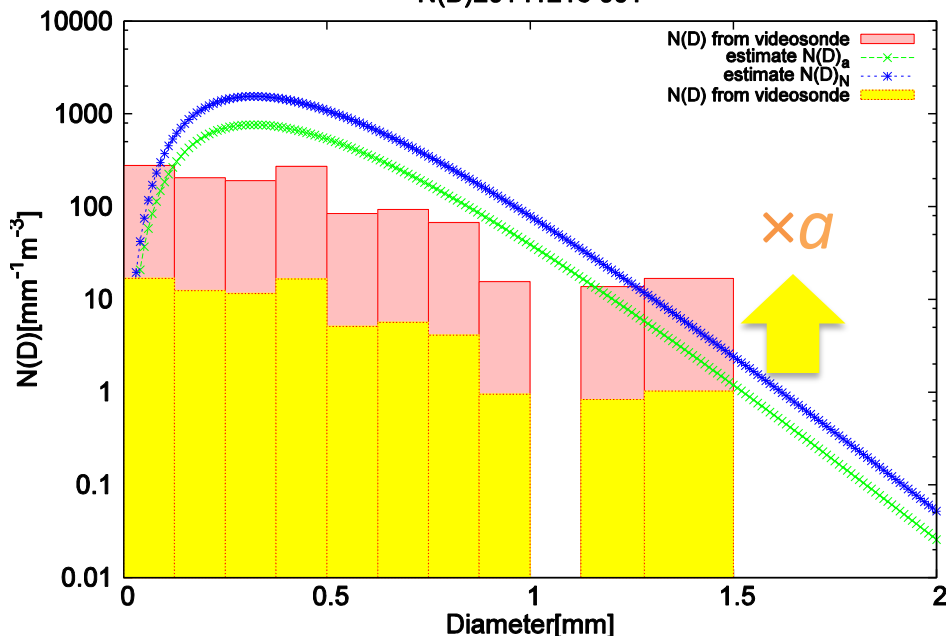


比較して粒子数を補正



粒子画像から質量を推定

N(D)20141216 001



シャーレの総質量 W_{obs} と推定質量 W_{est} の比 a

$$a = \frac{W_{obs}}{W_{est}}$$

粒子数に a を乗じたものから粒径分布を算出

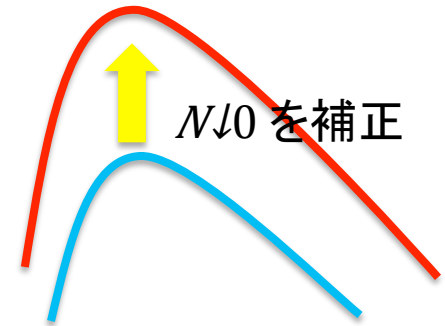
粒径分布の算出方法②



単位面積当たりの質量
=測定した質量/捕捉面積



N/D_0 を補正



粒径分布から単位面積
当たりの質量を推定

粒径分布の3次のモーメントは全粒子の体積を表し、密度・落下速度を乗じると単位時間・単位面積当たりの質量

$$W'_{para} = \frac{\pi \rho_{ash}}{6} T \times 10^{-9} \int_0^{\infty} N_0 D^{\mu} \exp(-\Lambda D) D^3 v_{ash}(D) dD$$

粒径分布の形状(μ , Λ)は等しいと仮定

シャーレの質量を捕捉面積で割ることで単位面積当たりの質量

$$W'_{obs} = W'_{para}$$

粒径分布の算出方法

算出方法①

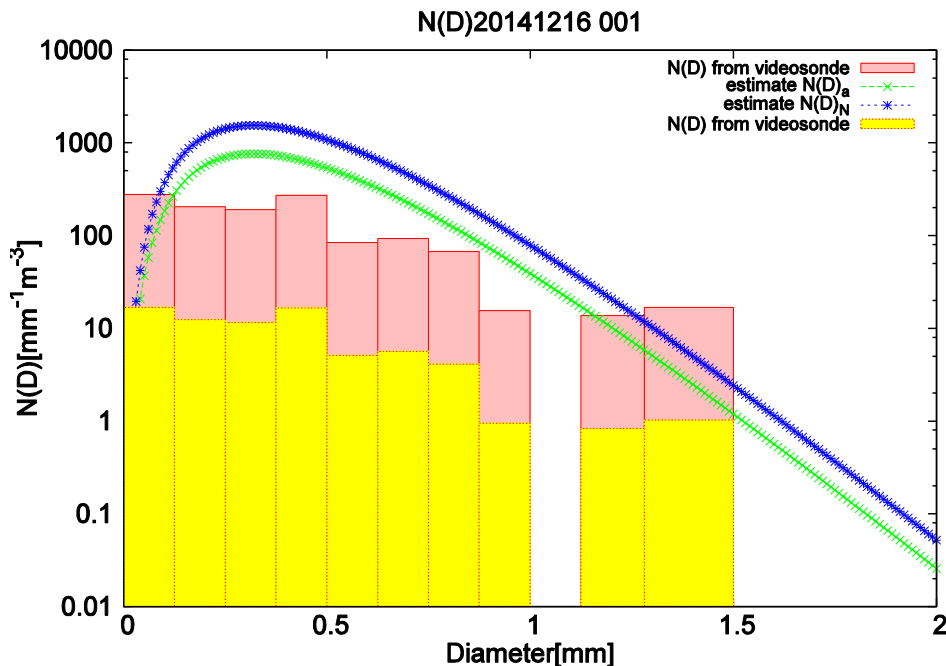
粒子数を補正する方法

緑

算出方法②

粒径分布の形状から補正する方法

青



レーダー反射因子算出

レーダー反射因子の算出方法

粒径分布: 離散型: 数値的

粒径分布: 連続型: 解析的

レーダー反射因子 $Z \equiv \int_0^{\infty} D^6 N_0 D^{\mu} \exp(-\Lambda D) dD$

$$Z = N_0 \frac{\Gamma(7 + \mu)}{\Lambda^{7+\mu}}$$

算出したレーダー反射因子 vs. 実際にレーダー観測で得られたレーダー反射因子を比較

その他の偏波パラメータ: 今後すぐ

レーダーデータとの比較

ビデオゾンデで地上観測している直上で観測された
レーダーデータと比較を行う

レーダー反射因子

上空

比較

地上

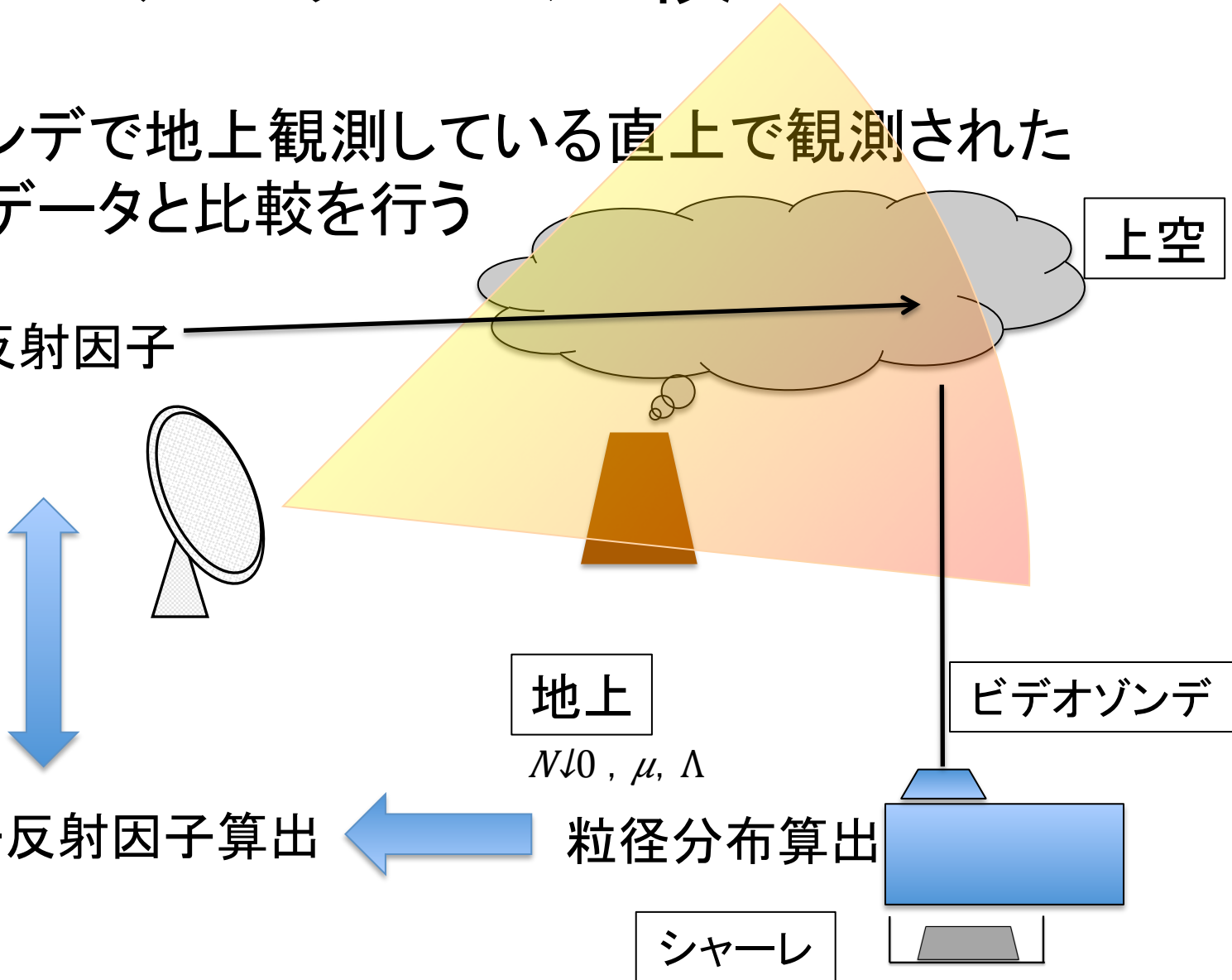
N_{10}, μ, Λ

ビデオゾンデ

レーダー反射因子算出

粒径分布算出

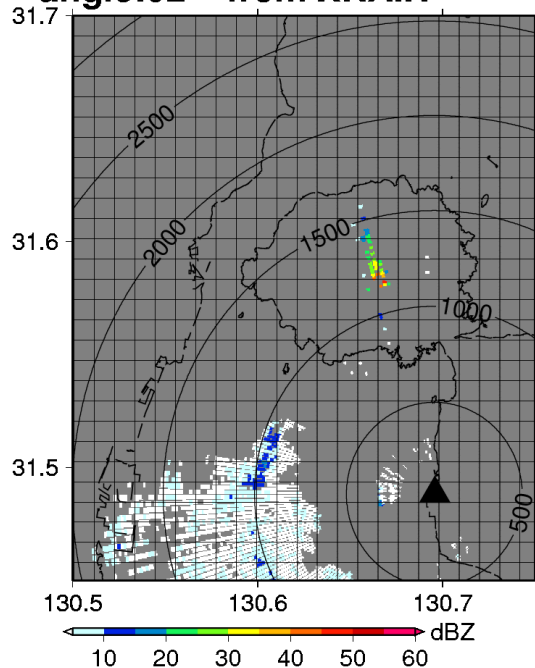
シャーレ



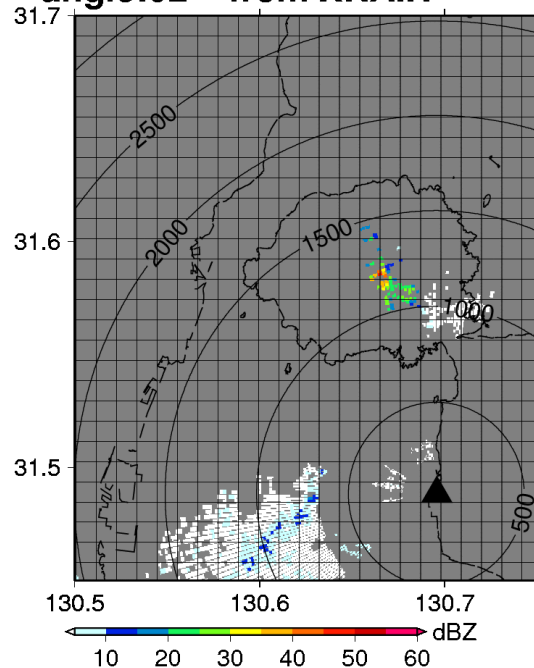
比較する事例

レーダー観測でエコーが捉えられていた12月16日

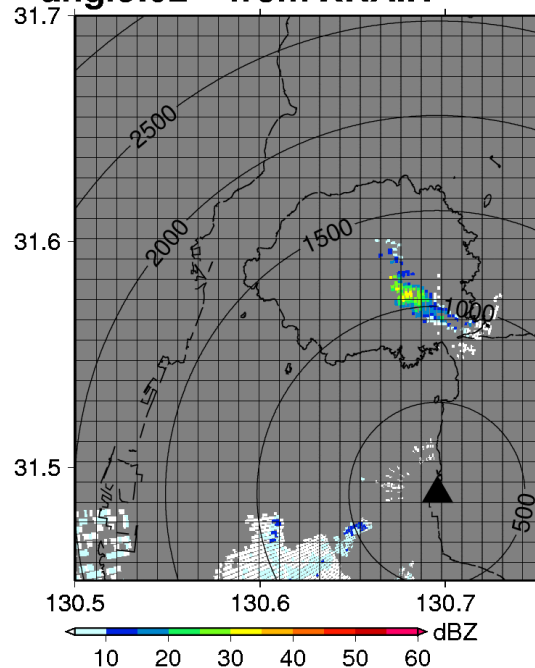
Zhh 20141216 14:54 JST
angle:02 from XRAIN



Zhh 20141216 14:56 JST
angle:02 from XRAIN



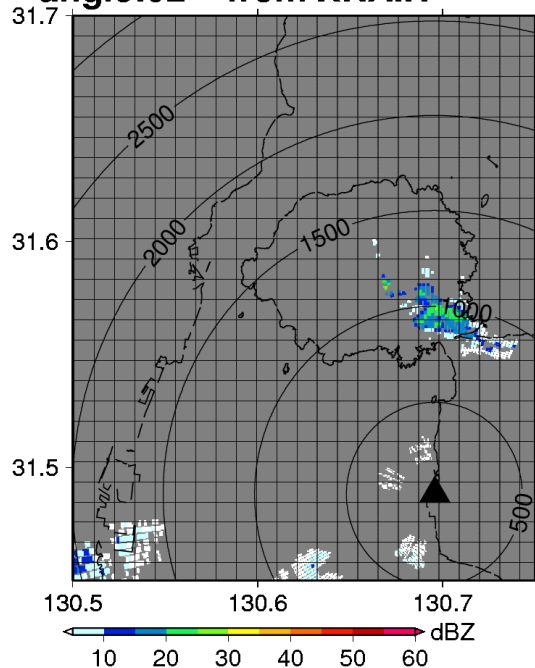
Zhh 20141216 14:58 JST
angle:02 from XRAIN



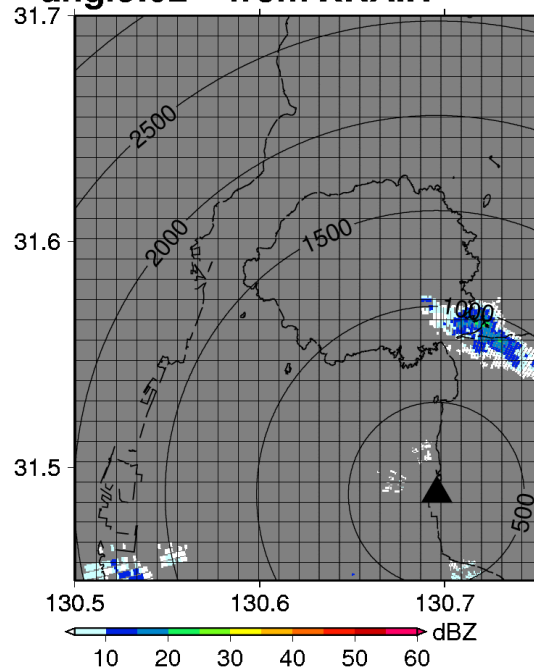
比較する事例

レーダー観測でエコーが捉えられていた12月16日

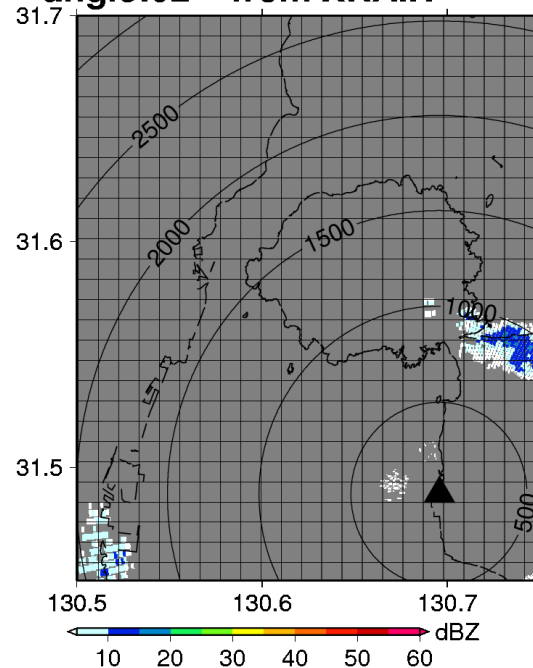
Zhh 20141216 15:00 JST
angle:02 from XRAIN



Zhh 20141216 15:02 JST
angle:02 from XRAIN



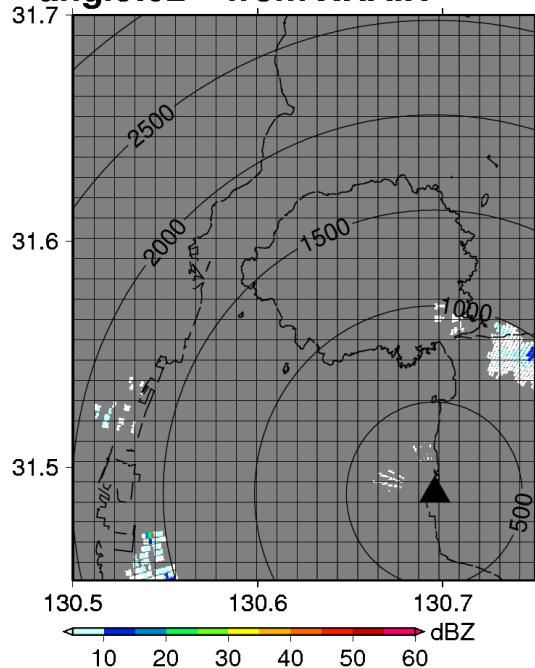
Zhh 20141216 15:04 JST
angle:02 from XRAIN



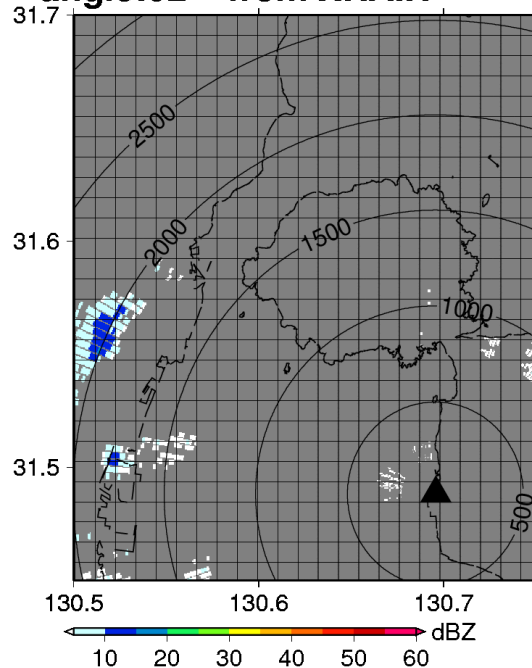
比較する事例

レーダー観測でエコーが捉えられていた12月16日

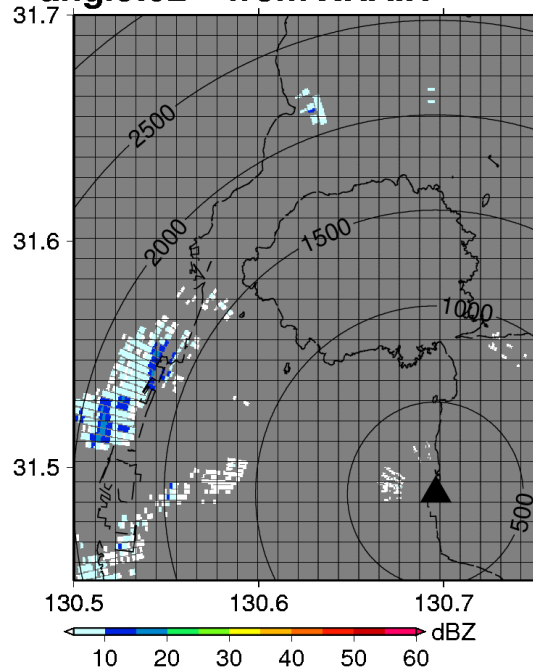
Zhh 20141216 15:06 JST
angle:02 from XRAIN



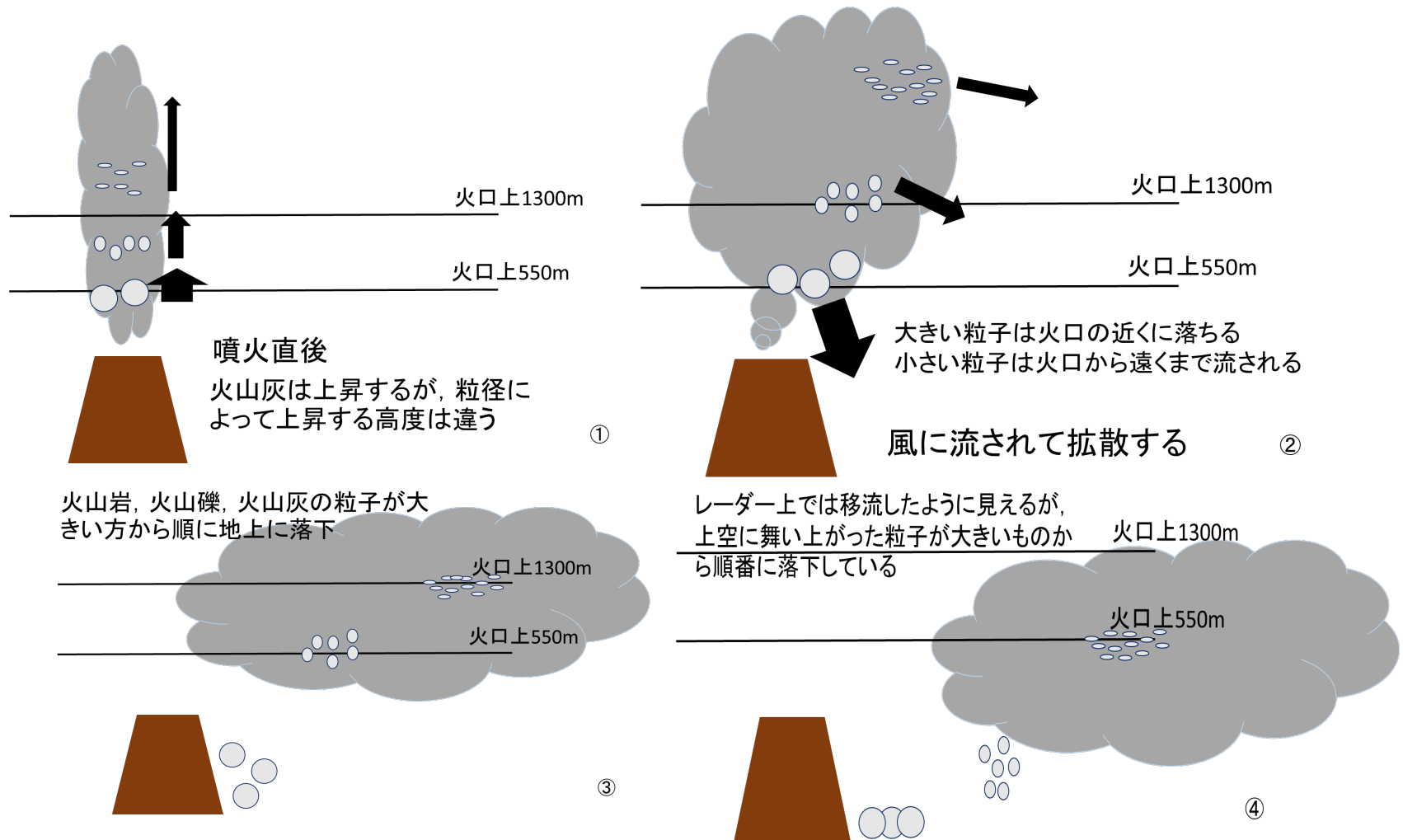
Zhh 20141216 15:08 JST
angle:02 from XRAIN



