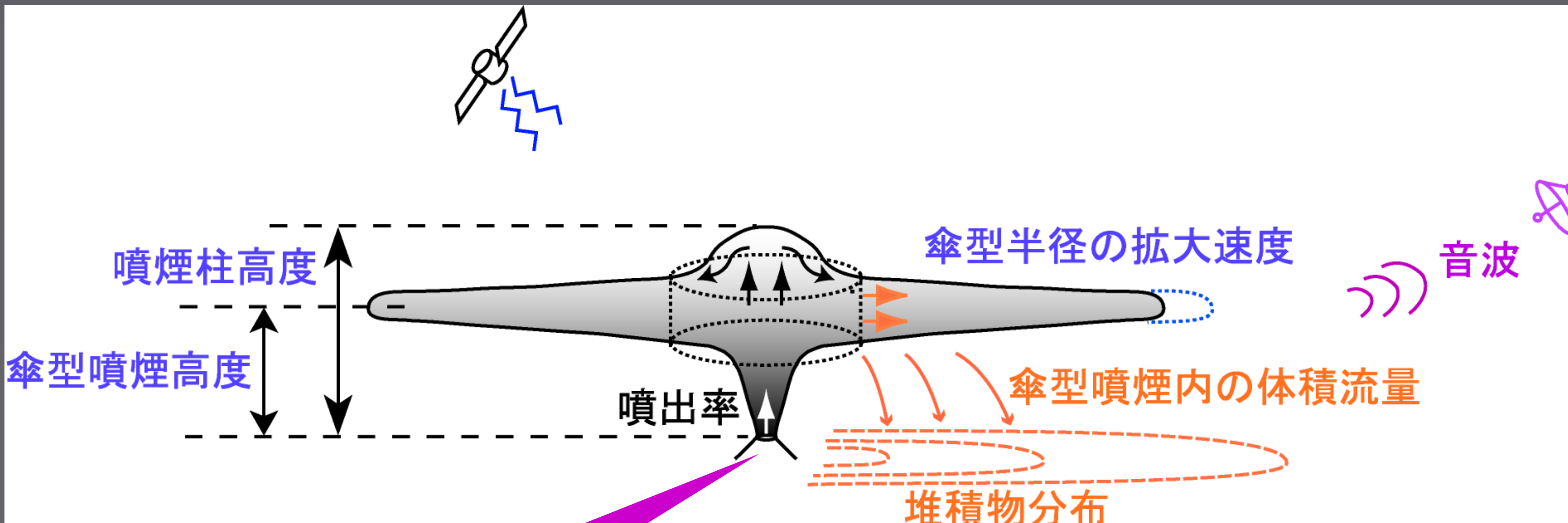
3次元シミュレーションによる 2014年Kelud火山噴火の再現

鈴木雄治郎[1]・井口正人[2]・前野深[1]・中田節也[1]
橋本明弘[3]・新堀敏基[3]・石井憲介[3]
（[1]地震研, [2]京大, [3]気象研）

目的:爆発的噴火現象の定量的理解



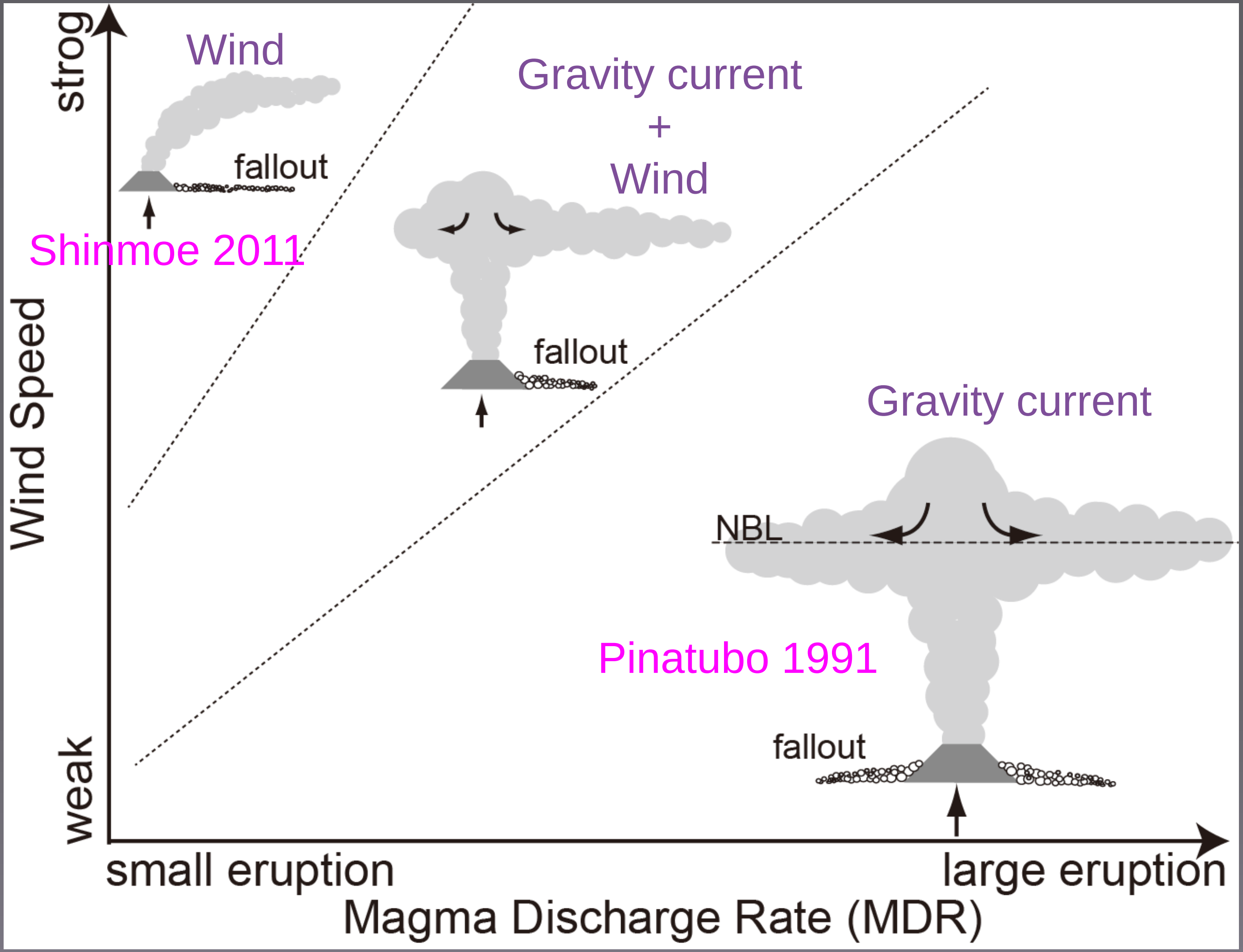
噴出率
噴出速度
火口半径
噴出温度　etc.

噴出･大気条件⇔観測量

様々な観測データを整合的に
説明できる噴出･大気条件を探す.