Zhh 20141216 15:10 JST
angle:02 from XRAIN



レーダー観測のイメージ (落下する火山礫を捉えている)



結果とまとめ

ビデオゾンデ観測を行った直上でレーダーエコーが捉えられたものは15:01の上空377mのレーダーデータのみ

レーダー観測で得られたレーダー反射因子:

18.45[dBZ]

地上観測で得られたZ: 15.01[dBZ], 18.07[dBZ]

堆積量推定方法

レーダーで捉えられている火山礫の粒径分布と、**同時刻**の地上で観測している粒径分布が**同じ形状**と仮定

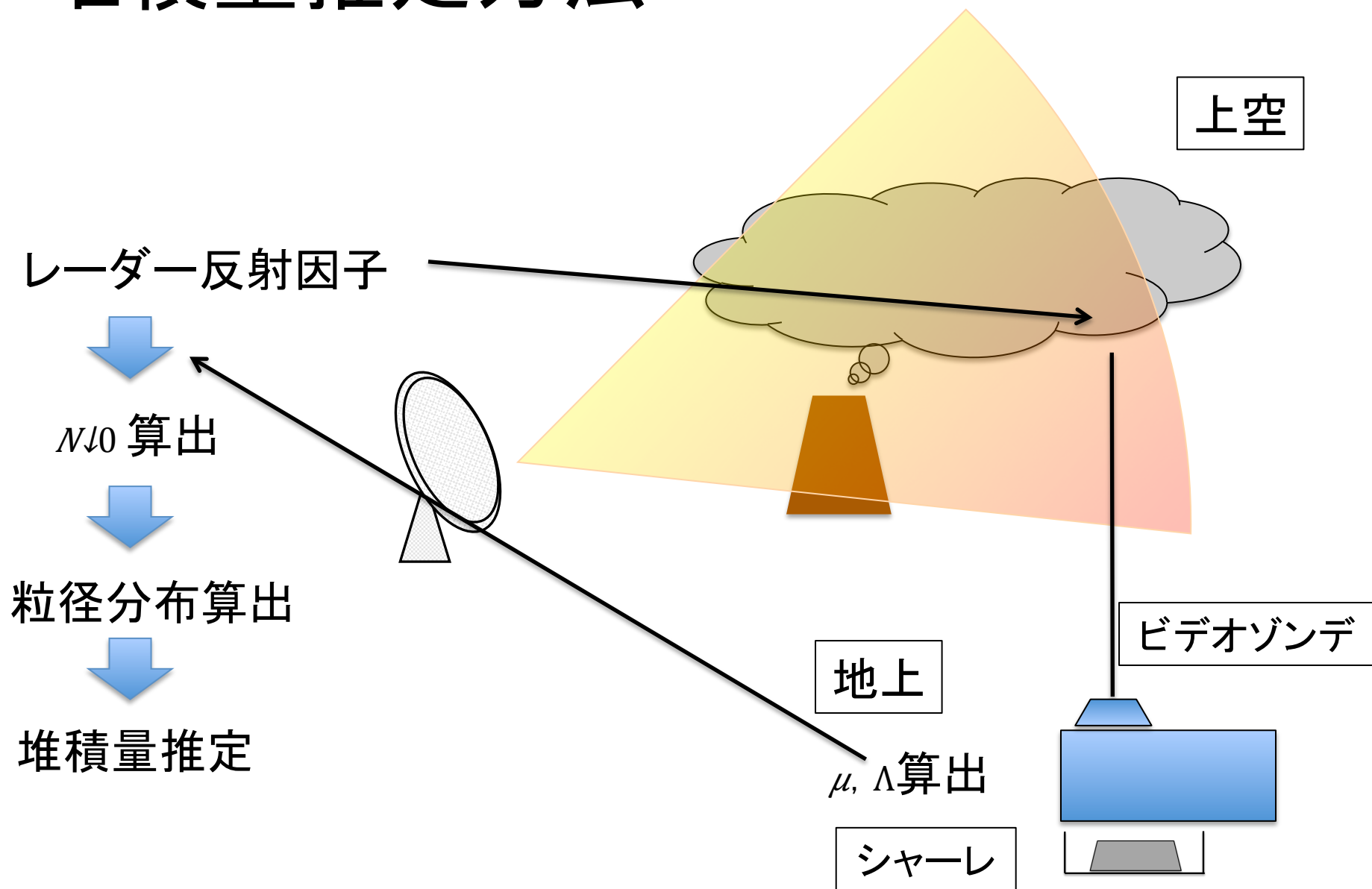
粒径分布のパラメータ N_0 を算出

算出した粒径分布から堆積量 C_{ash} (降灰量)を推定

$$C'_a = \sum_{i=1}^n \frac{\pi \rho_{\text{ash}}}{6} T \times 10^{-9} \int_0^{\infty} N_0 D^\mu \exp(-\Lambda D) D^3 v_{\text{ash}}(D) dD$$

レーダー観測されたパラメータは瞬間値なので積算することによって求める(2分間は同じ降灰量とする)

堆積量推定方法



結果とまとめ

ビデオゾンデ観測を行った直上でレーダーエコーが捉えられたものは15:01の上空377mのレーダーデータのみ

シャーレから得られた堆積量:15.02 [g/m²]

推定した堆積量:40.00 [g/m²]

単位時間を2分間
2分間で降灰の状況は変化



過大評価された

結論

- 火山礫の粒径分布観測の観測体制を構築した
- 実際に火山礫の降灰する粒径分布を明らかにした
- レーダー観測とビデオゾンデ観測から得られた偏波パラメータ比較手法を構築した
- レーダーデータを粒径分布のデータでキャリブレーションを行い、堆積量推定の手法を構築した

今後の課題

- レーダー観測時, 高い高度で捉えた同じ火山礫が落下し低い高度で複数回観測する可能性がある→単純に積算するだけでは過大評価してしまう.
 - 高度別の時間が異なるレーダーデータで相関があるのかを検証
- 降灰状況は短時間で変化する
 - 堆積量推定を多くの事例で検証することで, 単位時間と堆積量との関係性を明らかにする

達成状況など

- 達成状況 レーダー設置：90%～100%
- 達成状況 観測体制：85%（WIFI，体制確立，財政的）

ご清聴ありがとうございました

TEPRHA	Particle type	Particle size	Distance from the volcano vent	Residence time in the atmosphere
Ash	Fine ash	Less than 64 μm	Hundred to thousand kilometers	Day to month
	Coarse ash	From 64 μm to 532 μm	Ten to hundred kilometers	Day
Lapilli	Small lapilli	From 0.532 mm to 2.56 mm	Few to ten kilometers	Few minutes
	Large lapilli	From 2.56 mm to 32 mm	Hundred meters to few kilometers	Seconds to minutes
Blocks	Blocks and bombs	Greater than 32 mm	Ten to hundred meters	Tens of seconds

誘電率(真空=空気) $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^4 \text{ A}^2$

比誘電率 水:80.7 氷:93.9 石英:4.0

レーダー反射率 $\eta = \pi r^5 / \lambda^4 \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} \frac{K}{r^2} \frac{1}{D^6} N(D) dD$

レーダ反射因子 $Z \equiv \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} \frac{1}{D^6} N(D) dD$

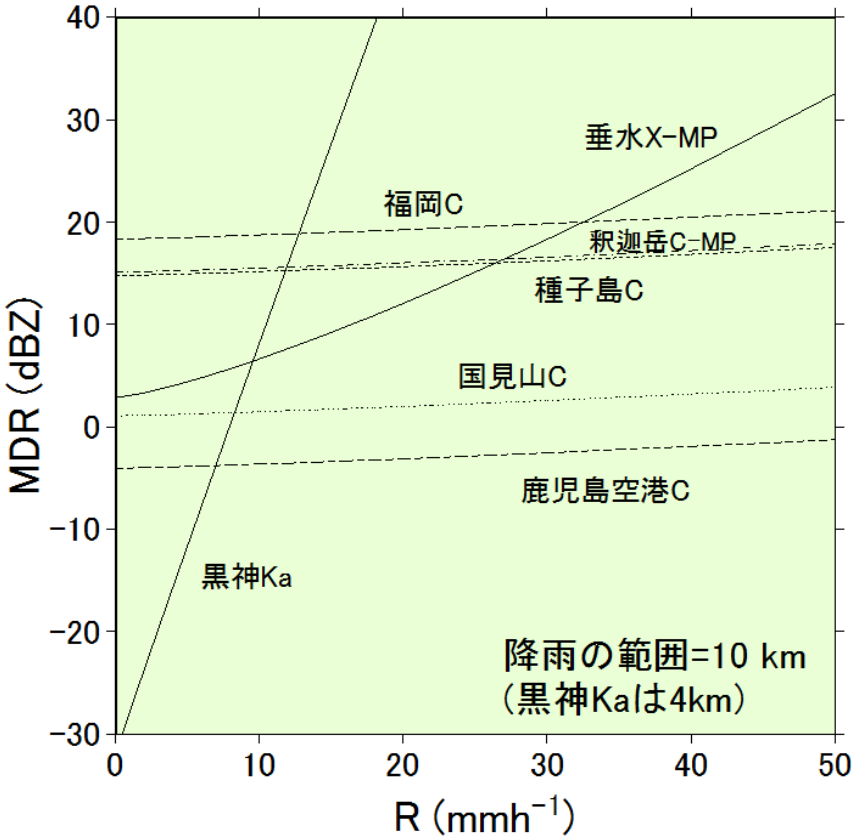
$$K = \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon + 2} \epsilon_0$$

$$K_{\text{water}} = \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon + 2} \epsilon_0 = 0.964$$

$$K_{\text{ash}} = \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon + 2 \epsilon_0} = 0.5$$

$$K_{\text{ice}} = 0.969$$

各レーダの検出可能な噴煙の最小反射強度



散乱シミュレーション結果のまとめ

1) 反射因子

CバンドおよびXバンドはミー散乱の影響は直径7mmまで無視できる
KUバンドは4mm以上で, Kaバンドは2mm以上でミー散乱の影響

2) 反射因子差

Cバンドで若干あり, Xバンドでは7mmで約1dB増加
Kuバンドで6mmまで1.5dB増加, Kaバンドは0.5mm以上で振動

3) 減衰係数

Cバンドでは無視できる。Xバンドでは4mmあたりから増加。
Kuバンドでは3mmから増加, Kaバンドでは2mmから振動をしながら増加

4) 偏波間位相差

Cバンドでは4mm以上で徐々に増加, 7mmで約0.4deg/km
Xバンドでは3mm以上で徐々に増加, 7mmで約1deg/km
Kuバンドでは2mm以上で単調増加, 7mmで約2deg/km
Kaバンドは振動

火山礫の粒径クラス分け

粒径クラス	小さい方の粒径	落下速度 (m / s)
1	0.062	0.157
2	0.187	0.932
3	0.312	1.562
4	0.437	2.032
5	0.562	2.412
6	0.687	2.737
7	0.812	3.025
8	0.937	3.286
9	1.062	3.526
10	1.187	3.750
11	1.375	4.062
12	1.625	4.442
13	1.875	4.790

火山礫の落下速度

$$V_{lt} = \sqrt{\frac{\rho_p g D^2}{9\eta a F^{-0.32} + \sqrt{81\eta^2 a^2 F^{-0.64} + 3/2}}}$$

$$\rho_p g D^3 \sqrt{1.07 - F}$$

F は火山灰・火山礫の形状因子であり火山灰の慣性軸の径を $a_1 > a_2 > a_3$ とする

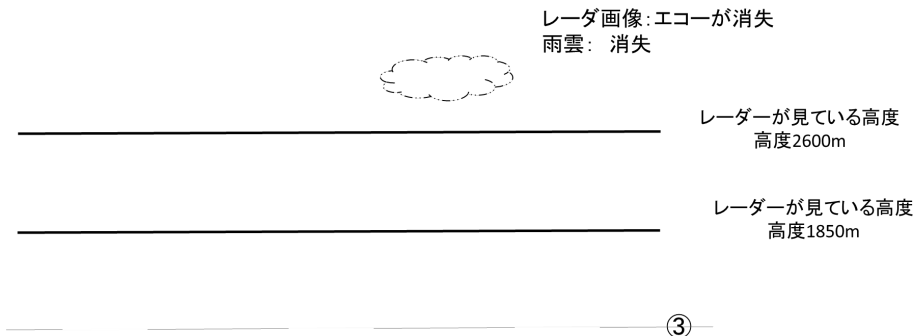
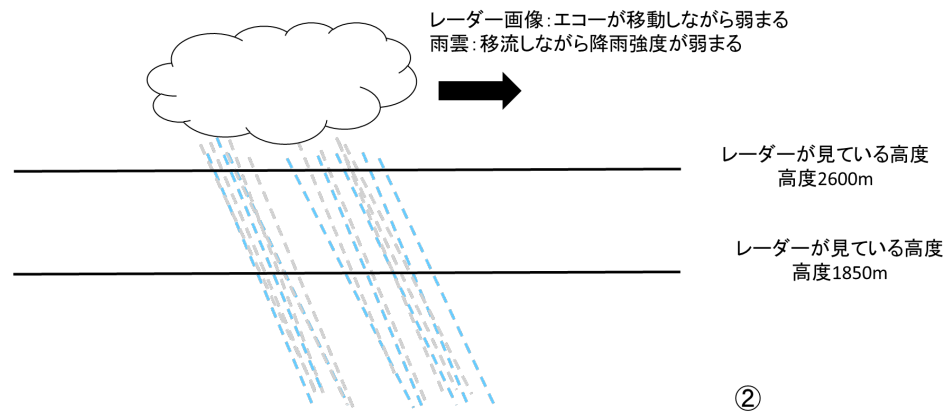
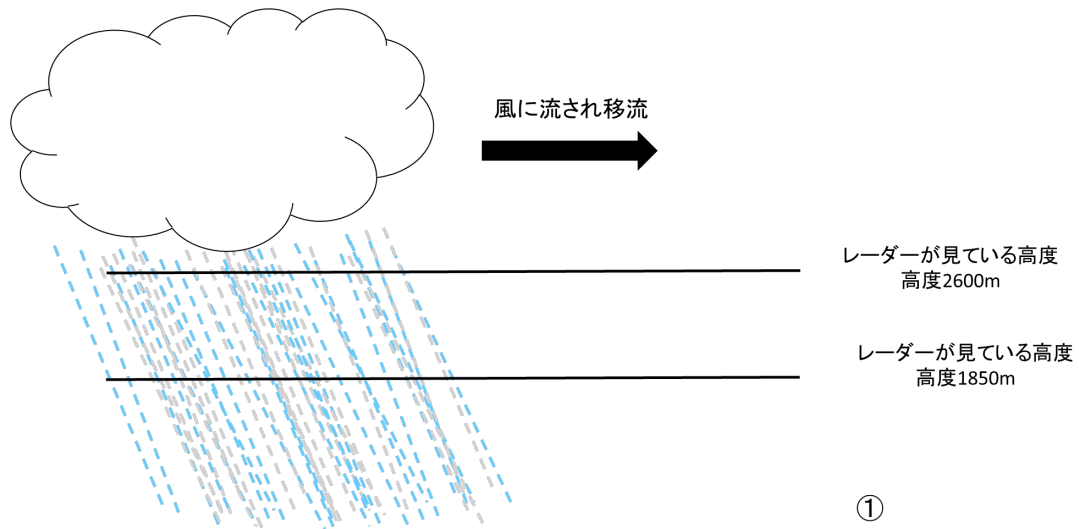
$$F \equiv (a_2 + a_3) / 2a_1$$

$$\frac{4}{3} \pi (D/2)^3 \rho_p g = \frac{1}{2} C_d a \rho_a \pi (D/2)^2 V_{lt}^2$$

C_d は空気の粘性抵抗であり，実験式 R_{le} はレイノルズ数で

$$C_d = \frac{24}{R_{le} F^{-0.32} + 2\sqrt{1.07 - F}}$$

$$R_{le} = \rho_a V_{lt} D / \eta_a$$



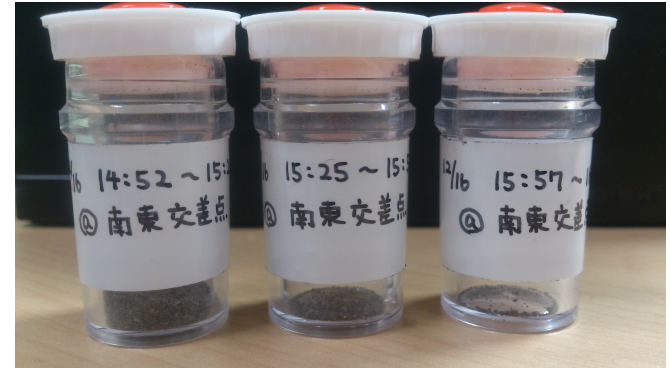
日時: 2014年12月16日14時52分(160552UTC) 第2報

現象: 爆発

有色噴煙: 火口上800m(海拔5300FT)

流向: 南東

観測時間: 44分



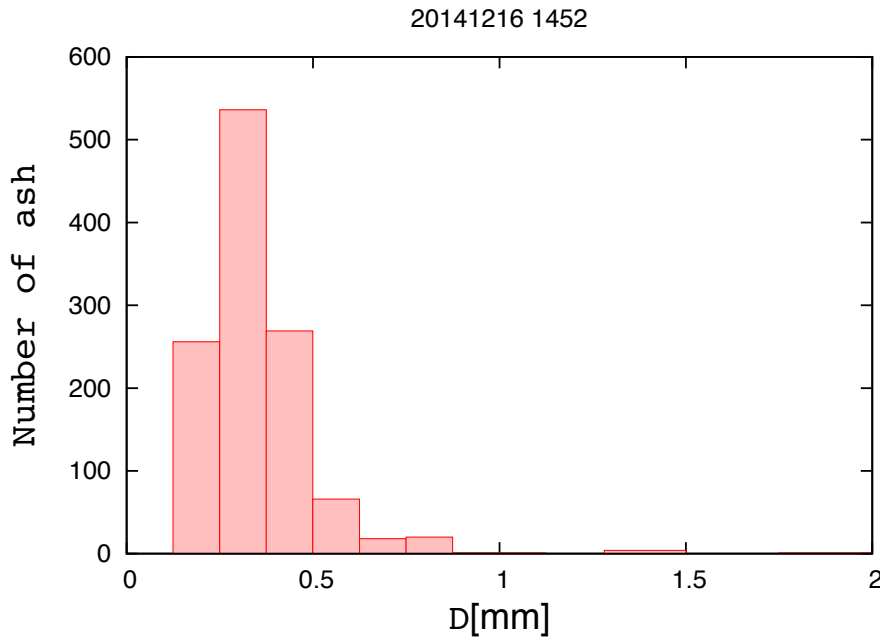
質量: 1.11g

ビデオゾンデから得られた粒径から計算した質量: 0.065g

フラッシュが焚かれた(粒子がビデオゾンデの穴に入った)回数: 1597回

粒子を捉えられている画像: 862枚

検出できた火山灰の粒子数: 1172個



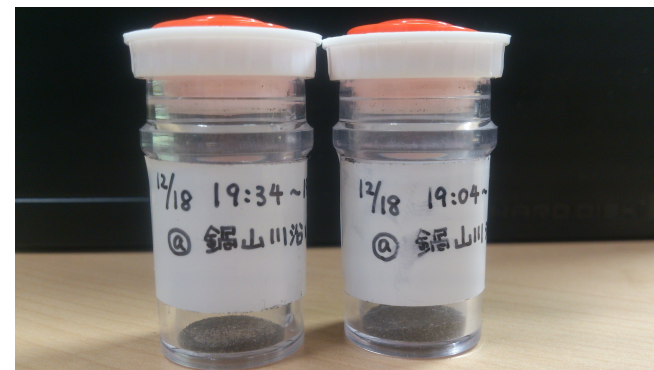
日時: 2014年12月18日18時45分(180945UTC) 第2報

現象: 爆発

有色噴煙: 火口上1500m(海拔7600FT)

流向: 南

観測時間: 47分



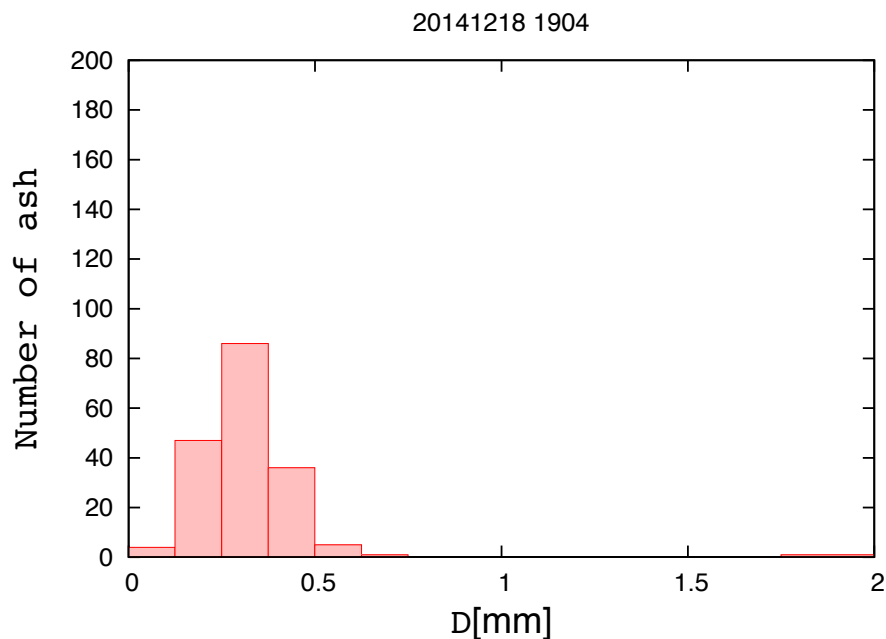
質量: 0.22g

ビデオゾンデから得られた粒径から計算した質量: 0.005g

フラッシュが焚かれた(粒子がビデオゾンデの穴に入った)回数: 607回

粒子を捉えられている画像: 171枚

検出できた火山灰の粒子数: 179個



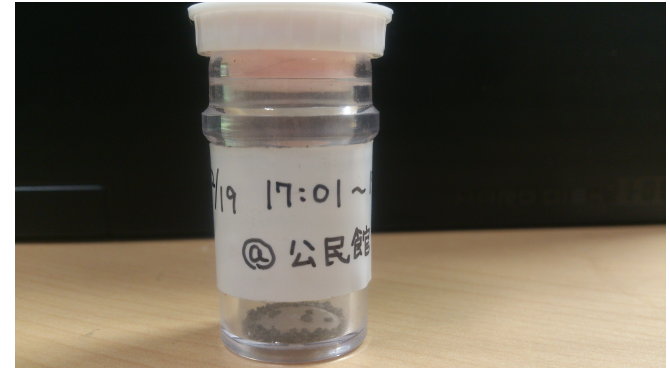
日時:2014年12月19日16時46分(190746UTC) 第2報

現象:爆発

有色噴煙:火口上1400m(海拔7300FT)