→　噴出率･風が支配要因

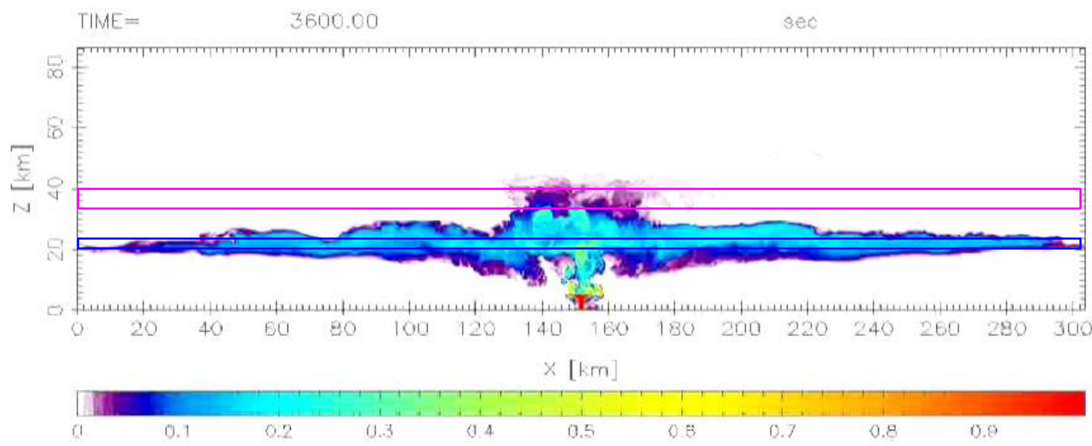
噴煙挙動の支配要因



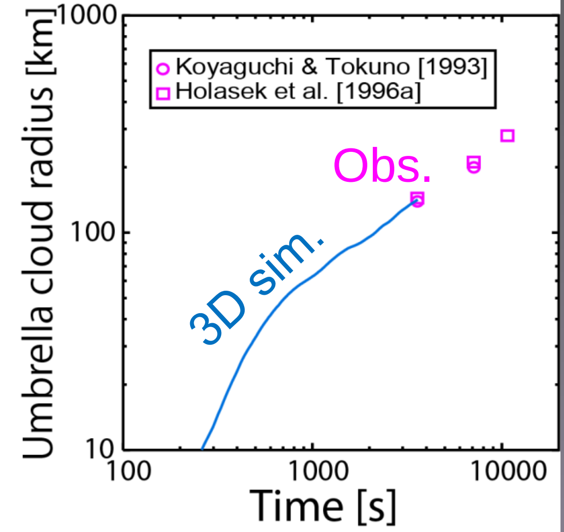
strog
Wind
fallout
Shinmoe 2011
Gravity current
+
Wind
fallout
Wind Speed
Gravity current
NBL
Pinatubo 1991
fallout
weak
small eruption
large eruption
Magma Discharge Rate (MDR)

Pinatubo 1991 Eruption

Distribution of mass fraction of magma in cross-section



Suzuki and Koyaguchi (2009)



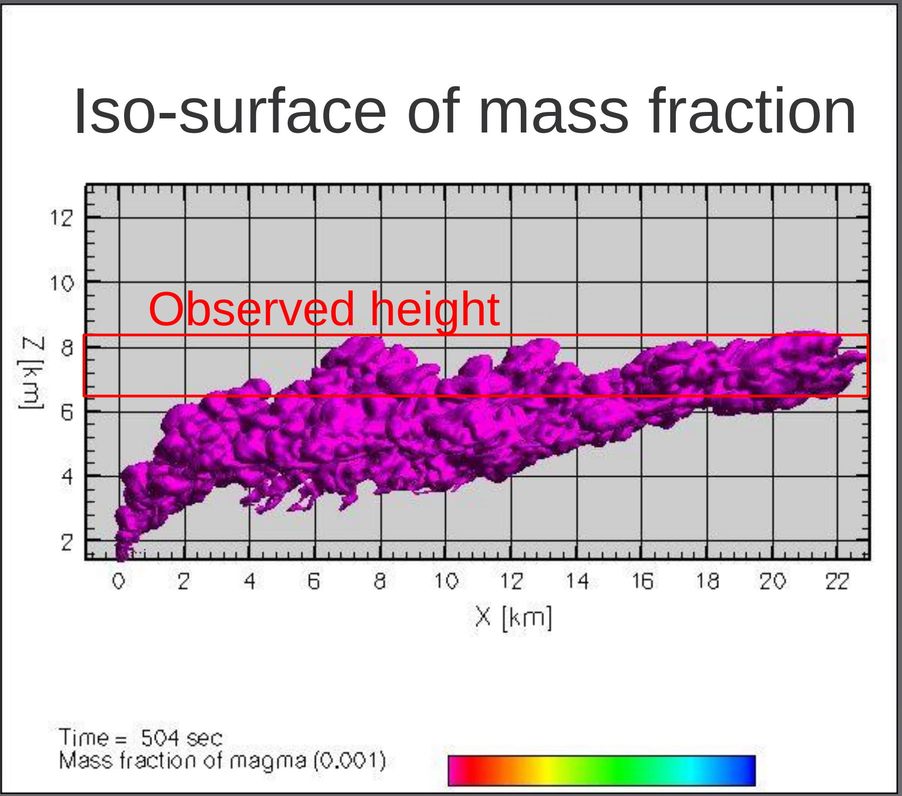
* plume height
* neutral buoyancy level
* umbrella cloud radius

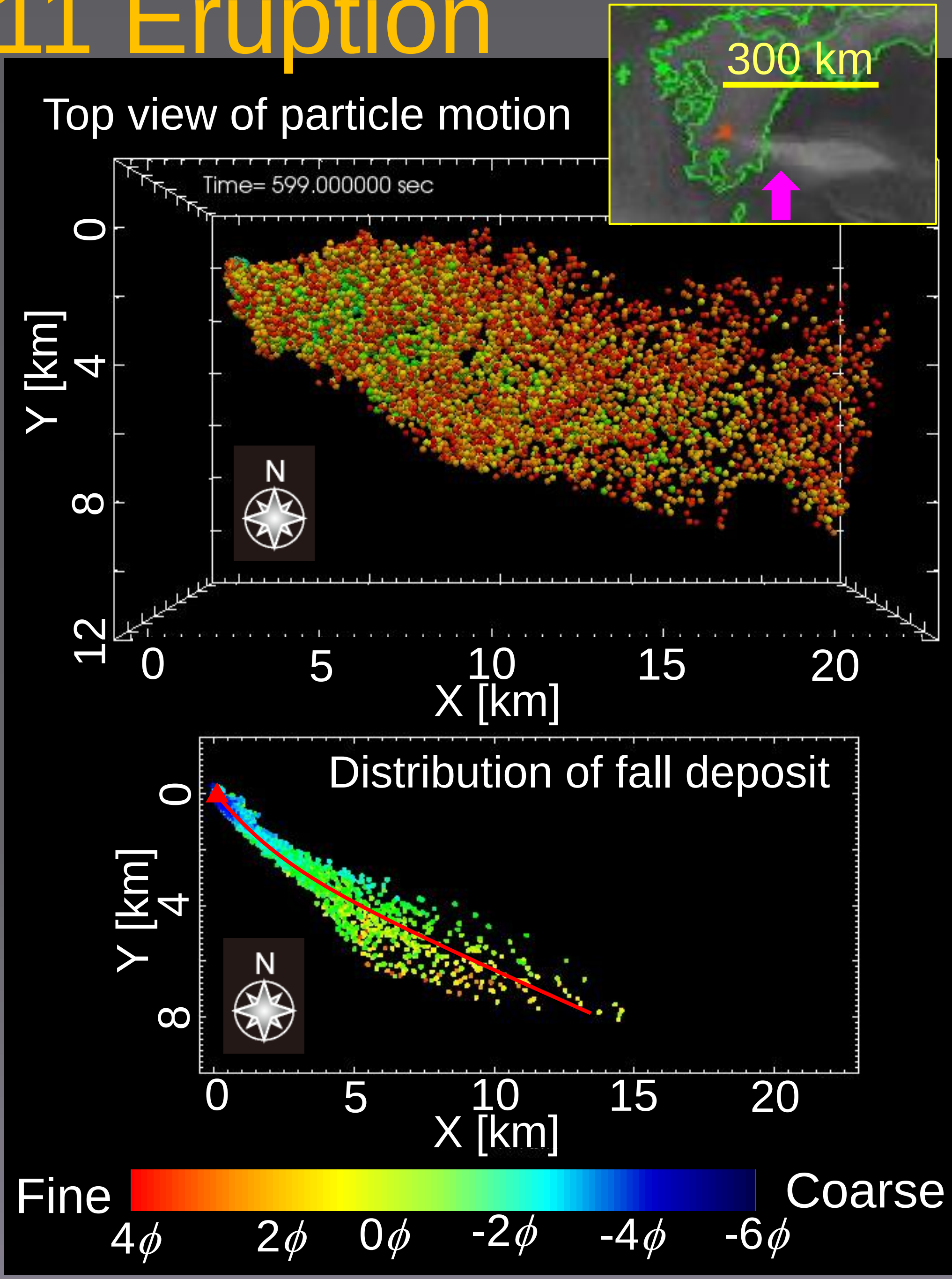
$MDR = 1.0 \times 10^9$ kg s^{-1}

・噴出物総量/噴火継続時間
から求めた噴出率と整合的

Shinmoe-dake 2011 Eruption

Suzuki and Koyaguchi (2013)