流向:北

観測時間:3分半



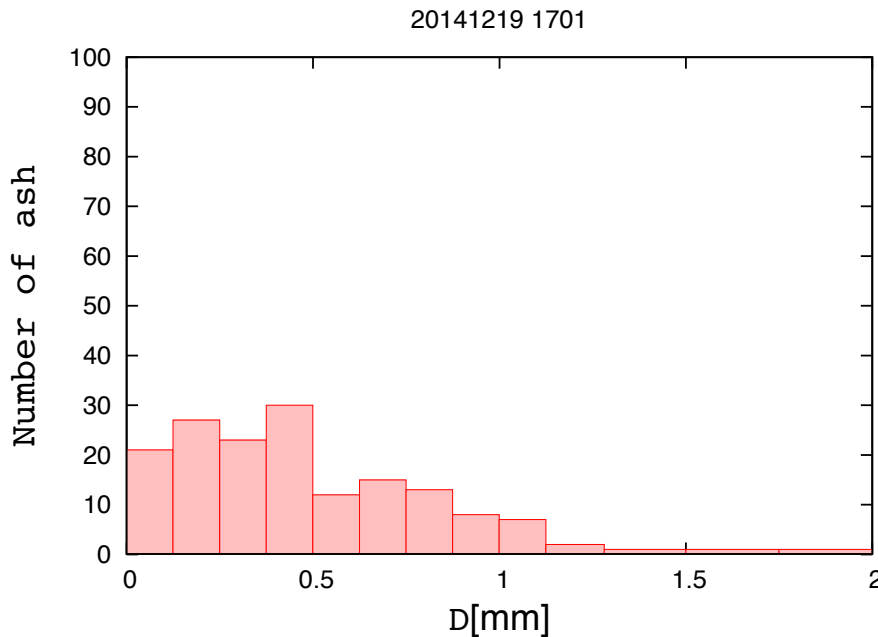
質量:0.077g

ビデオゾンデから得られた粒径から計算した質量:0.031g

フラッシュが焚かれた(粒子がビデオゾンデの穴に入った)回数:178回

粒子を捉えられている画像:104枚

検出できた火山灰の粒子数:160個



日時:2014年12月20日11時56分(200256UTC) 第2報

現象:爆発

有色噴煙:火口上1200m(海拔6600FT)

流向:南東

観測時間:30分



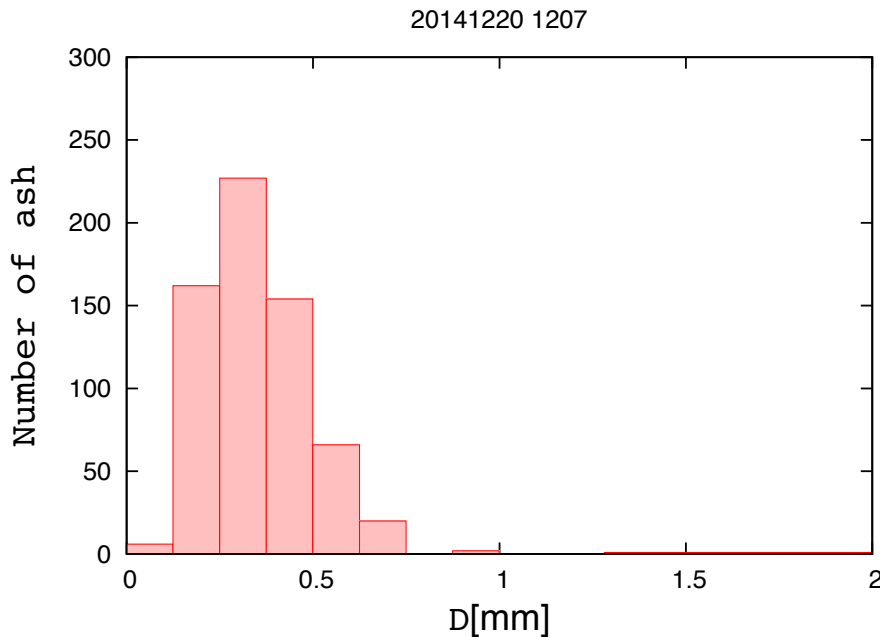
質量:0.574g

ビデオゾンデから得られた粒径から計算した質量:0.036g

フラッシュが焚かれた(粒子がビデオゾンデの穴に入った)回数:1364回

粒子を捉えられている画像:527枚

検出できた火山灰の粒子数:638個



粒子解析

フォルダ選択 C:\Users#masahiro#Dropbox#Flash_pictures#20141219_1701Flash

解析モード: HYVIS ビデオソフデ

Contour<10数: N/A 個 解析停止閾値: 100 個 再解析

解析対象数 12 個 解析有効面積 30 以上

元画像 解析結果画像 採用画像 除外指定 グレースケール画像

235

画面横軸長さ: 10 (mm)

Meps CSVファイル: 未指定

高度: xxxxxx m 気温: xxx°C 気圧: xxx hpa 湿度: xxxxx %

No	Flg	Type	Long	Short	Area
1	採用	不明	0.94	0.61	0.4502...

前へ 粒子情報保存 次へ 通常 不明 削除 未確定



基本的にはグレースケール画像を見て粒子があるかを判断している

元画像

観測の概要

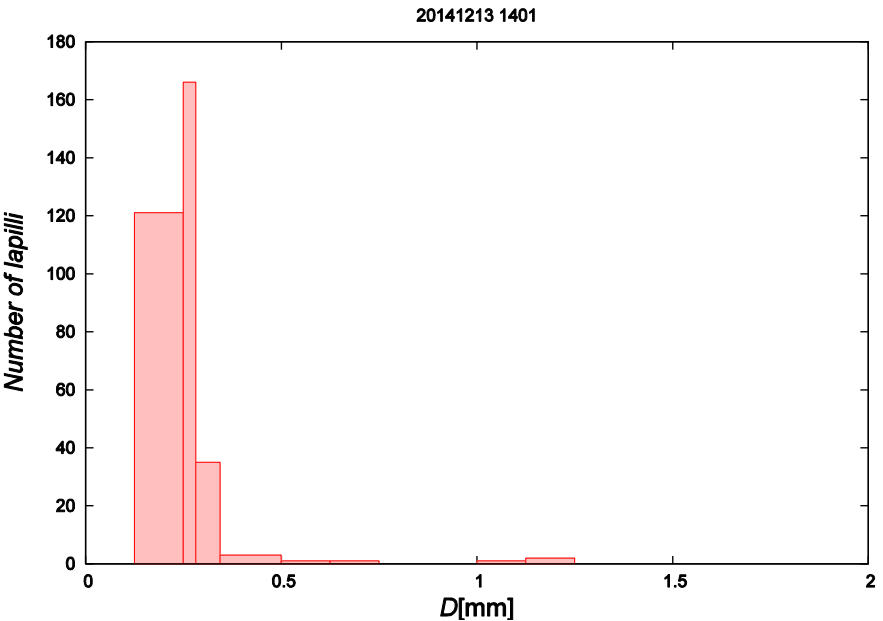
観測期間：12/12～12/21, 9/12～9/19



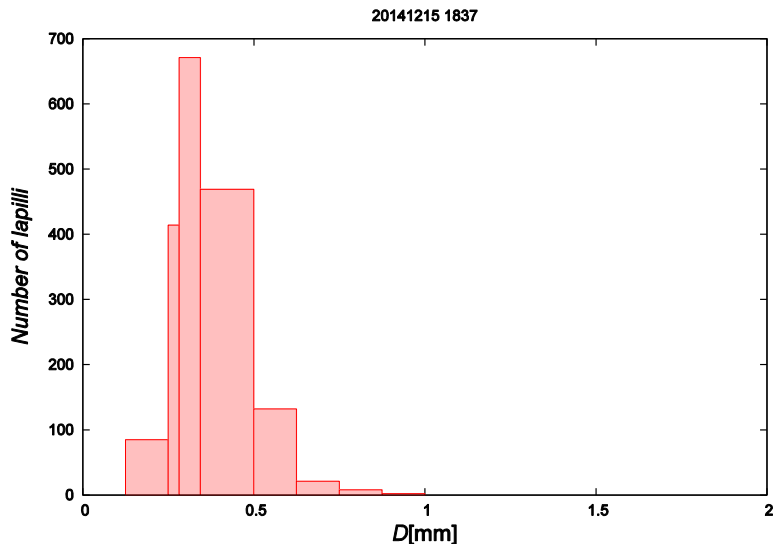
観測方法

1. 普段は桜島火山観測所(西)で待機
2. 膨張(噴火の前兆)を確認した後に風下に移動・待機
3. 噴火を確認してから火山灰のデータを収録

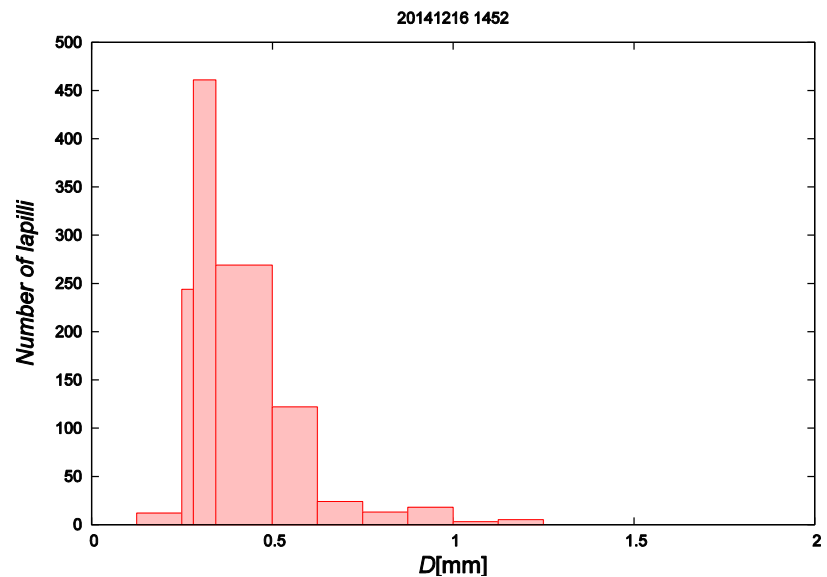
12月で観測時間中に得られた事例別に粒径クラスごとの粒子数を示す。



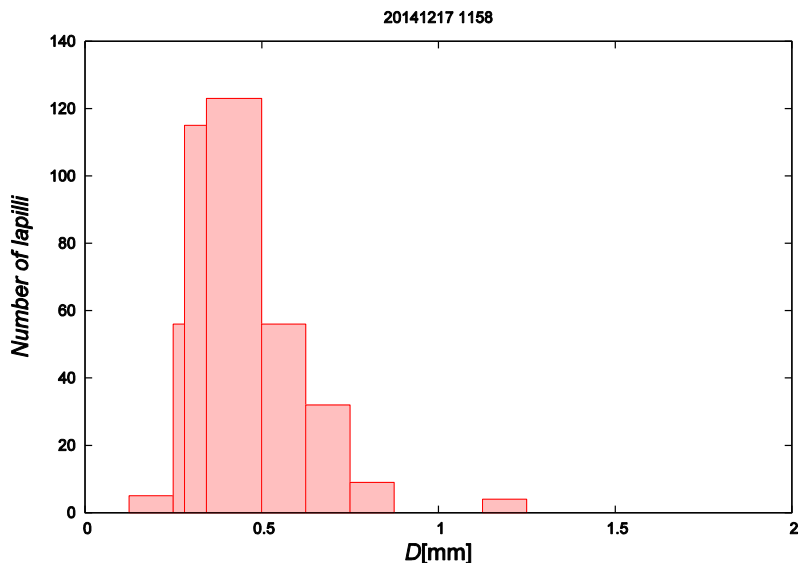
付図14 12月13日 14:01(37分間)



付図15 12月15日 18:37(53分間)

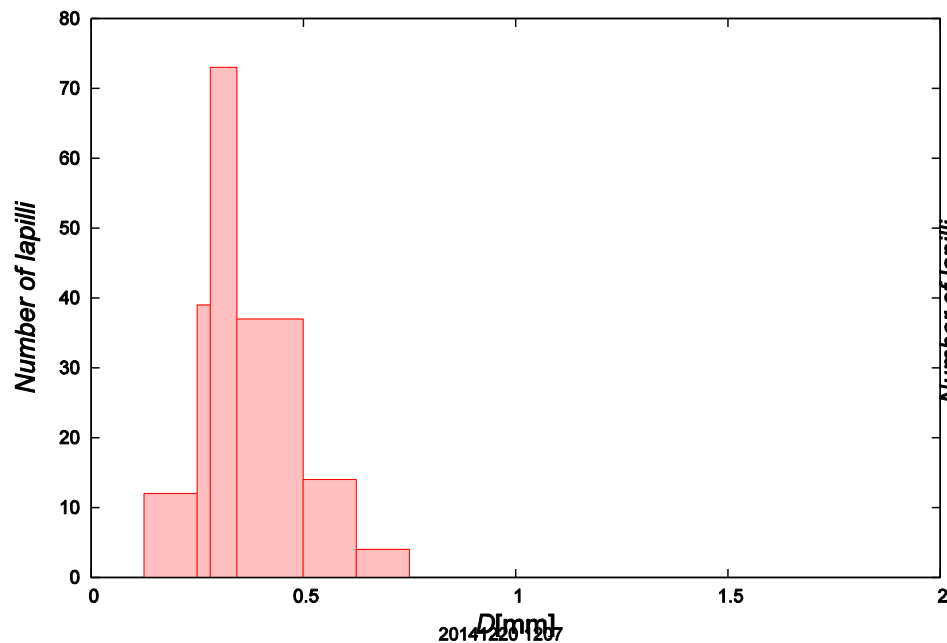


付図16 12月16日 14:52(44分間)

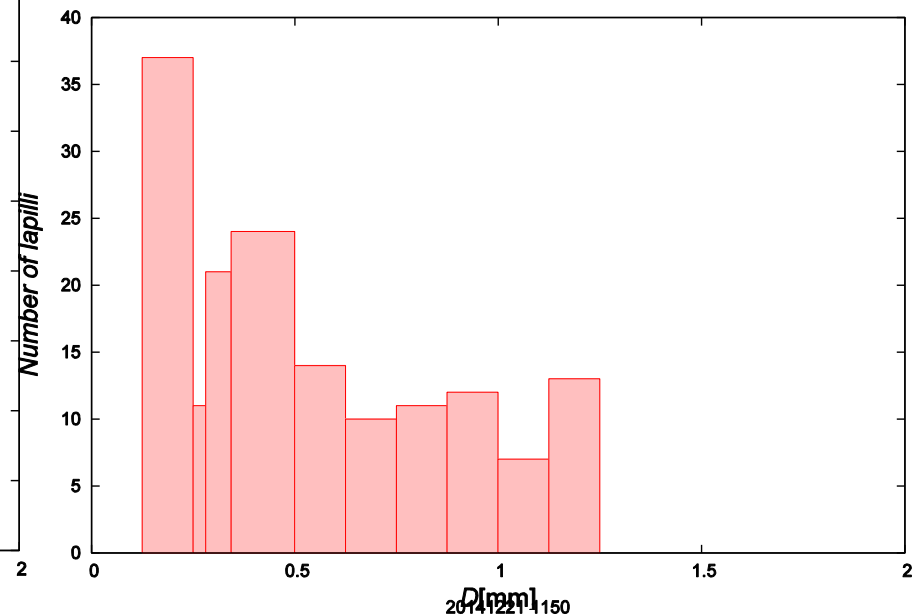


付図17 12月17日 11:58(31分間)

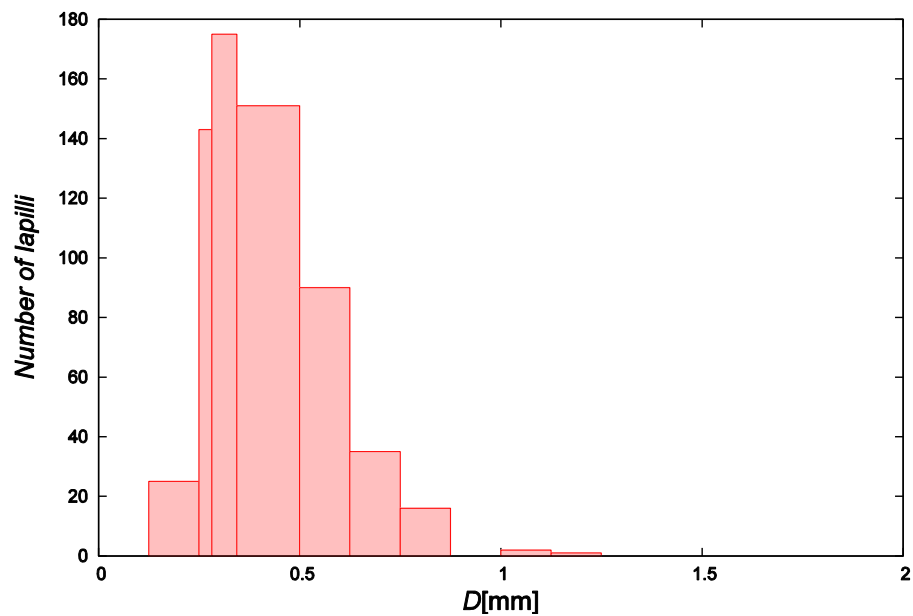
20141218 1904



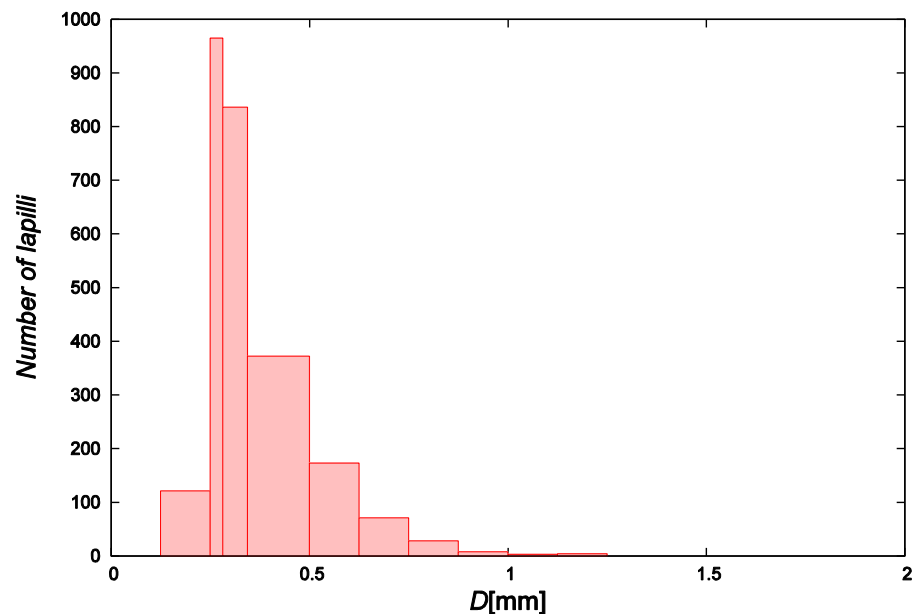
20141219 1701



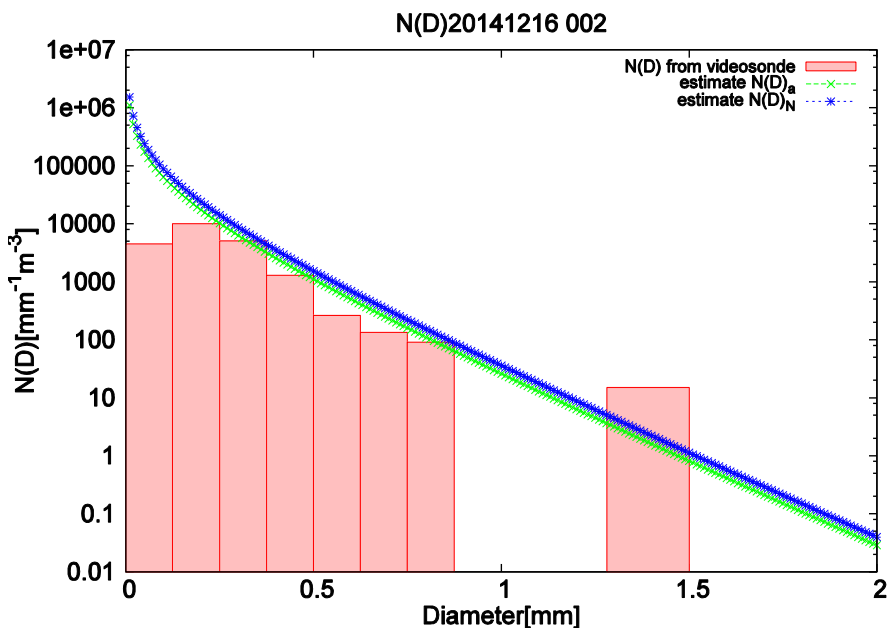
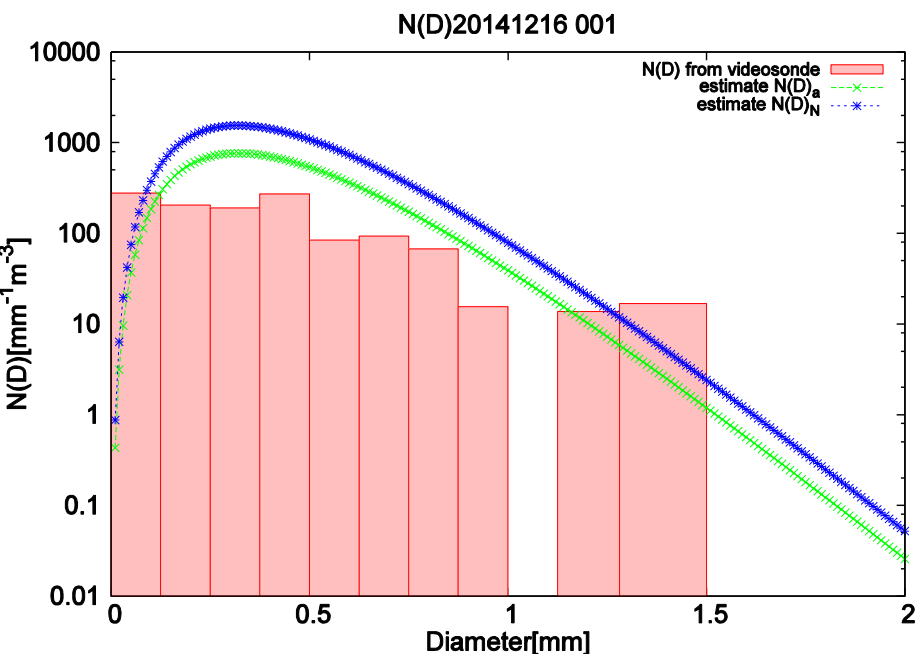
20141220 1207



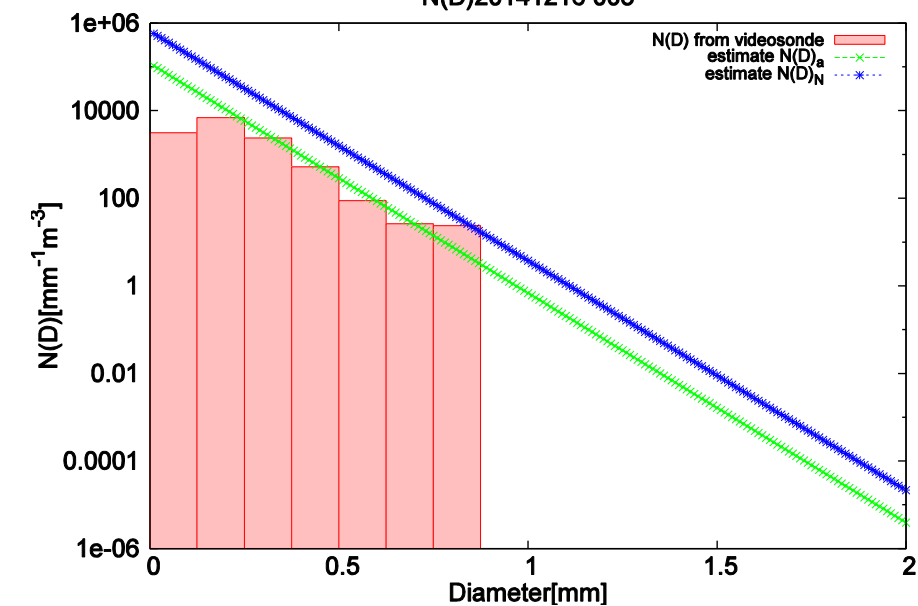
20141221 1150



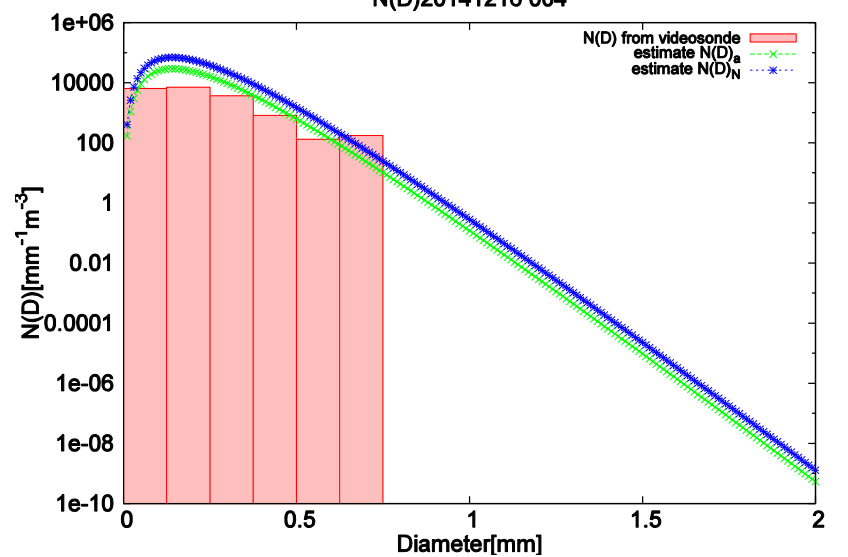
粒子数を補正する式(5.3.17)から得られた粒径分布 $N0a$ と粒径分布の形状と質量比較による式(5.3.22)から得られた粒径分布 $N0N$ を示す。

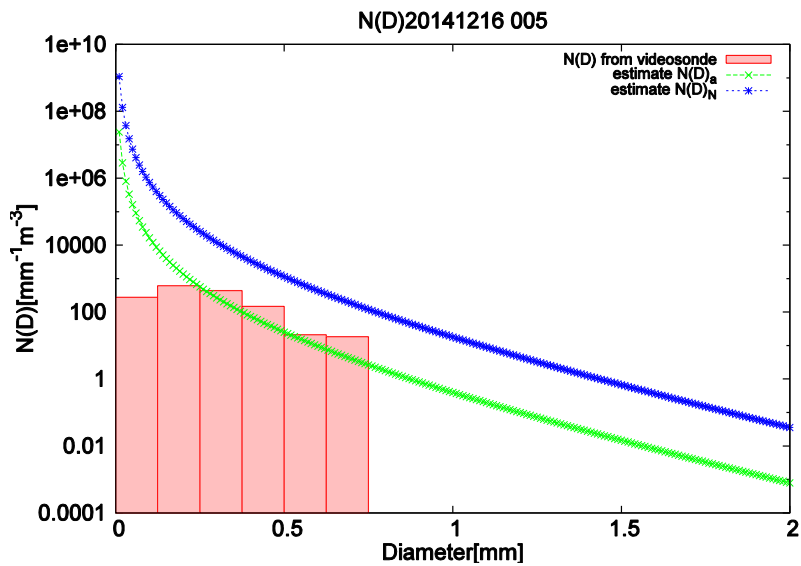


付図22 12月16日 15:00-15:02
N(D)20141216 003

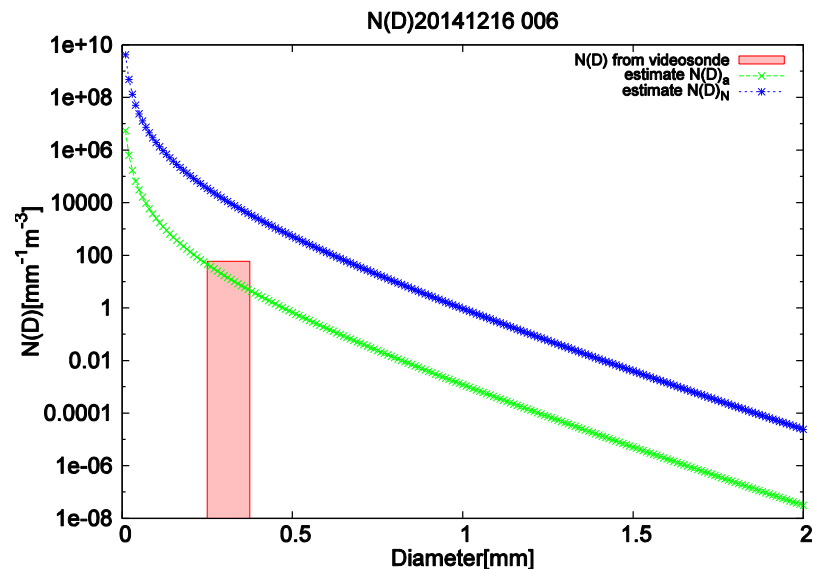


付図23 12月16日 15:02-15:04
N(D)20141216 004

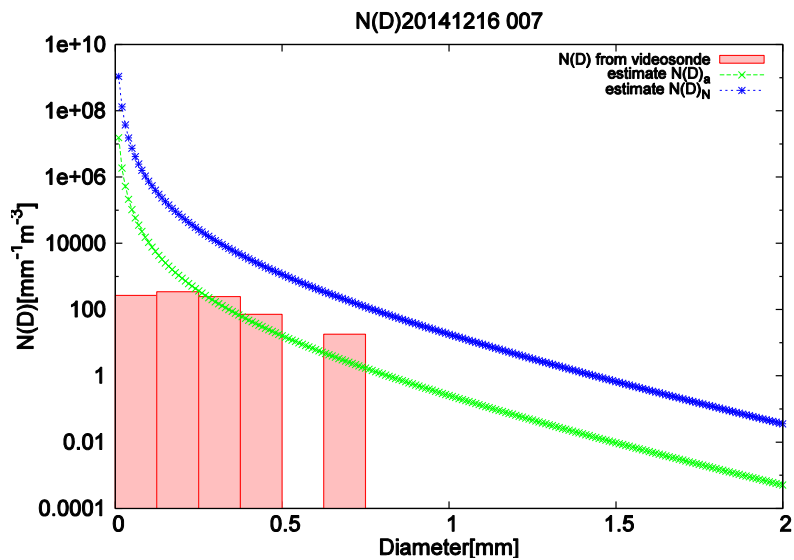




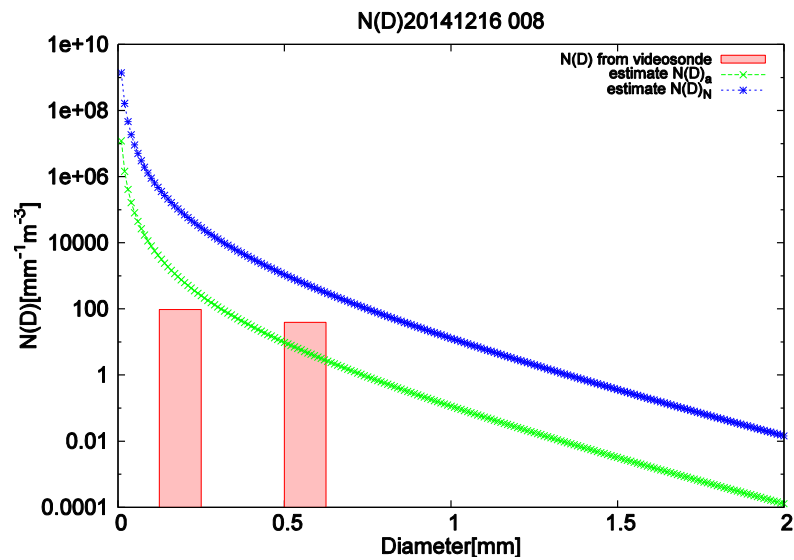
付図26 12月16日 15:08-15:10



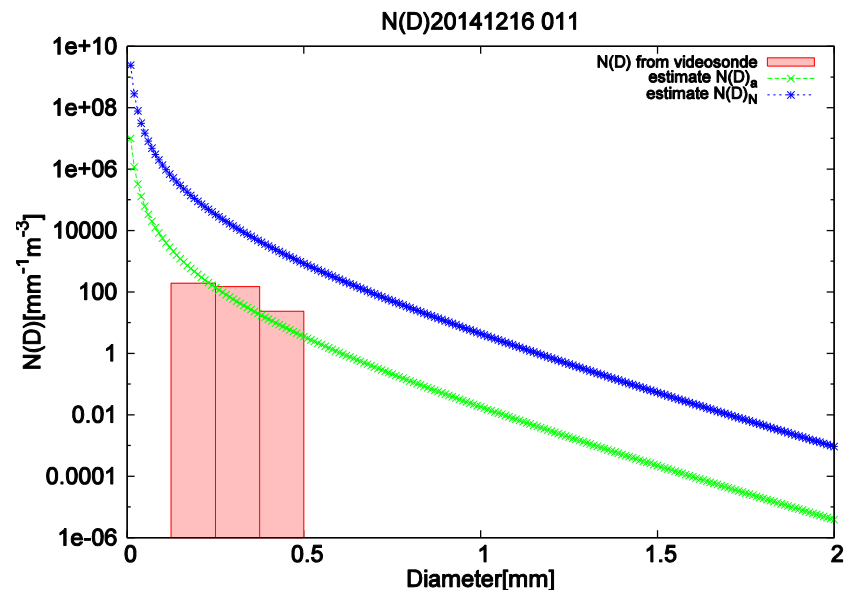
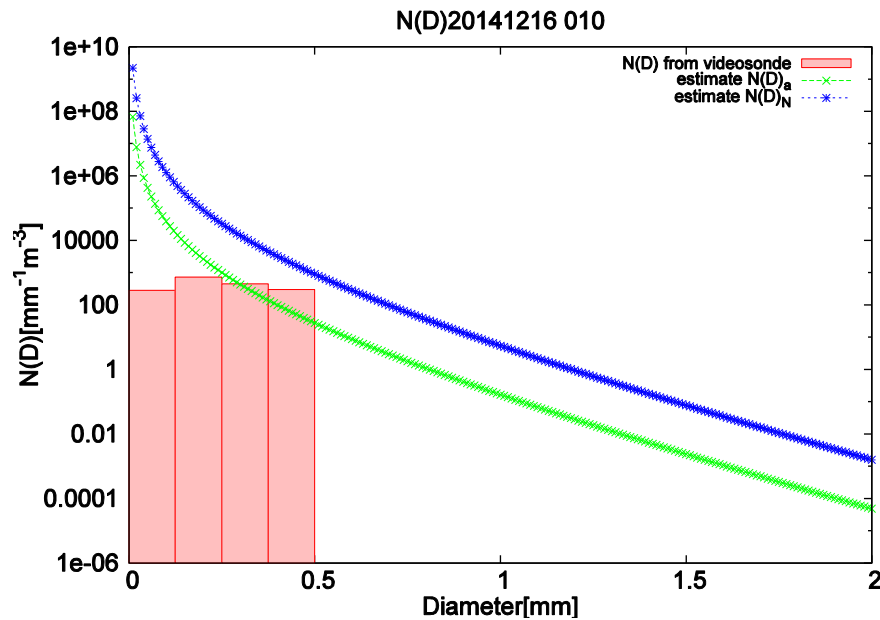
付図27 12月16日 15:10-15:12



付図28 12月16日 15:12-15:14

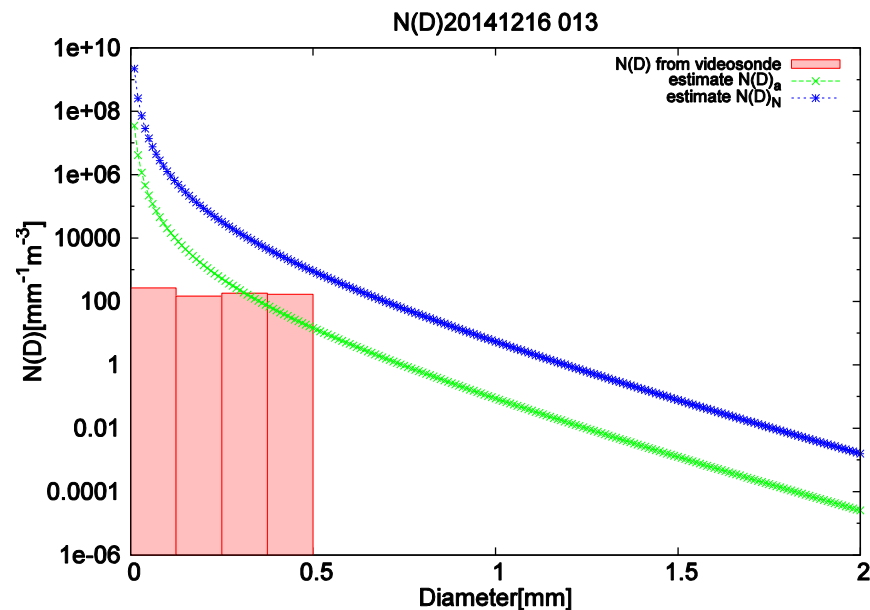
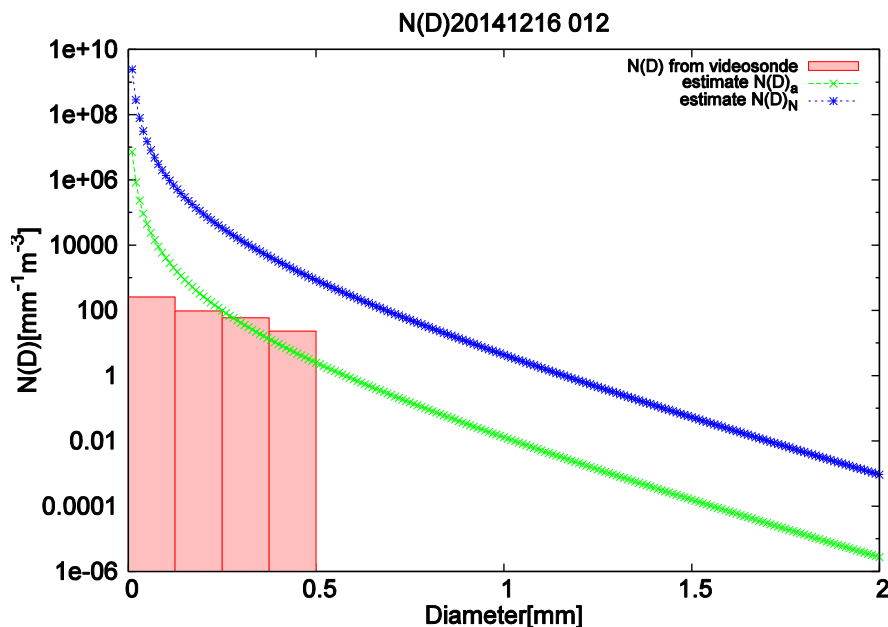


付図29 12月16日 15:14-15:16



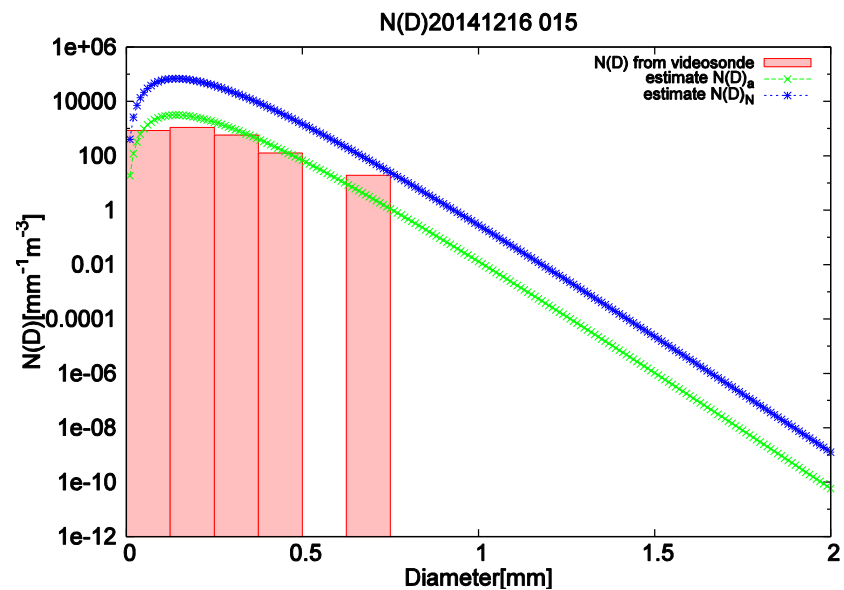
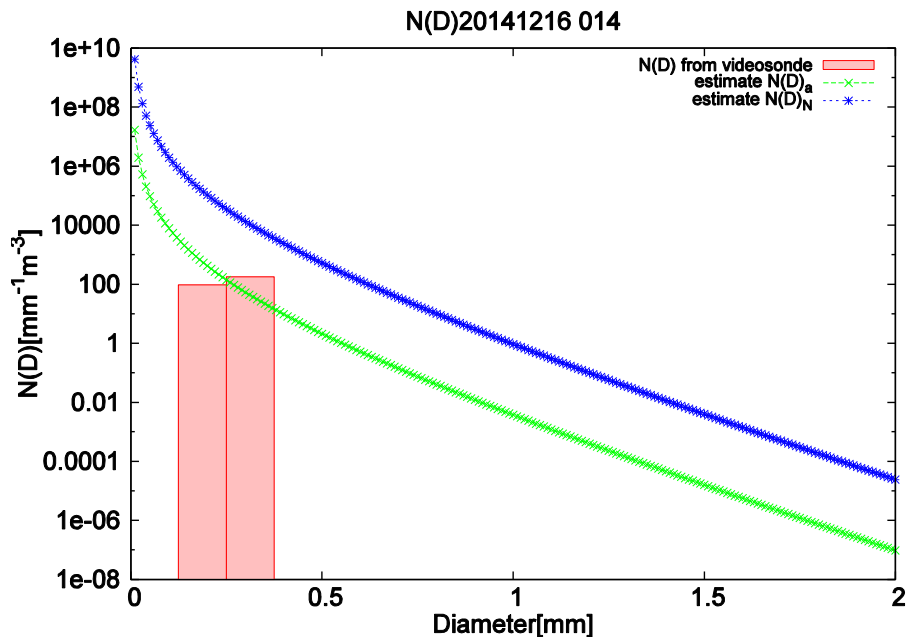
付図30 12月16日 15:18-15:20

付図31 12月16日 15:20-15:22



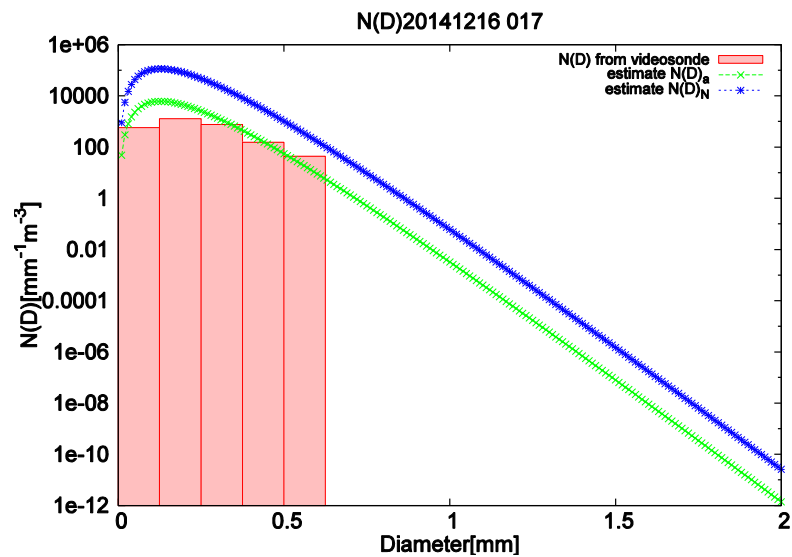
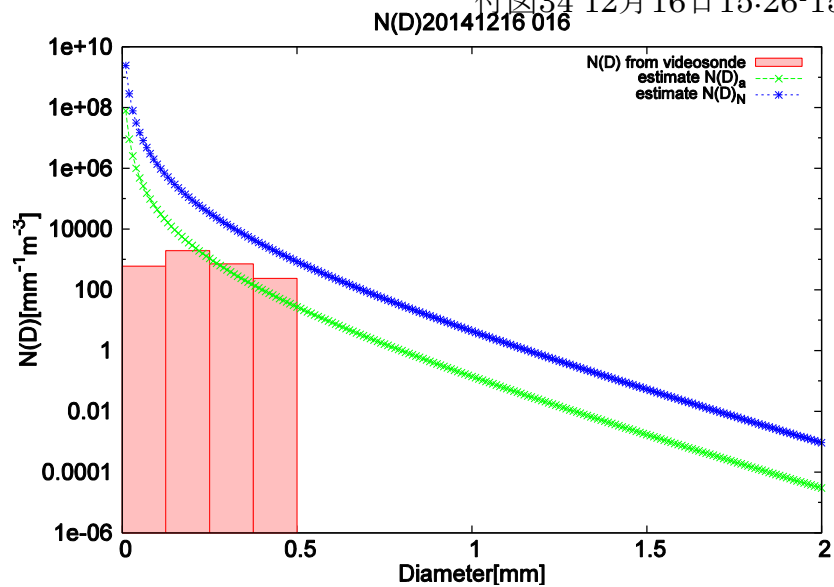
付図32 12月16日 15:22-15:24

付図33 12月16日 15:24-15:26



付図34 12月16日 15:26-15:28

付図35 12月16日 15:28-15:30



付図36 12月16日 15:30-15:32

付図35 12月16日 15:32-15:34

本日の発表内容

- 研究の背景・目的
- 火山礫粒径分布観測について
- ビデオゾンデデータについて
- 粒径分布の算出方法
- 偏波パラメータ算出・堆積量推定方法
- レーダーデータとの比較
- 結論

研究の背景・目的

- 火山活動に起因する土砂災害は火山碎屑物の堆積量に依存
- 砂防対策にはいま, どこに, どれだけ堆積しているかを知ること(即時性)は有益

現在, 大規模な噴火が発生後

- 直接測定することは噴火活動が収束後
- 危険地域で立ち入れないため範囲が限定的
- 堆積量の推定値が曖昧

噴火の前兆現象について

- 火口方向に急激に**収縮**，火口方向と直交方向に**膨張**
- 火山性の微小な地震が短時間で頻繁に発生
目視でも確認できる



通常時
(火山灰を放出)



前兆現象
(火山灰を放出していない) (前兆現象開始後1時間後)



噴火

ビデオゾンデデータについて

観測事例	測定質量[g]	推定質量[g]	捕捉率[%]
2014/12/13 14:01(37分間)	0.125	0.016	12.4
2014/12/15 18:37(53分間)	0.078	0.062	79.7
2014/12/16 14:52(44分間)	1.069	0.065	6.1
2014/12/17 11:58(31分間)	0.453	0.027	6.0
2014/12/18 19:04(47分間)	0.225	0.005	2.3
2014/12/19 17:01(3分間)	0.077	0.031	39.6
2014/12/20 12:07(30分間)	0.574	0.036	6.3
2014/12/21 11:50(24分間)	0.566	0.090	15.9

観測事例	測定質量[g]	推定質量[g]	捕捉率[%]
2014/9/17 11:31(82分間)	0.226	0.004	1.6
2014/9/18 10:57(62分間)	0.099	0.002	2.4
2014/9/18 12:05(92分間)	0.170	0.003	1.6
2014/9/18 14:02(62分間)	0.526	0.006	1.1

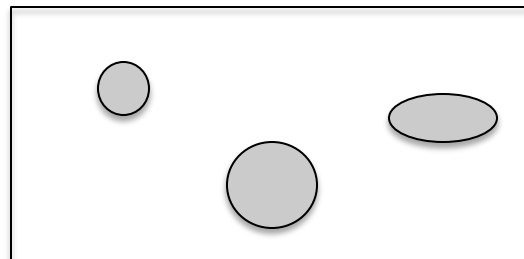
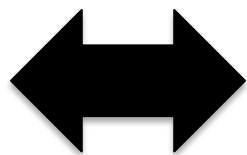
シャーレで測定した質量 W_{lobs}
 ビデオゾンデの粒子画像から
 得られる平均粒径から粒子を
 球と仮定し、推定した質量 W_{lest}