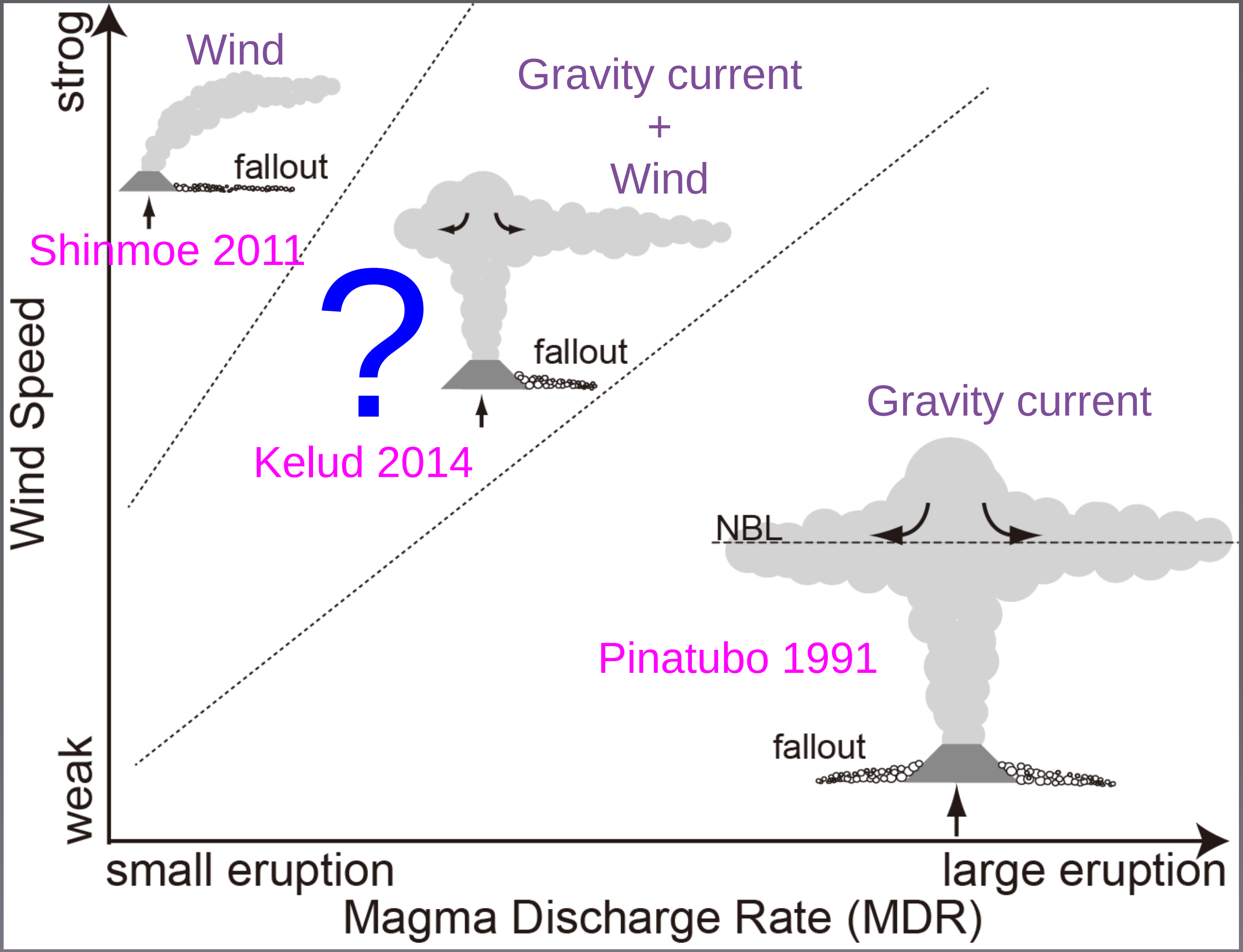


$MDR = 1.5\mathrm{x}10^{6}\ \mathrm{kg\ s^{-1}}$

- 噴出物総量/噴火継続時間
- 傾斜変動＋測地データ