ビデオゾンデでは降灰する全て
 の火山礫を捉えられない

センサーが0.5mm未満では
 100%の捕捉率ではない
 フラッシュの充電時間(0.17s)は
 観測できない等の原因が存在

ビデオゾンデデータから粒
 径分布を算出



粒子画像から
質量を推定

レーダーデータとの比較

$$K_{\text{water}} = \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon + 2\epsilon_0} = 0.964$$

$$\eta = \frac{\pi^5}{\lambda^4} |K|^2 \int_{D_{\text{min}}}^{D_{\text{max}}} D^6 N(D) dD$$

$$K_{\text{ash}} = \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon + 2\epsilon_0} = 0.5$$

等価レーダー反射因子 Z_{le} (降水粒子の誘電率から算出,
レーダー観測値)

$$\eta \lambda^4 / \pi^5 |K|^2 = \int_{D_{\text{min}}}^{D_{\text{max}}} D^6 N(D) dD$$

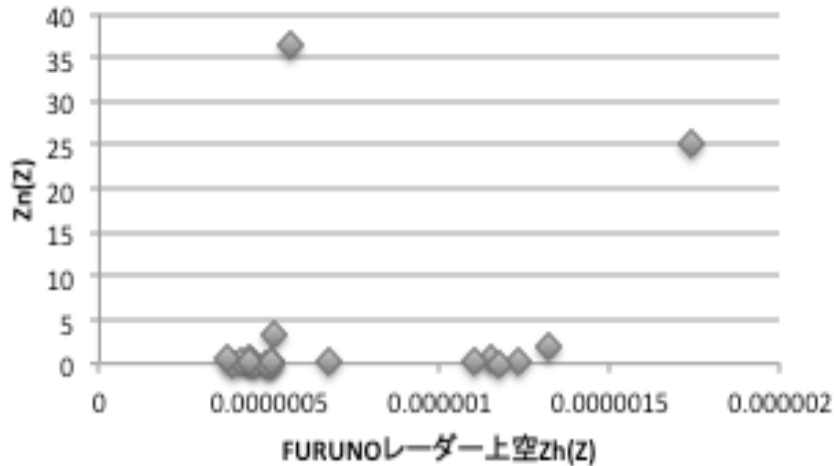
火山礫の誘電率で算出したレーダー反射因子

$$Z = \int_{D_{\text{min}}}^{D_{\text{max}}} D^6 N(D) dD = |K_{\text{water}} / K_{\text{ash}}| Z_{\text{le}}$$

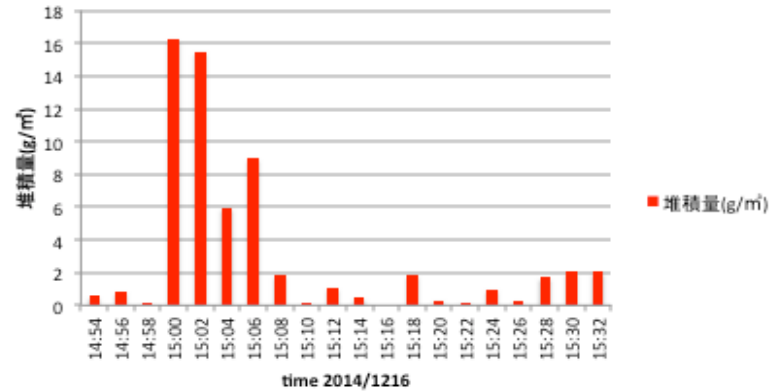
ビデオゾンデから算出し
このレーダー反射因子と
比較

FURUNOレーダーとビデオゾンデの比較結果

Zn-上空Zh関係図



堆積量(g/m³)



観測地点の火山灰堆積量

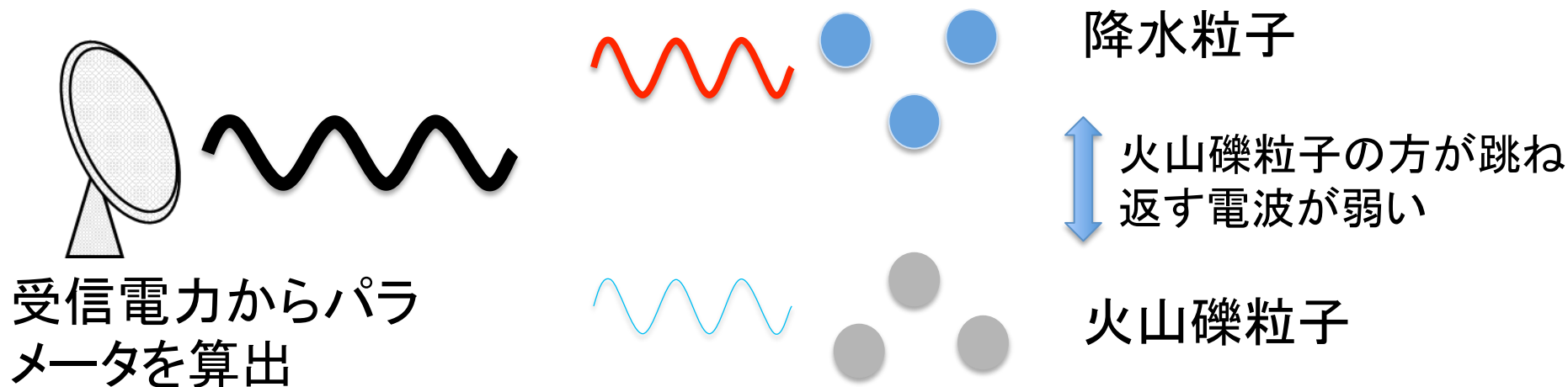
相関はあまり良くなかった

考えられる原因

- 火口上800mの噴火に対して2126mとかなり上空をレーダー観測していた
- 上空2126mで観測された火山灰がそのまま垂直に落下してきているという仮定のもと実施している

レーダーデータとの比較

火山礫の誘電率は降水粒子のものよりも低い
同じ粒径でもレーダーに跳ね返る電波は弱い
レーダー観測では跳ね返る電波の電力から偏波パラメータを算出 **過小評価**



G4: Forecasting influence on airlines
due to volcanic ash

-early warning system of volcanic ash-

group leader -> S. Oishi

Group 4:

Forecasting influence on airlines due to volcanic ash

Group Leader: Junichi Yoshitani -> S. OISHI

For Document

4-1 Upgrading of dispersion simulation of volcanic ash (火山灰移動モデルの高度化と予測)

Subgroup Leader: Prof. Hiroshi Tanaka,
Univ. of Tsukuba

Study target: Mt. Merapi, Indonesia

- Upgrading of advection-dispersion simulation of atmospheric volcanic ash (大気中の火山灰の移流・拡散シミュレーションの高度化)
- Parameters calibration based on in-situ observation of atmospheric volcanic ash (火山灰観測に基づくシミュレーションパラメータの検討)

4-2 Early warning system of volcanic ash cloud (火山灰早期警戒システムの開発)

Subgroup Leader: Prof. Junichi Yoshitani,
-> Prof. S. OISHI

Study target: Mt. Sakurajima, Japan

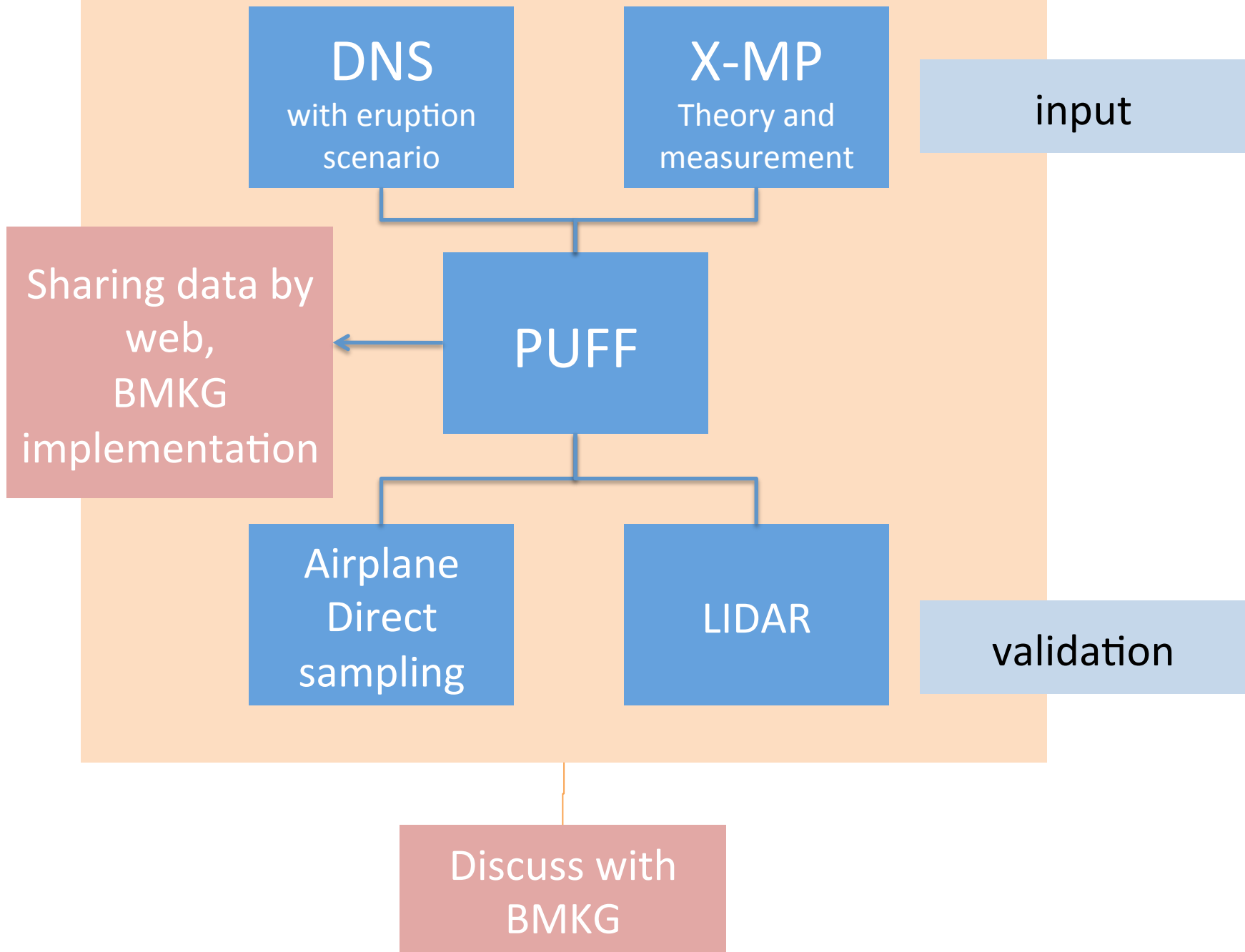
- In-situ observation of atmospheric volcanic ash concentration (大気中火山灰粒子密度のその場観測)
- Remote sensing of volcanic ash concentration by X-band multi-parameter radar (XバンドMPLレーダー画像から火山灰粒子密度を推定する手法開発)
- Warning criteria of volcanic ash concentration (火山灰粒子密度の警戒レベルの閾値検討)
- Real-time mapping of flight alert zones (火山灰粒子密度と警戒範囲のGIS化)

Development of Time Series Variation and Spatial Distribution of Volcanic Tephra in the Atmosphere

- Volcanic Ash Diffusion Simulation
 - PUFF
 - Direct Numerical Simulation
- X-MP Radar
 - Early Warning System
 - Volcanic Ash Measurement
- Airplane Direct Sampling and Lider

List of activities

- Taking the result of 3-3 “**Volcanic Ash Prediction Simulation**” into consideration, PUFF model predict **Distribution of Volcanic Tephra Density Distribution** by using wind data from Meteorological Authority.
- **X-MP Radar** and **Direct Numerical Simulation** data is used as input for PUFF model.
- **Direct Sampling** and **Lidar** is considered as validation data.
- They are applied to Indonesian Volcano.



Volcanic Ash Diffusion Simulation - PUFF -


Volcanic Ash Plume

Real Time Volcanic Plume Prediction by SATREPS

Volcanic ash plume is predicted using realtime weather data offered by Japan Meteorological Agency (JMA).

Provided by H.L. Tanaka
Center for Computational Sciences,
University of Tsukuba

Dispersion has been tuned by Satellite Image

 [Gunung Kelud](#)

==> [Eruption on 2014.2.13](#)

 [Iceland-Volcano](#)

==> [Eruption on 2010.4.14](#)

 [Sakurajima](#)

==> [Eruption on 2013.8.18](#)



 [Galunggung](#)

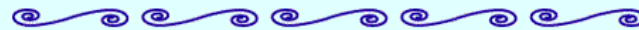
 [Guntur](#)

 [Kelud](#)

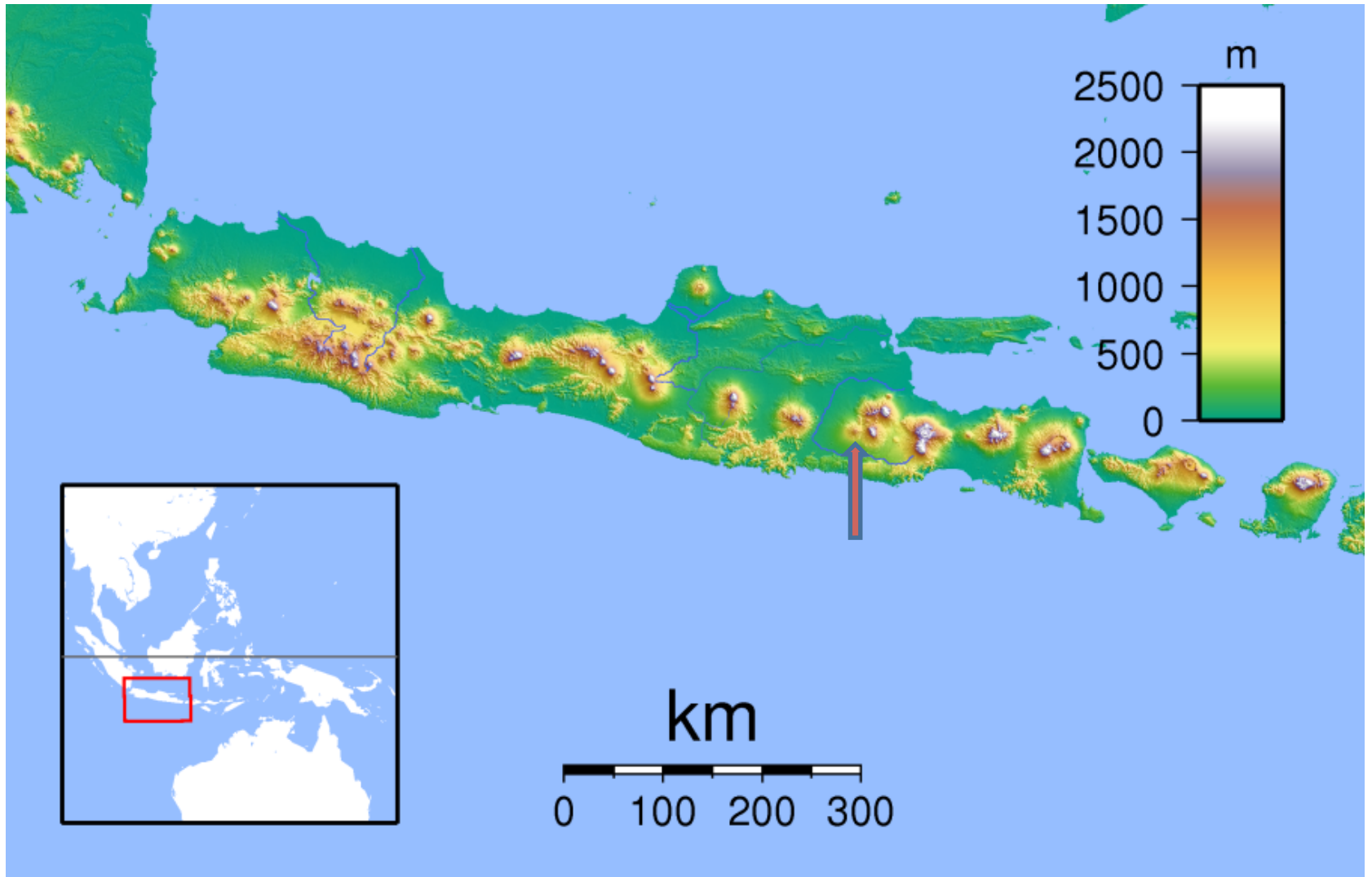
 [Merapi](#)

 [Semeru](#)

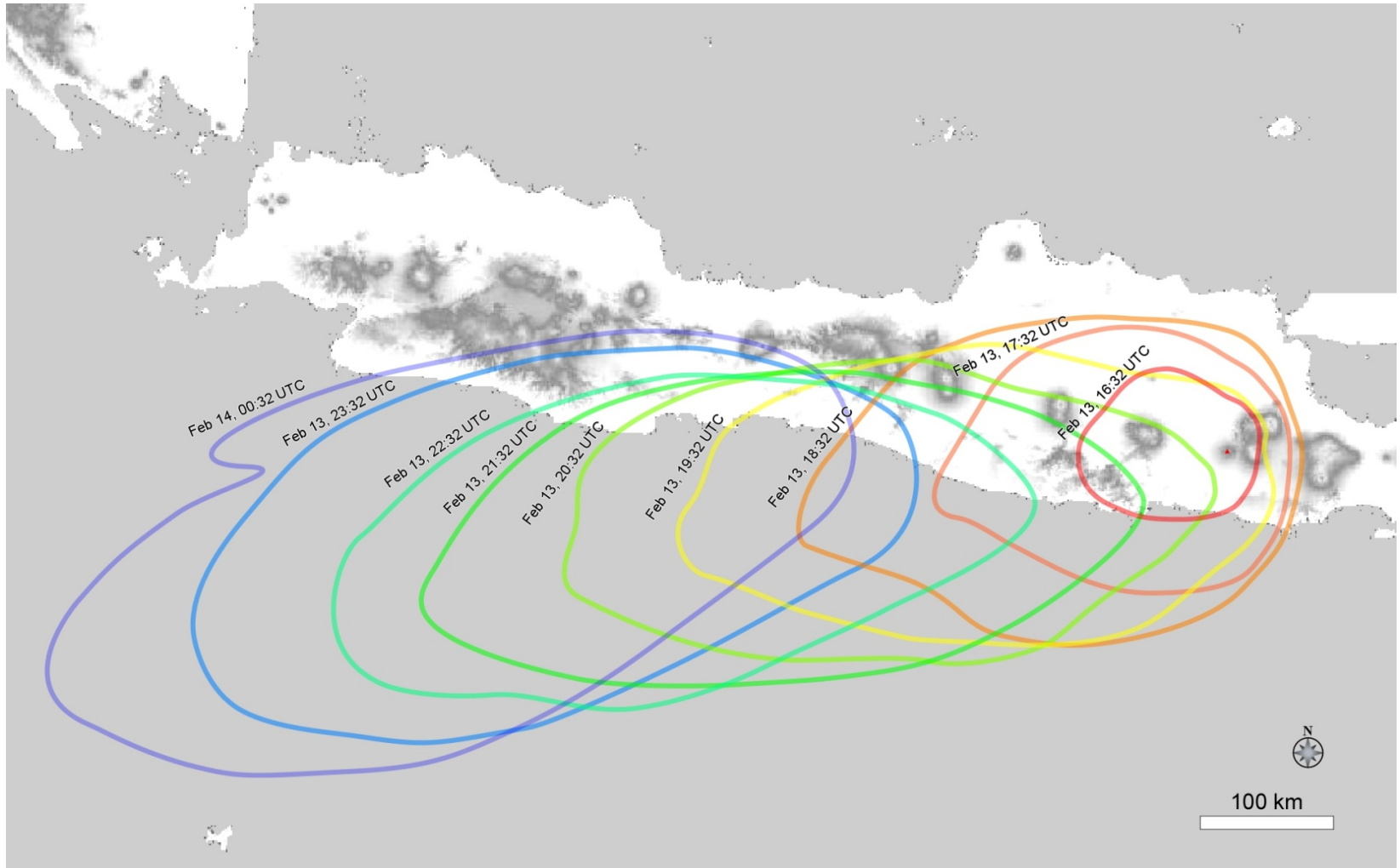
 [WORLD](#)



No use other than academic purpose

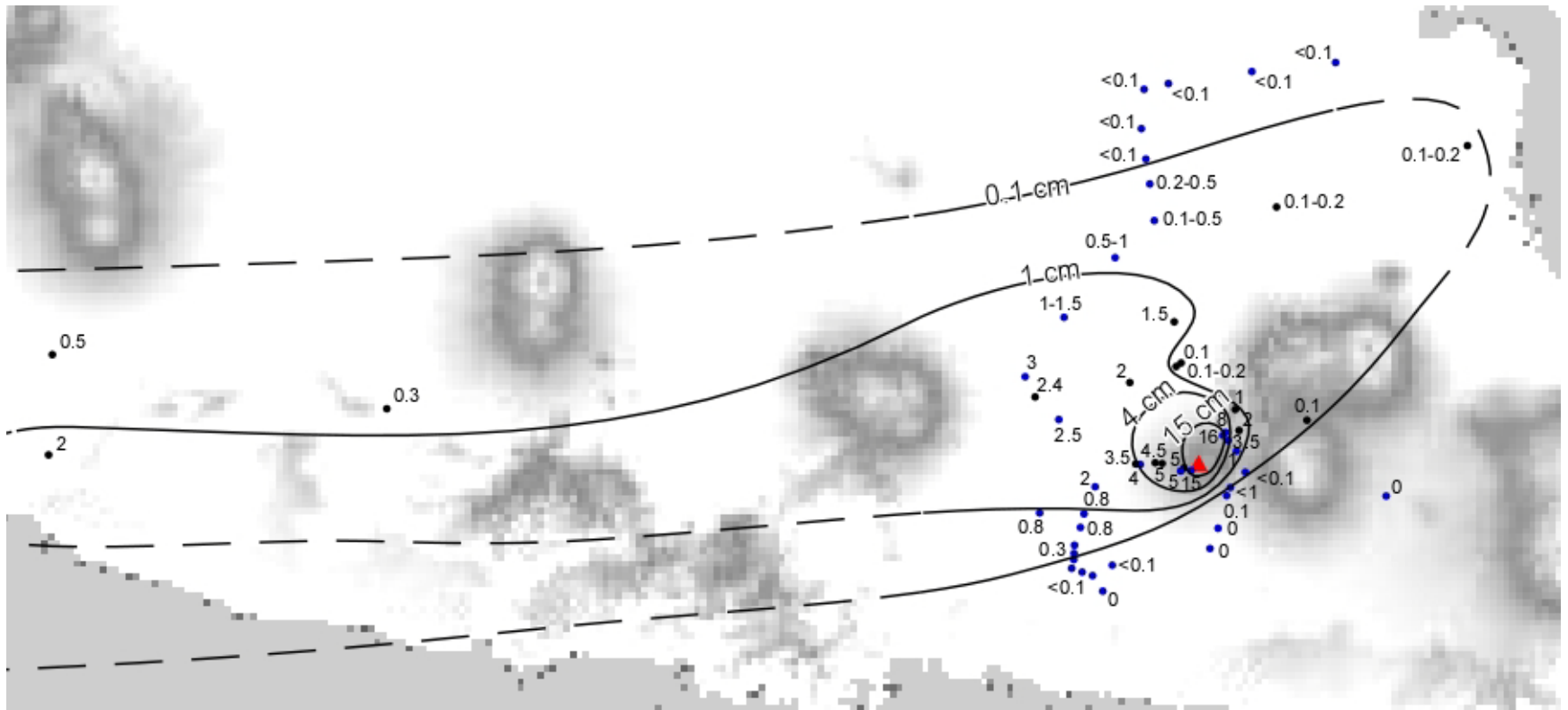


Time	Emission (ton/h)	Height (m)	Total Emission
UTC + 7 hr			
2014/2/13 23:00	2.17E+07	17,056	2.2E+07
2014/2/14 00:00	1.41E+07	15,321	3.6E+07
2014/2/14 01:00	9.39E+06	13,839	4.5E+07
2014/2/14 02:00	6.37E+06	12,562	5.2E+07
2014/2/14 03:00	4.41E+06	11,453	5.6E+07
2014/2/14 04:00	3.09E+06	10,486	5.9E+07
2014/2/14 05:00	2.21E+06	9,636	6.1E+07
2014/2/14 06:00	1.60E+06	8,885	6.3E+07
2014/2/14 07:00	1.17E+06	8,219	6.4E+07
2014/2/14 08:00	8.65E+05	7,625	6.5E+07
2014/2/14 09:00	6.48E+05	7,093	6.6E+07



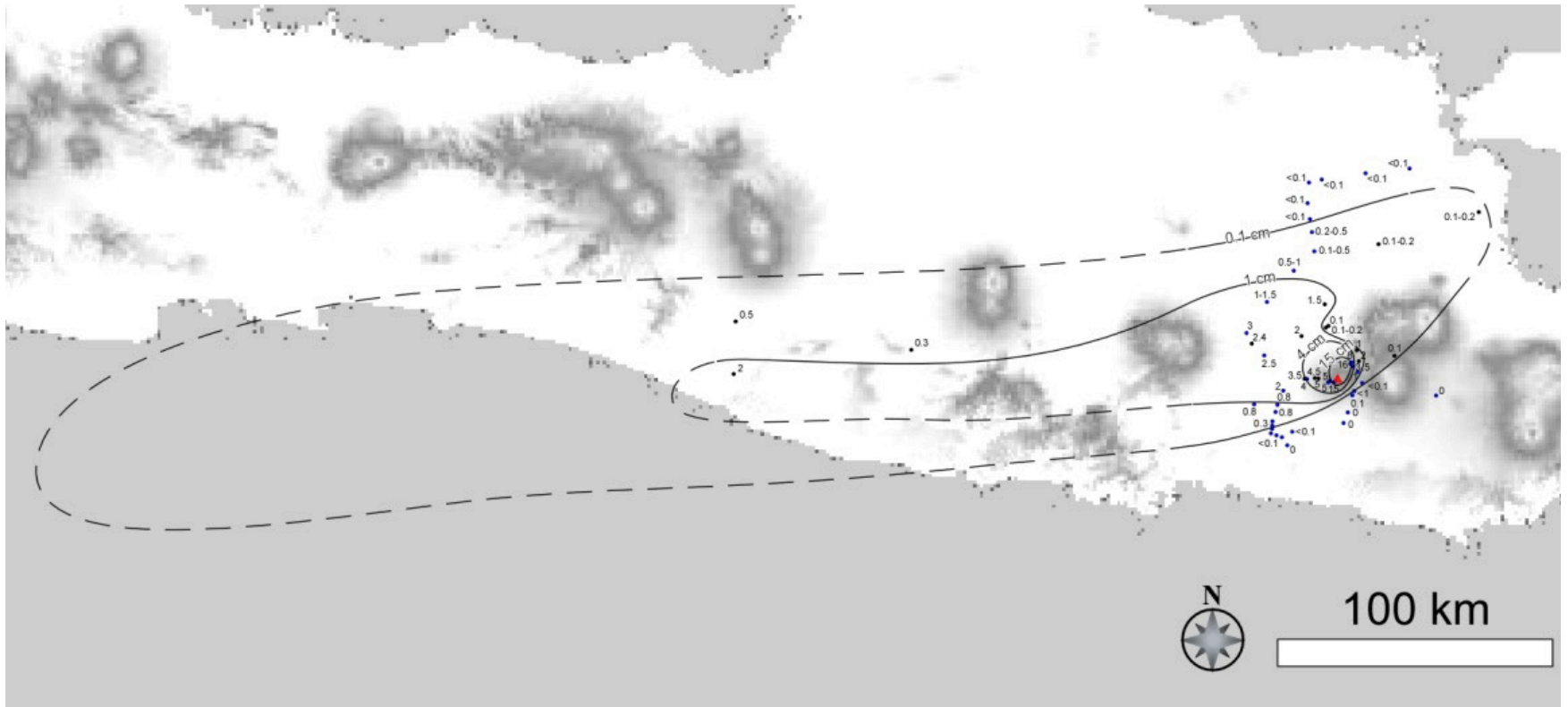
Sequence of tephra dispersal from the Kelud volcano, produced based on satellite images by JMA.

Isopach maps of fallout tephra



Contours (0.1, 1, 4, 5 cm) are made based on geological survey and hearing.

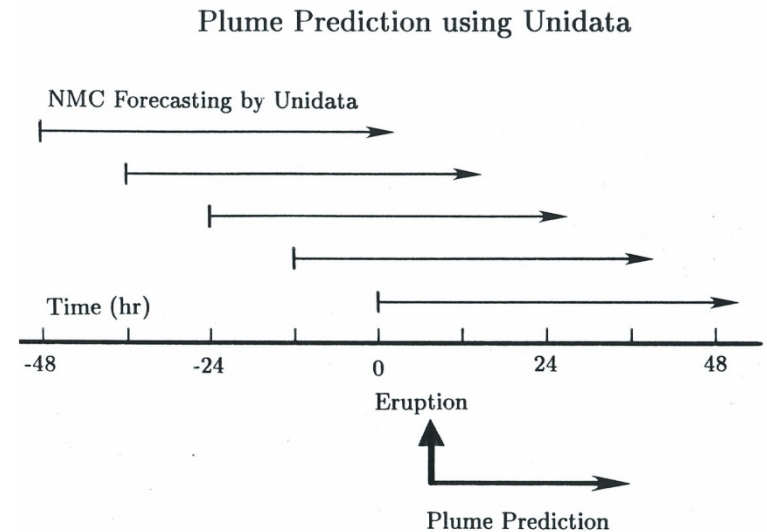
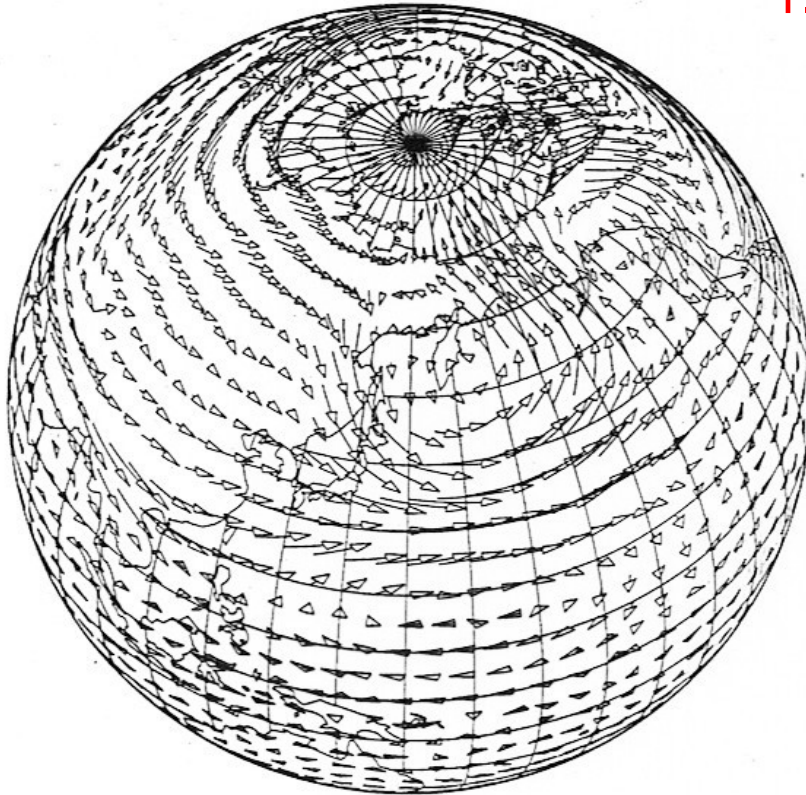
Isopach maps of fallout tephra



Contours (0.1, 1, 4, 5 cm) are made based on geological survey and hearing.

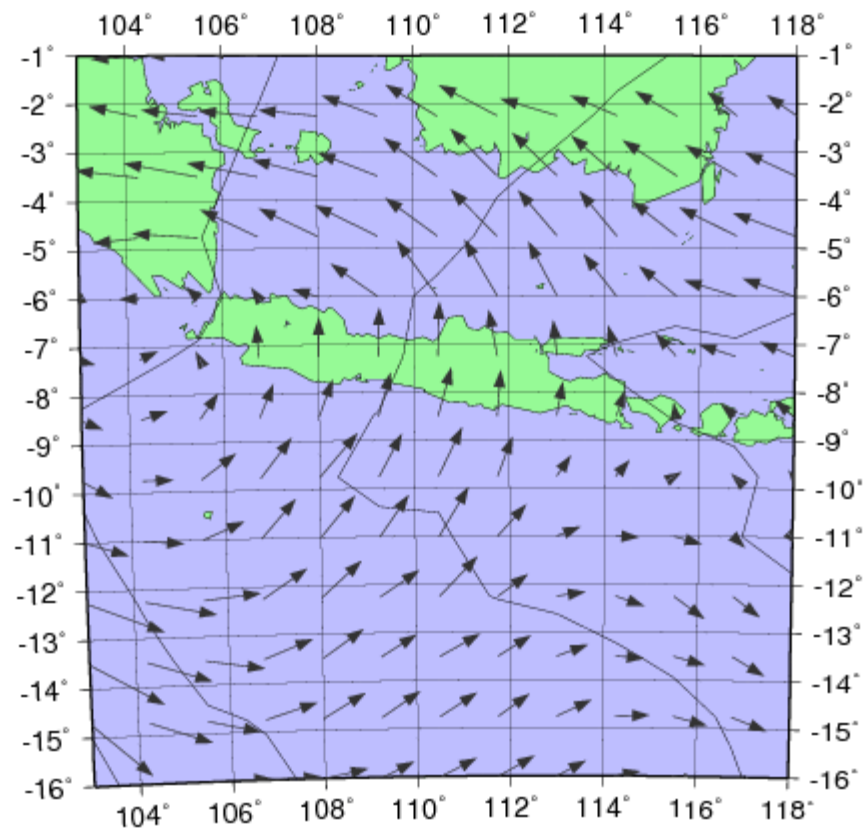
Wind data in real-time

Japan Meteorological Agency (JMA)
Grid Point Value (GPV)
1.25 X 1.25 grid data



Wind Vector (500 hPa)

GPV/JMA 201404400

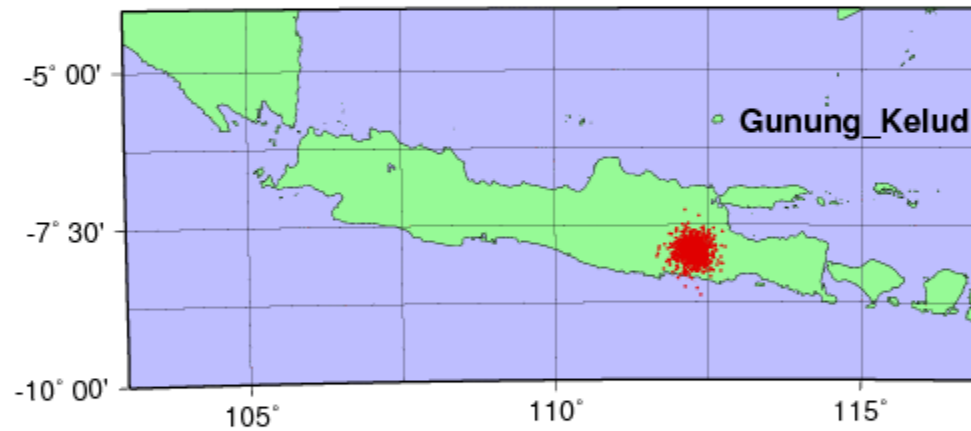
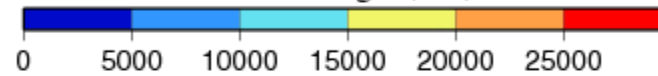


Gunung_Kelud

Eruption: 1600 UTC 13 February 2014

Prediction: +1 hours

Plume Height (feet)

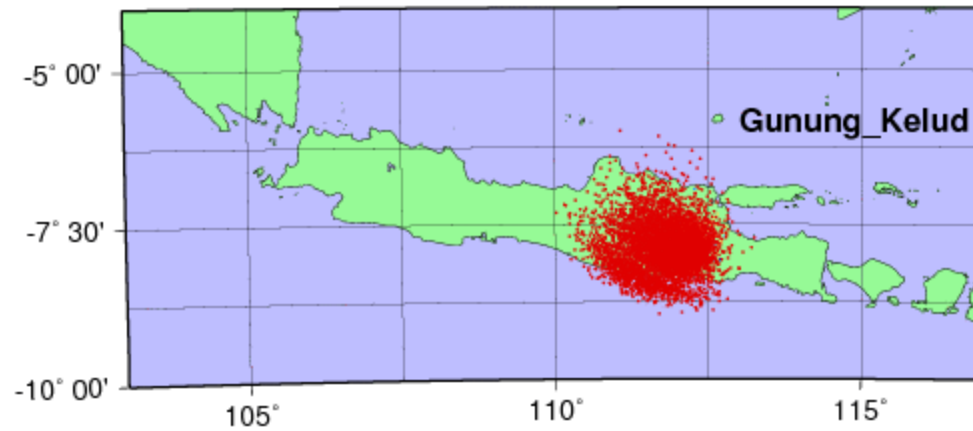
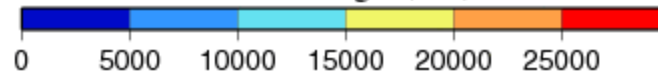


Gunung_Kelud

Eruption: 1600 UTC 13 February 2014

Prediction: +2 hours

Plume Height (feet)

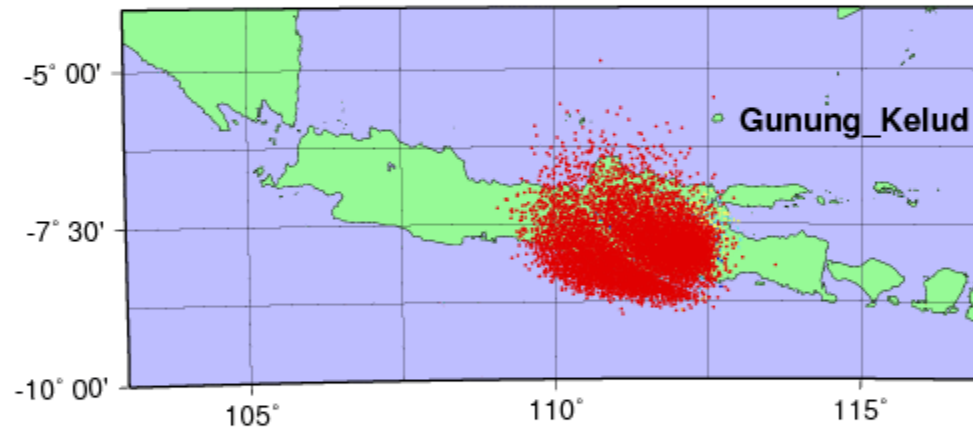
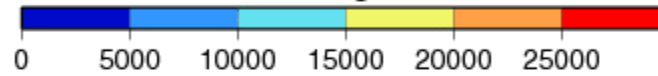


Gunung_Kelud

Eruption: 1600 UTC 13 February 2014

Prediction: +3 hours

Plume Height (feet)

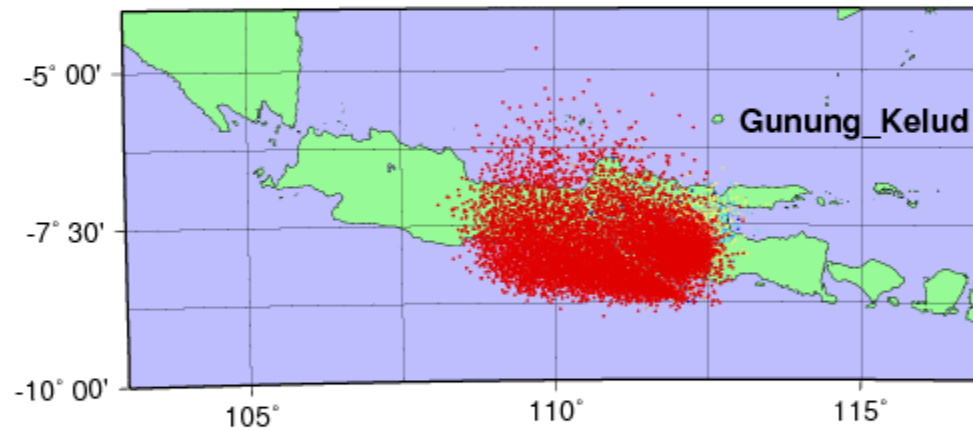
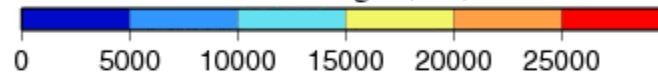


Gunung_Kelud

Eruption: 1600 UTC 13 February 2014

Prediction: +4 hours

Plume Height (feet)

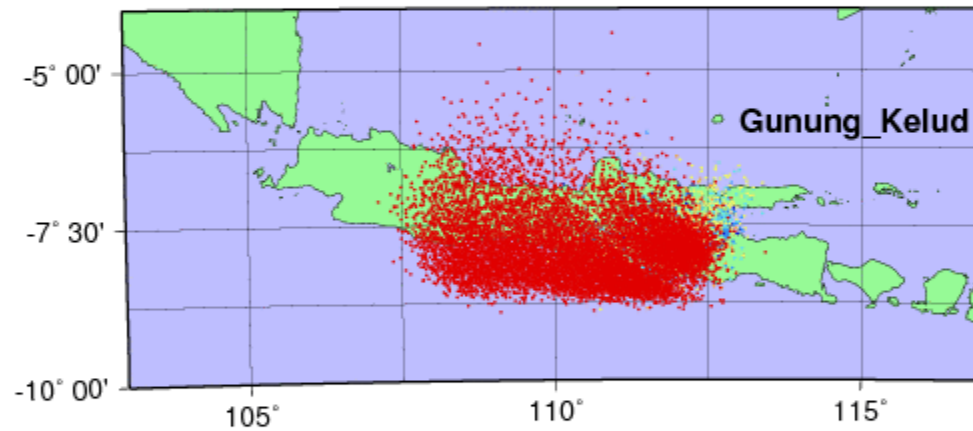
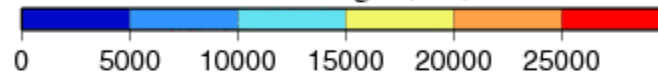


Gunung_Kelud

Eruption: 1600 UTC 13 February 2014

Prediction: +5 hours

Plume Height (feet)

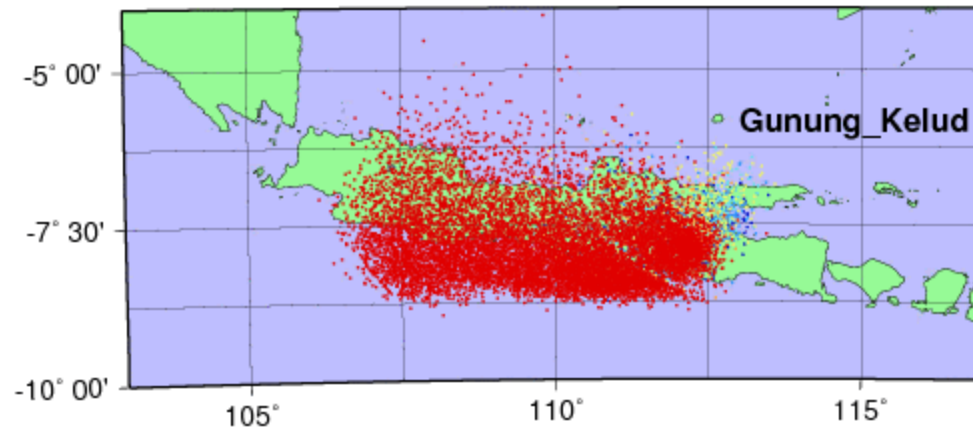
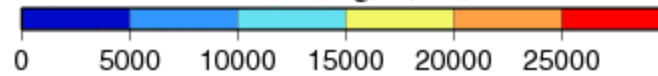


Gunung_Kelud

Eruption: 1600 UTC 13 February 2014

Prediction: +6 hours

Plume Height (feet)

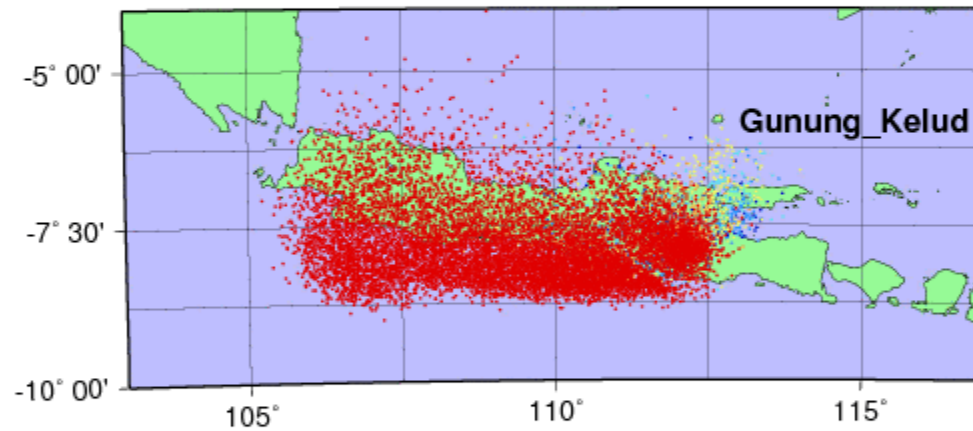
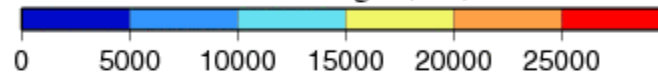


Gunung_Kelud

Eruption: 1600 UTC 13 February 2014

Prediction: +7 hours

Plume Height (feet)

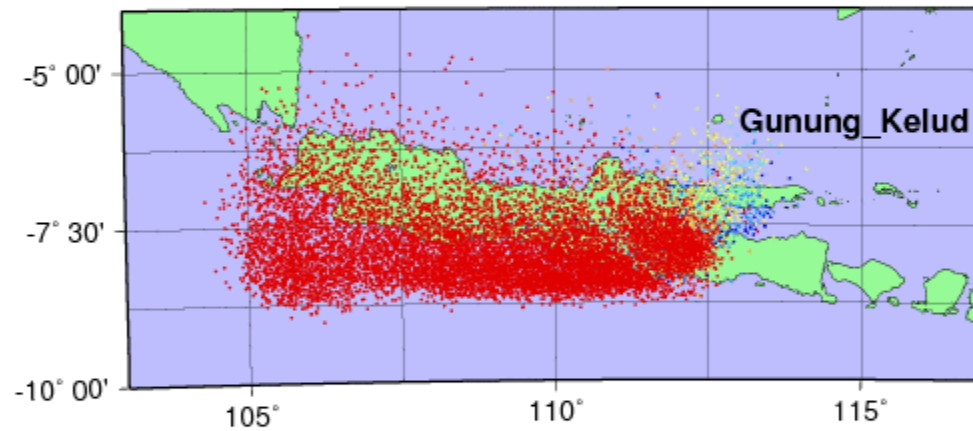
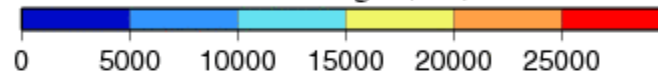


Gunung_Kelud

Eruption: 1600 UTC 13 February 2014

Prediction: +8 hours

Plume Height (feet)