から求めた噴出率と整合的

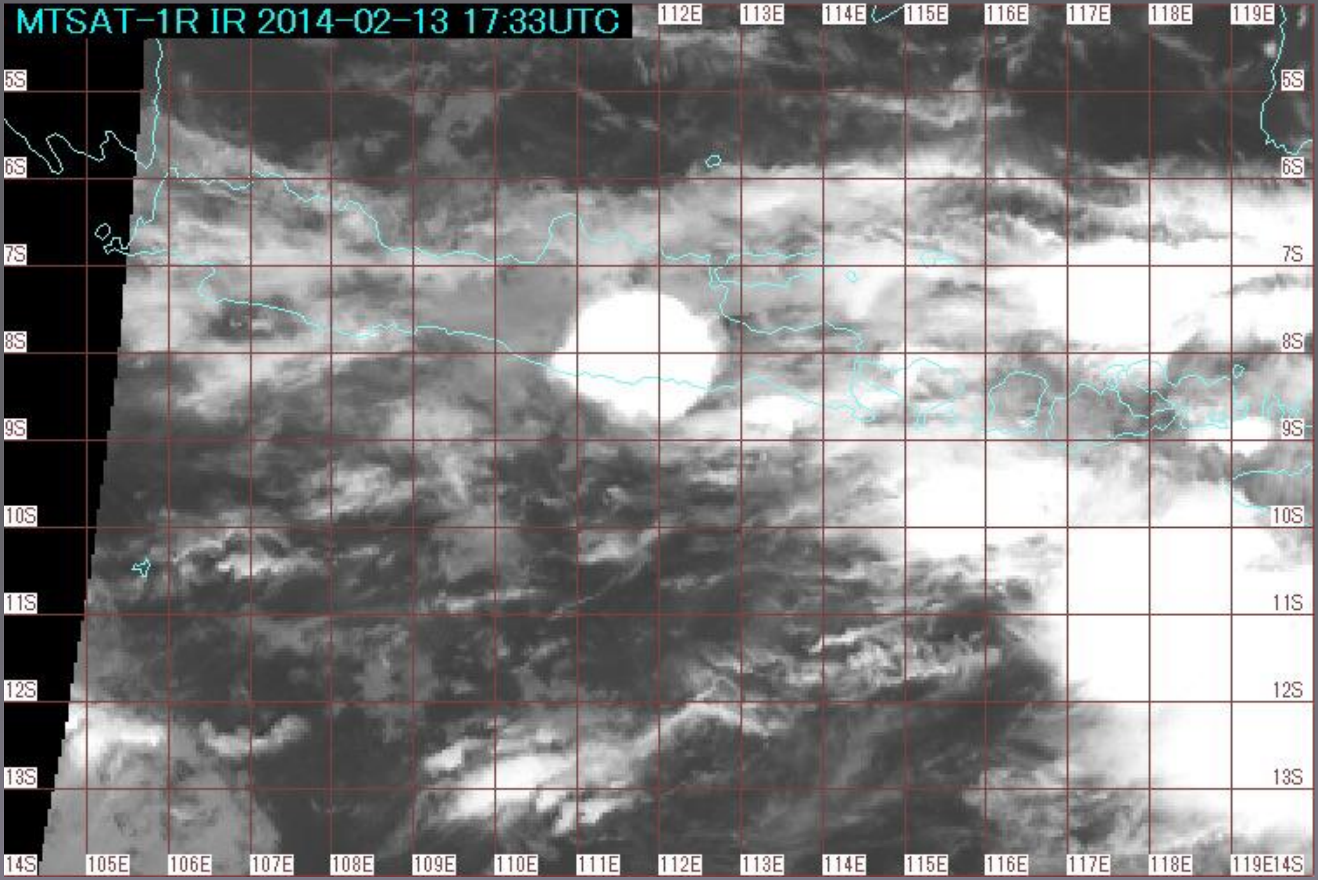
噴煙挙動の支配要因



非対称性の強いと思われる中間状態の
噴煙挙動の理解を目指す

Kelud 2014 Eruption