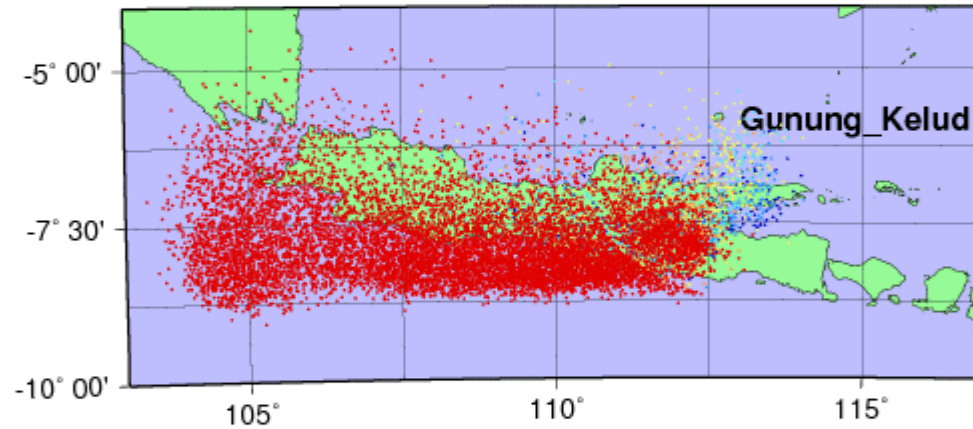
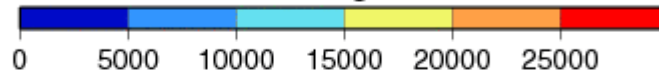


Gunung_Kelud

Eruption: 1600 UTC 13 February 2014

Prediction: +9 hours

Plume Height (feet)

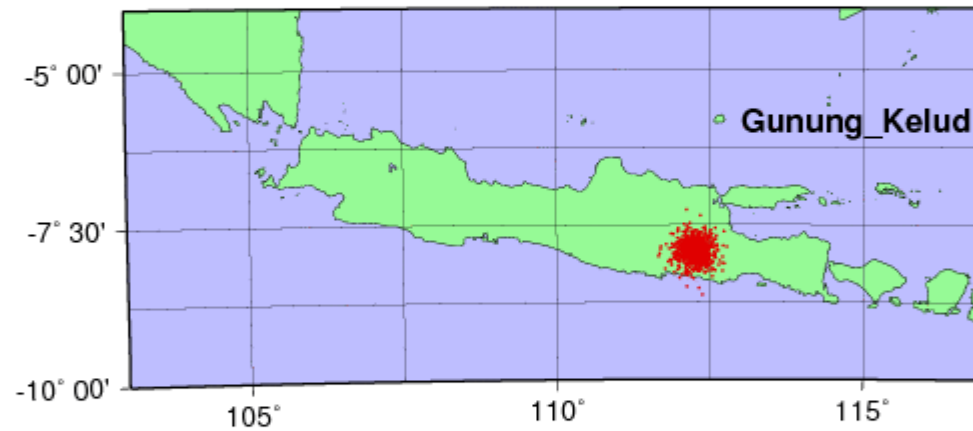
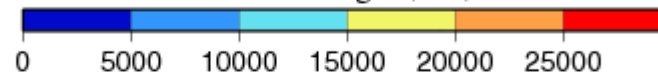


Gunung_Kelud

Eruption: 1600 UTC 13 February 2014

Prediction: +1 hours

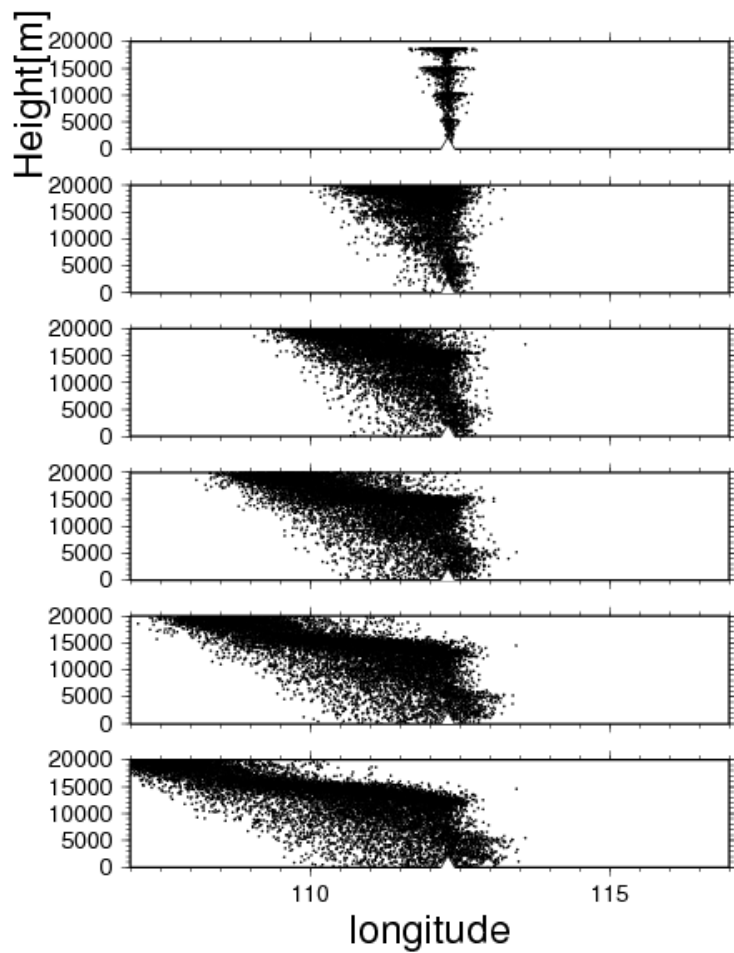
Plume Height (feet)



X-Z section for Gunung_Kelud

Eruption: 1600 UTC 13 February 2014

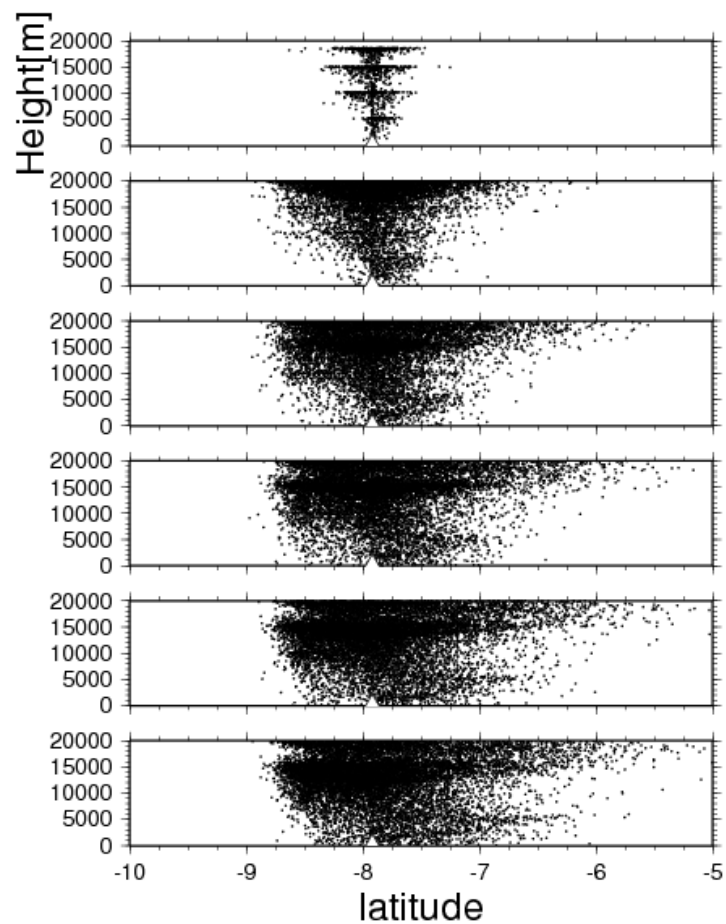
Prediction: Every one hour from eruption



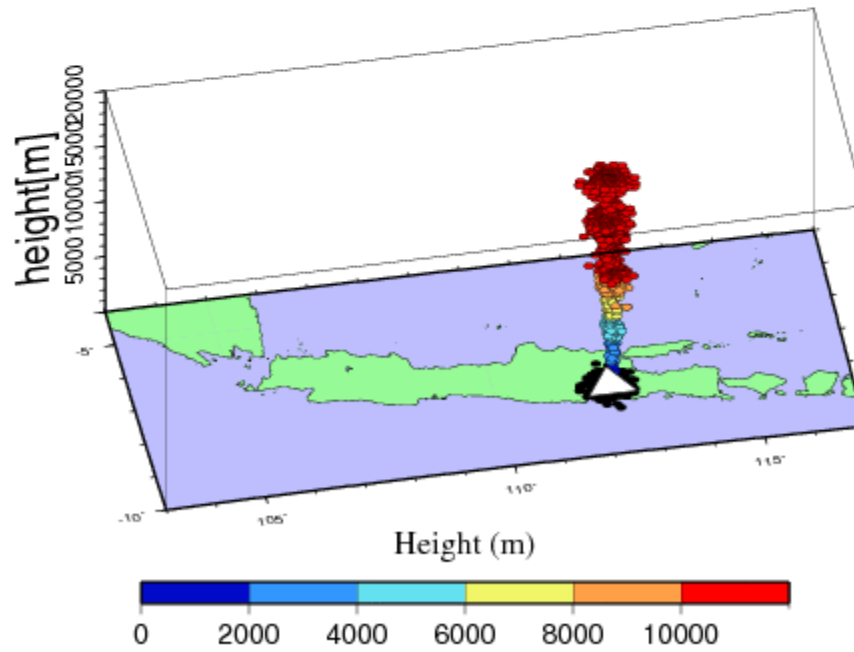
Y-Z section for Gunung_Kelud

Eruption: 1600 UTC 13 February 2014

Prediction: Every one hour from eruption



3-D image for Gunung_Kelud
Eruption: 1600 UTC 13 February 2014
Prediction: +1 hours

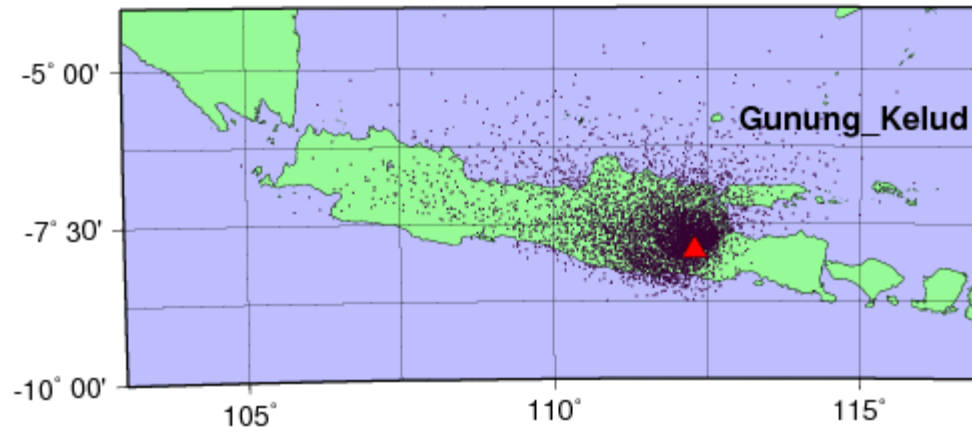


Gunung_Kelud

Eruption: 1600 UTC 13 February 2014

Duration: + 9 hours

Ash Fallout



Summary

1. PUFF model is applied to Kelud volcano
2. Max particles: $5000/5\text{min} = 60000/\text{hr}$
3. Emission rate: 2.17×10^7 ton/hr, 360 ton/particle
4. Fallout particles: 79392/56 hr
5. Fallout mass: 2.858×10^7 ton
6. Ash plume moved to west at 17 km
7. Ash plume moved to north at 5 km
8. Fallout of 2.0 kg/m^2 extended to 100 km in west
9. Wind data is most sensitive to the prediction



BMKG 部門長 Dodoさん

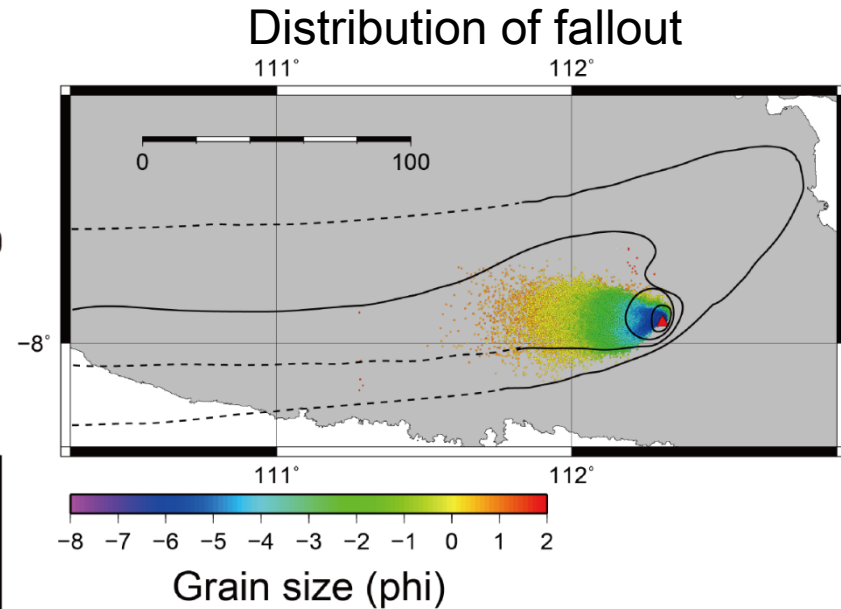
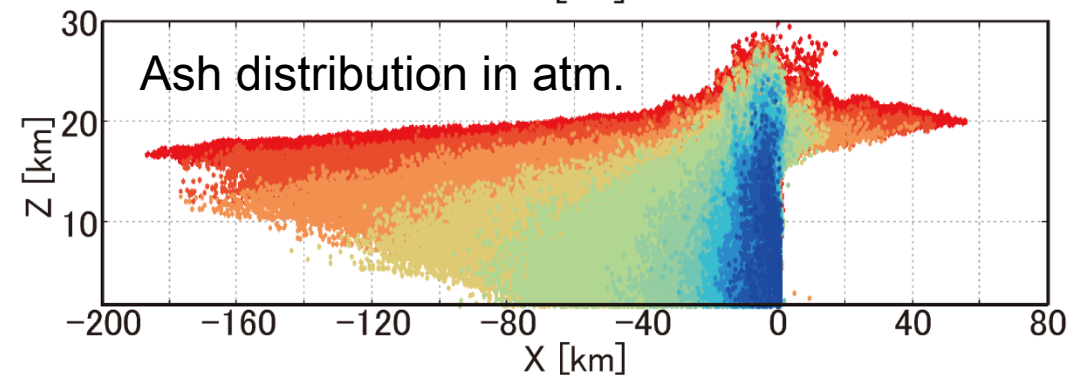
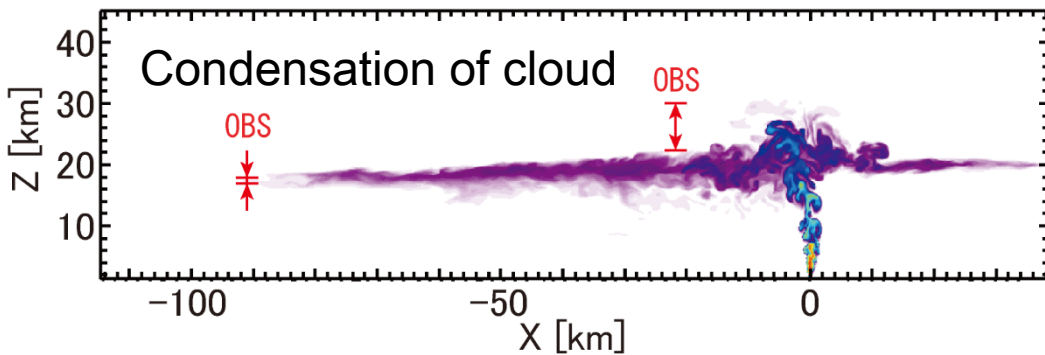
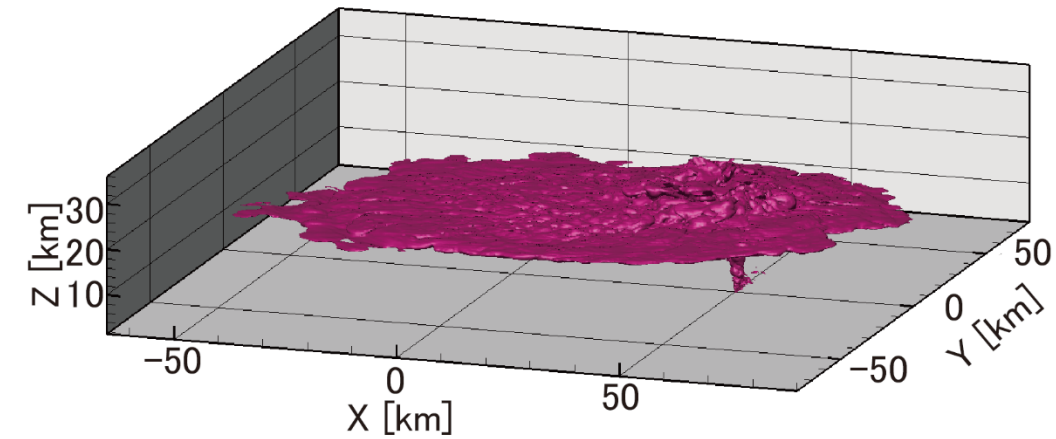


BMKG現業室 Asriさん

Achieving activities

- Volcanic Ash Diffusion Simulation
 - Direct Numerical Simulation

G4-1. 3D Numerical Simulation of Plume



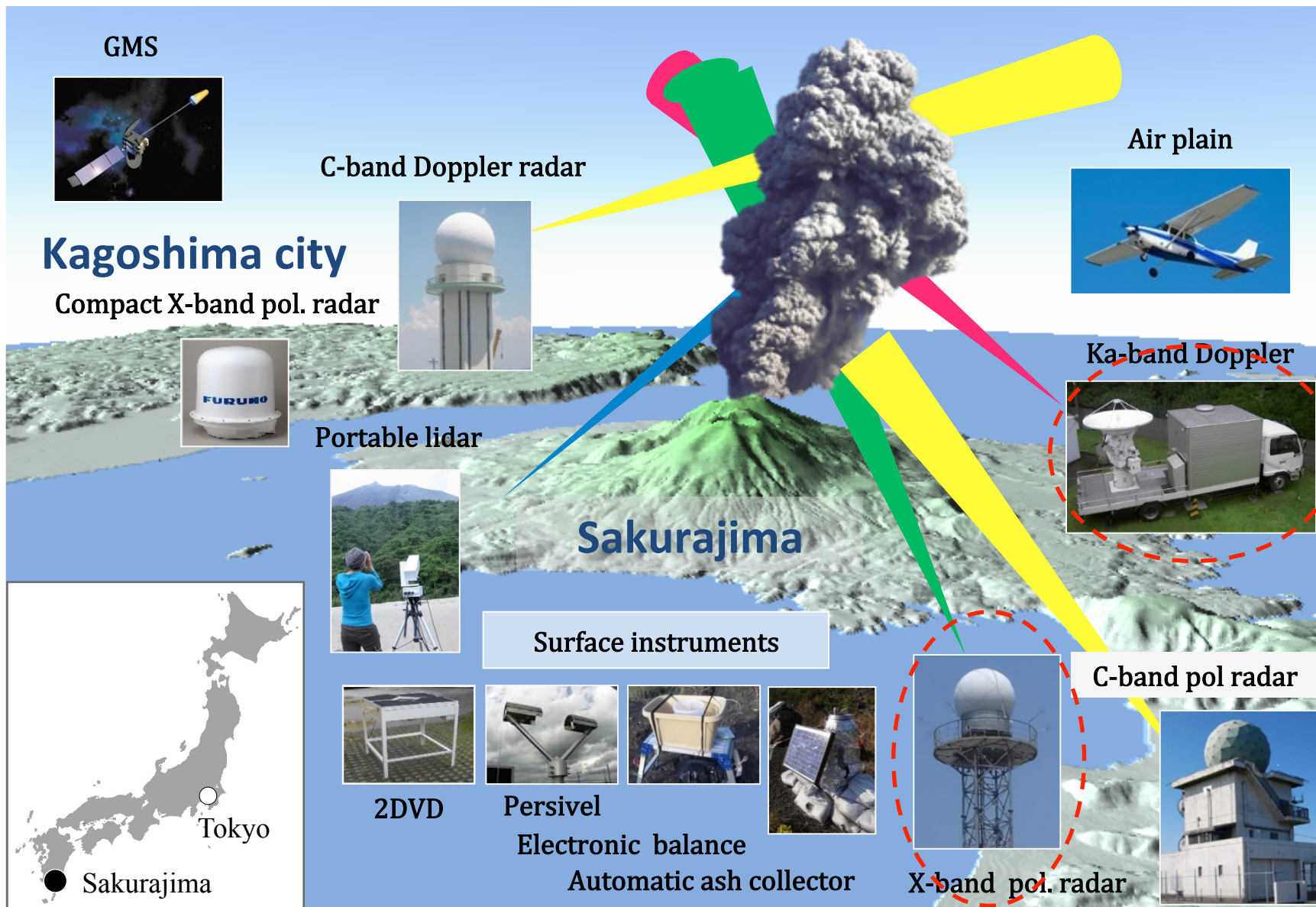
Observed data have been reproduced successfully.

- * Maximum height of plume
- * Altitude of umbrella cloud
- * Area of umbrella cloud
- * Direction of fallout distribution

Achieved activities

- X-MP observation

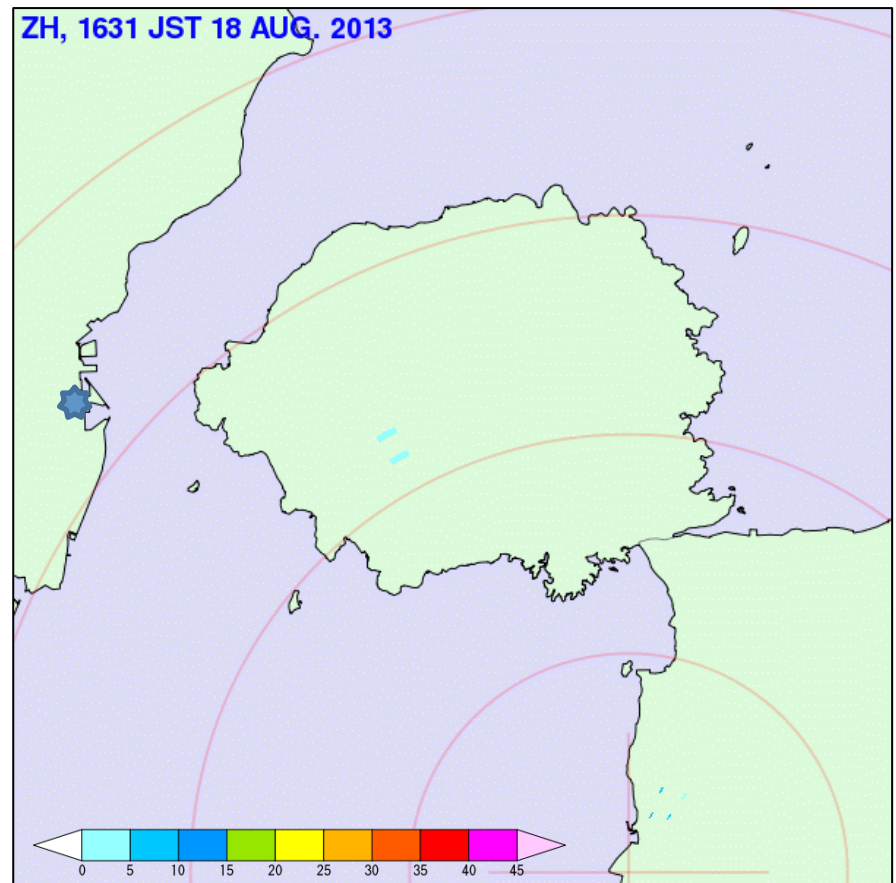
Collaborative Observation of Sakurajima Volcanic Ash



POLARIMETRIC RADAR OBSERVATION

Sakurajima, 1631-1731LST, Aug 18, 2013

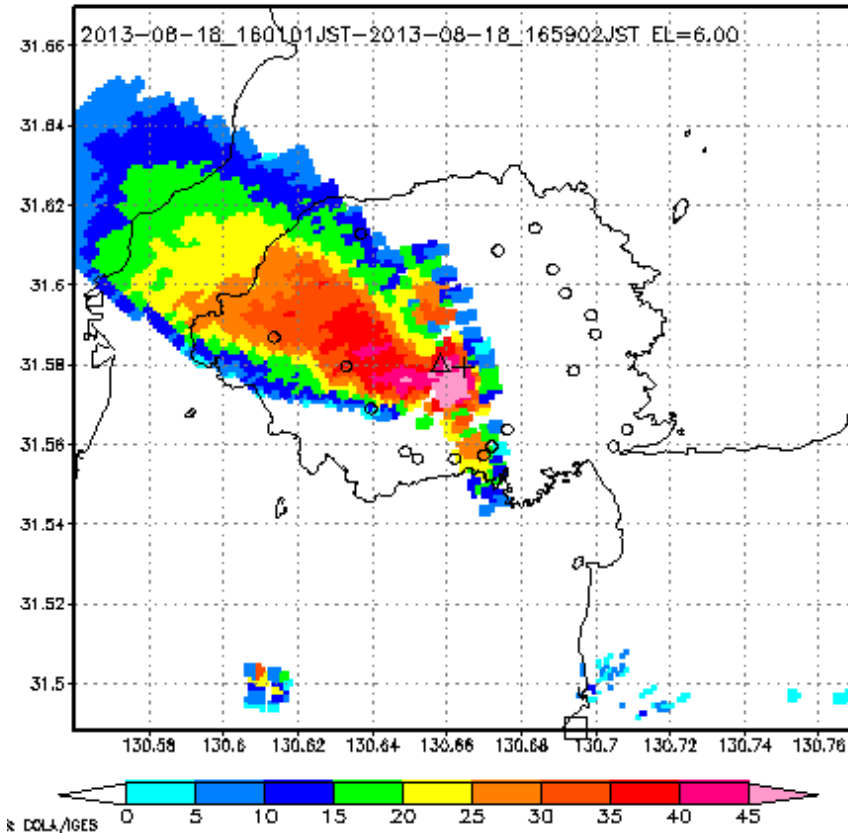
ZH of X-band polarimetric radar (EL=6.0°)



Accumulated Reflectivity

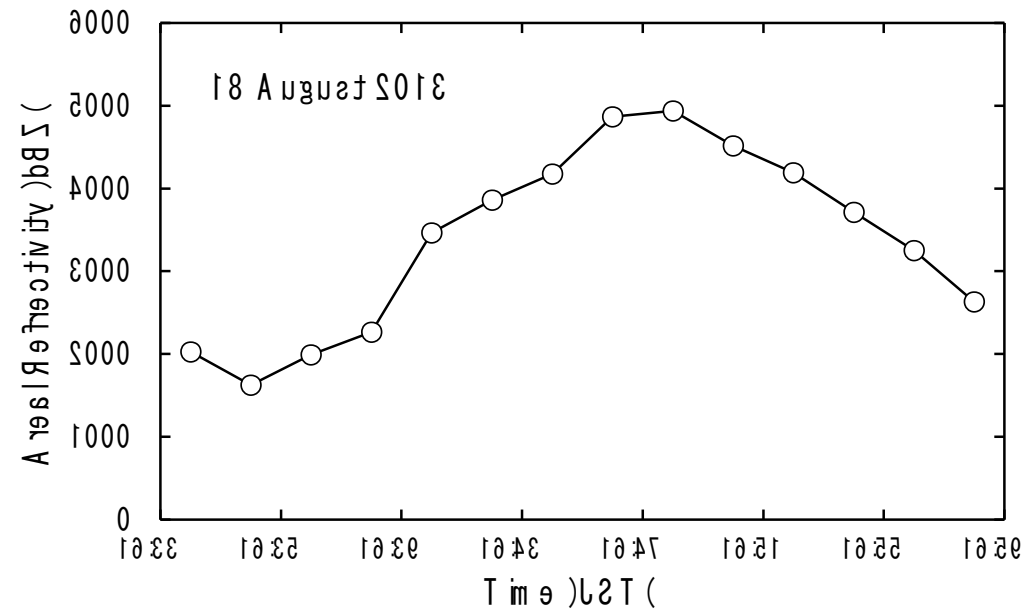
2013-08-18 (16:33-16:59 JST) EL=6.0

Accumulated Reflectivity(mm⁶/m³)



Distribution of accumulated reflectivity (16:33-16:59JST, 18 August 2013).

Areal Reflectivity



Time change of areal radar reflectivity of ash clouds (16:33-16:59 JST, 18 August 2013).

Achieved activities

- Direct Sample Measurement by airplane

Dusseldorf Univ, Iceland Univ, pilot, Kyoto Univ, Dusseldorf Univ.







Filtered samplers for particulates

- 2.5, 10, Total (μm)

Constant discharge pumps

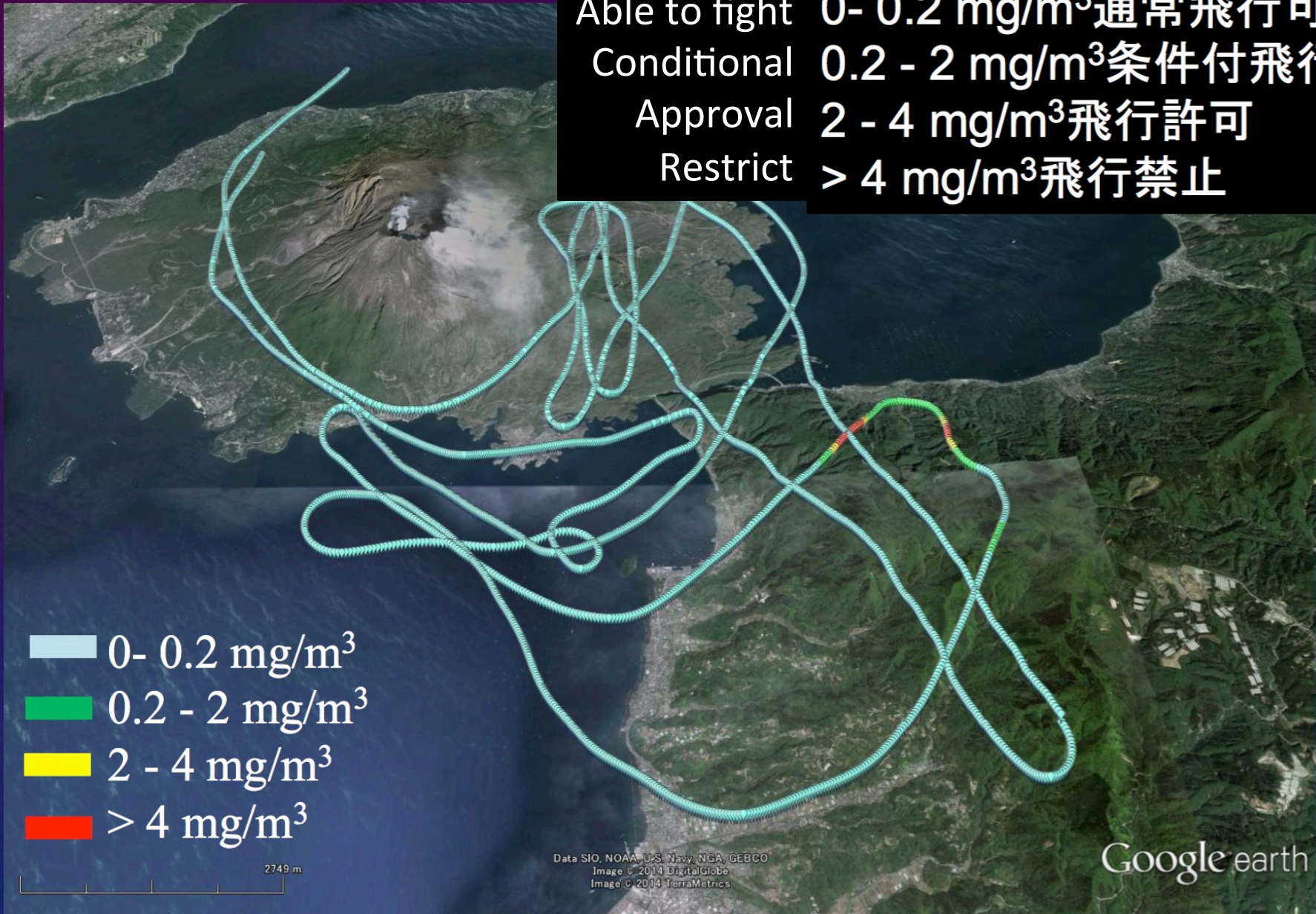
- 5 L/min, 20 L/min

Yet, sampled particulates are below weighable mass.

Portable digital dust meter (Dustmate)

- 2750.00GBP+shipping fee
- TSP, PM10, PM2.5, PM1

Able to flight 0- 0.2 mg/m³通常飛行可
Conditional 0.2 - 2 mg/m³条件付飛行
Approval 2 - 4 mg/m³飛行許可
Restrict > 4 mg/m³飛行禁止



Airborne Measurement of ash concentrations and fluxes in Holuhraun 5.09. 2014. Time of measurement: 1200 – 1400 UTC

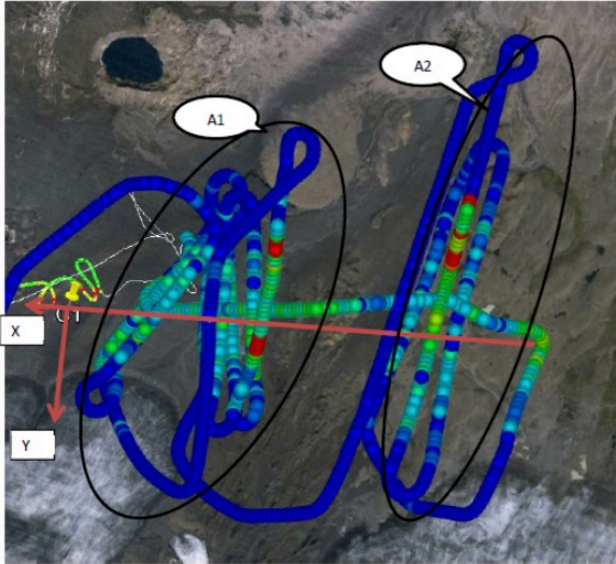
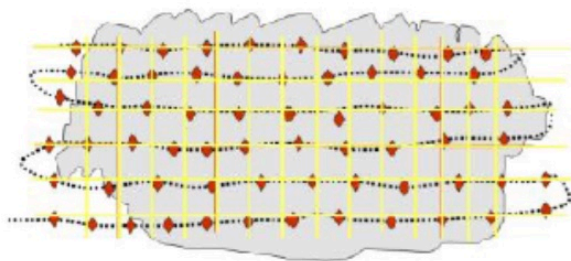


Figure 2. Measurement area in Holuhraun. Crosswind sections A1 and A2 shown, location of points

フラックス=断面平均濃度*風速推定

- 向こうの空が見えるくらい薄い火山灰濃度なら飛行可能。
- 時間とともに噴煙の位置や濃度が変わ化する。
- 高度を変えて計測する時間はない。

Very difficult to observe it in thick volcanic ash cloud

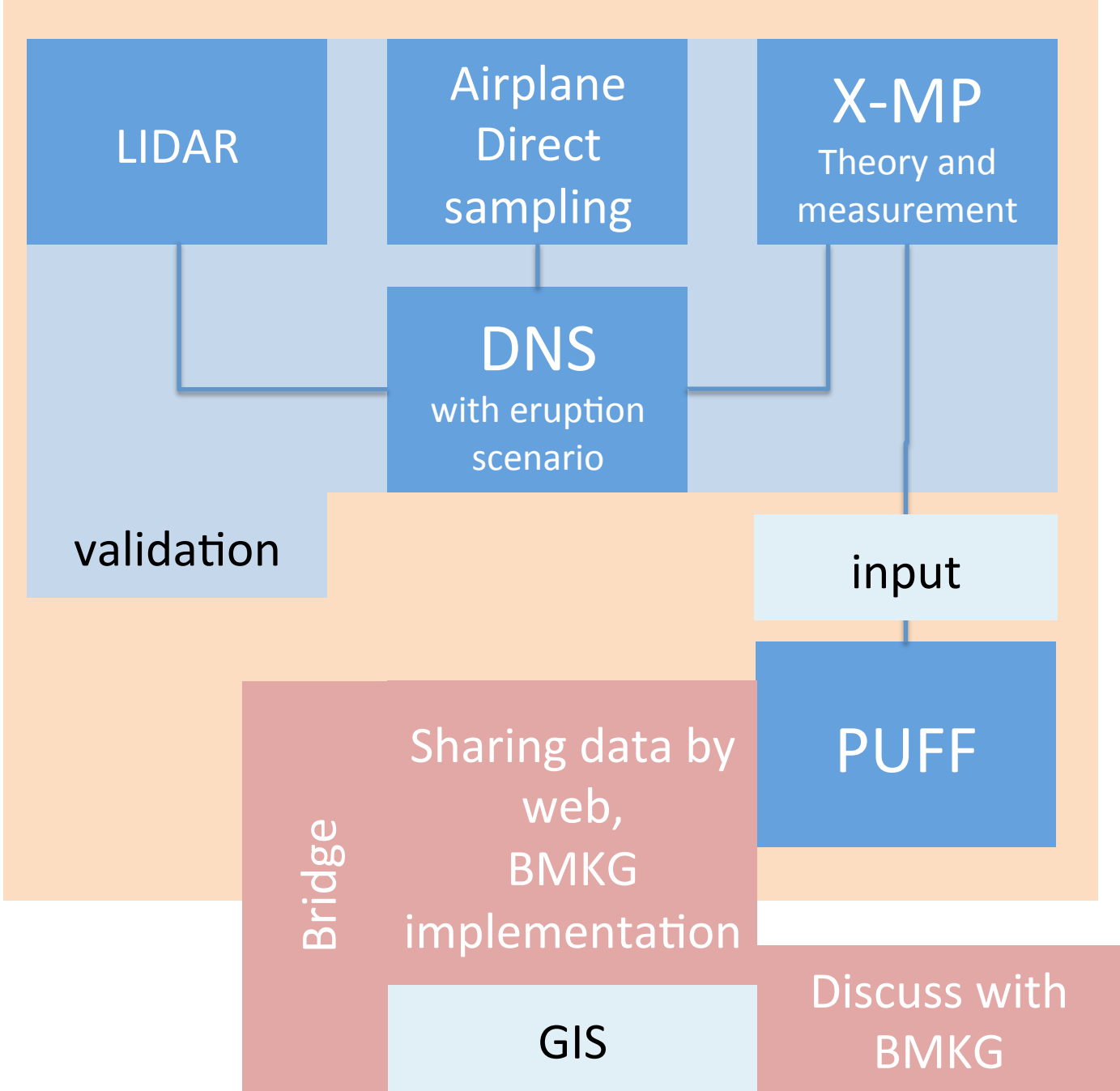


- Flow path through a cross section of an ash plume
- ◆ Raw data
- Interpolated filtered data, gridded to specifications

Gridded data in A1: PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Z	Y coordinate in 1000 meters																
mag	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
1400	8	13	31	62	88	88	73	63	57	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	-	-	-	-	-	-	-	-	52	71	95	94	61	32	24	21	16
1000	27	46	53	54	60	59	48	36	29	27	22	13	6	3	2	4	6
800	6	8	17	28	35	38	46	50	42	33	30	28	22	15	9	4	2
600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	23
400	31	36	39	37	32	26	18	12	8	6	5	-	-	-	-	-	-

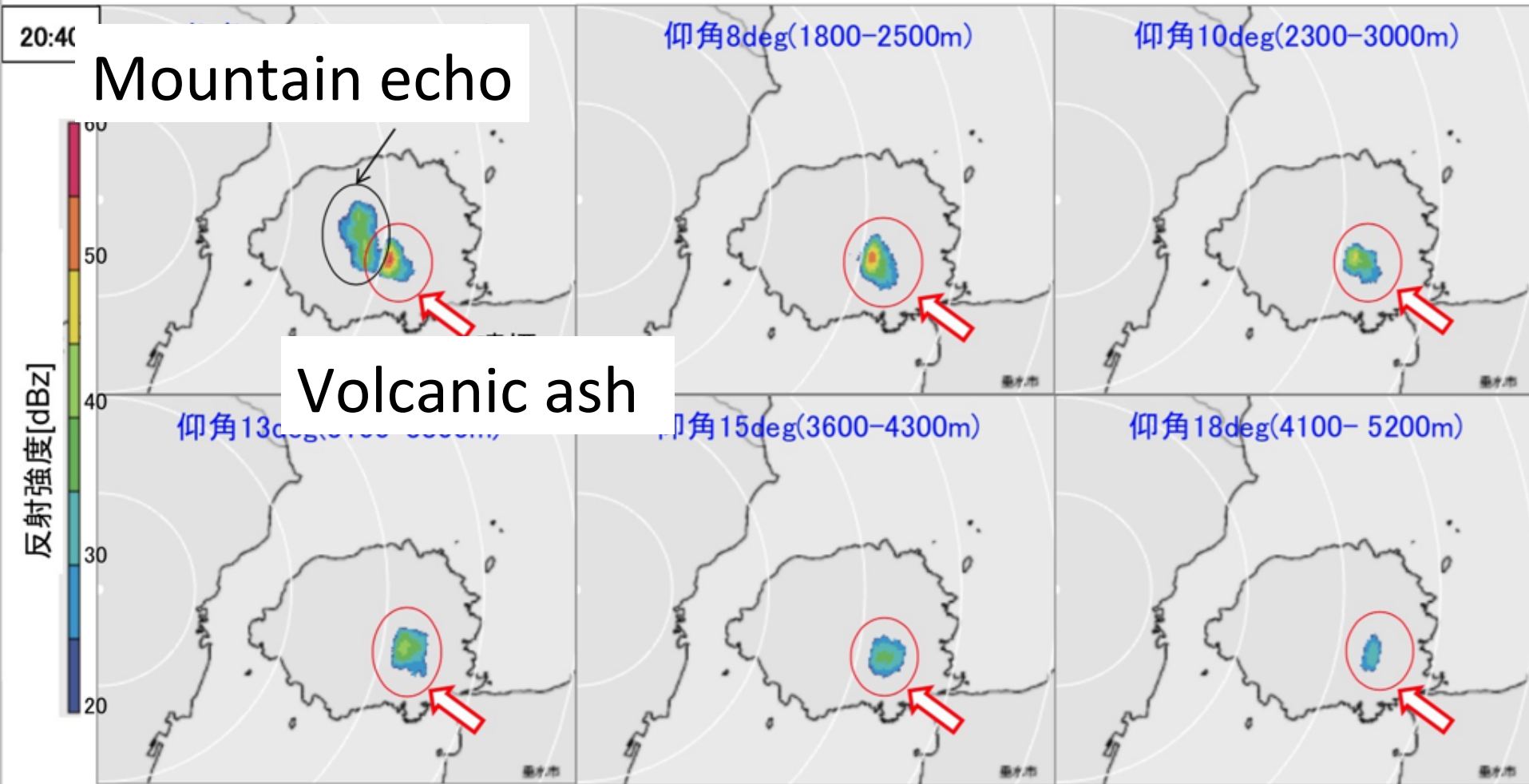
- No measurement



Observed volcanic ash by XMP at Sakurajima

仰角6~18degで噴火直後の噴煙が観測された

↓()内は火口直上の観測高度を表す



武岡台高校 2015年01月23日 20:40

Test result for estimating volcanic ash amount

Radar echo



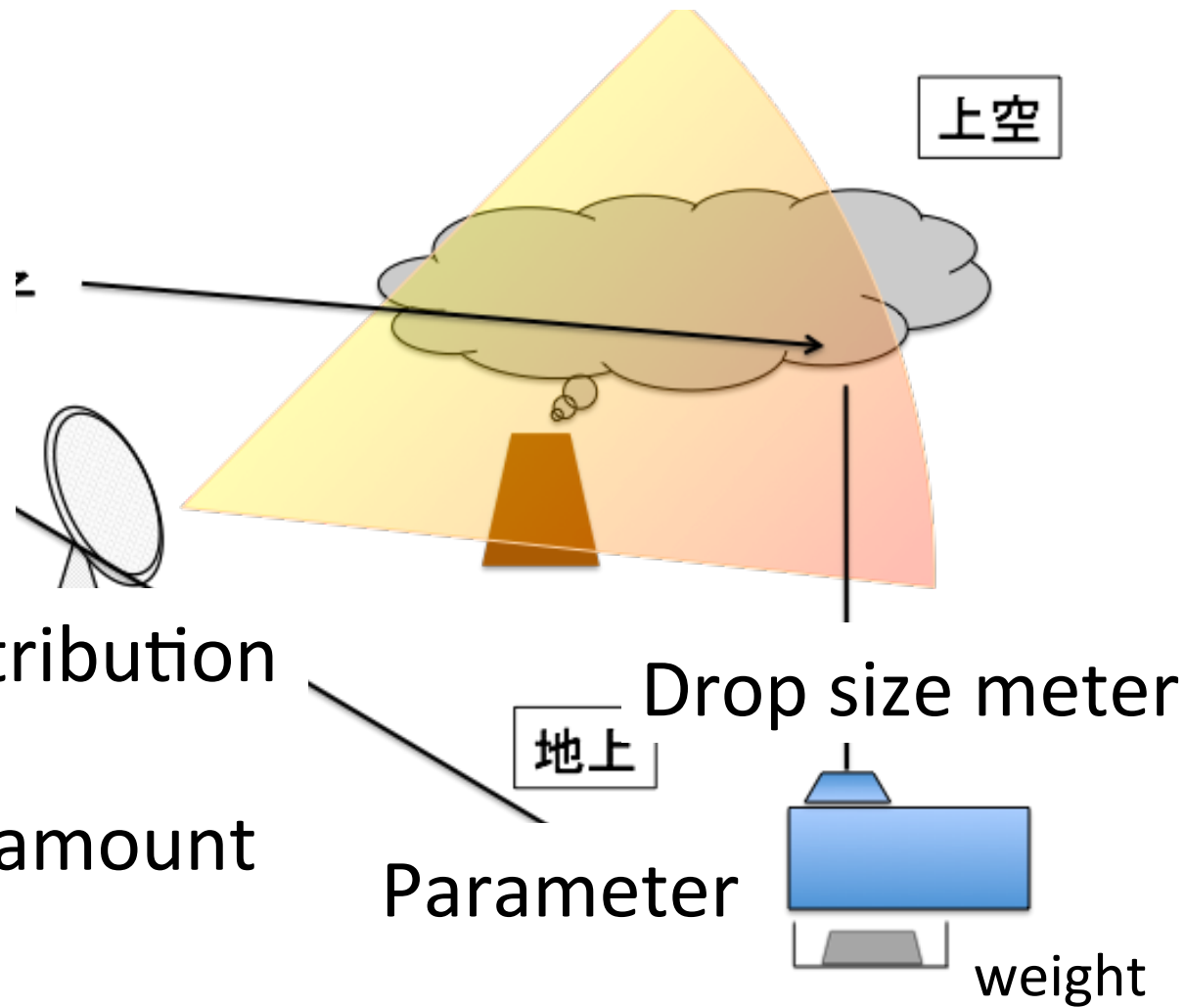
parameter



Drop size distribution



Volcanic ash amount



$Z=18.5\text{dBZ}$

$W=40.00\text{g/m}^2$

$Z=15.01, 18.07\text{dBZ}$

$W=15.02\text{g/m}^2$

Planned activities

- Obtaining license for releasing wave
- Making a database of rainfall amount
- Connecting radar to each system

- Establishing sequence for volcanic eruption
- Establishing trouble shooting

- Keep developing to estimate volcanic ash