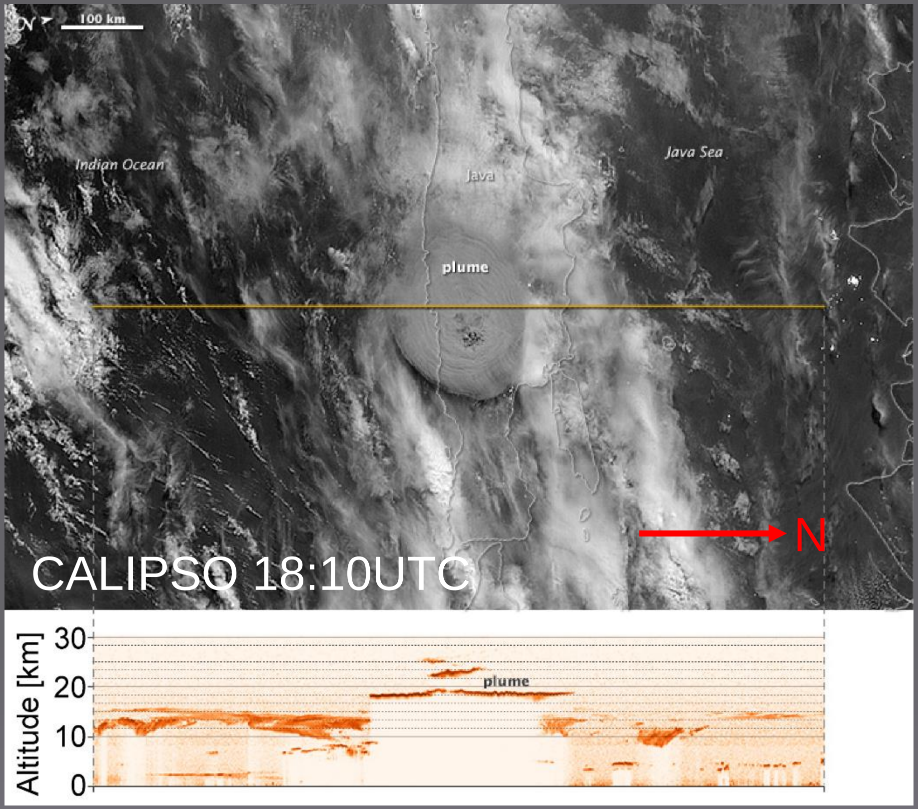
インドネシア・ジャワ島東部
2/13 15:45UTC頃から爆発的噴火開始
16:00過ぎから18・19時頃まで強い噴煙放出



MTSAT rapiod scan (infrared imagery)

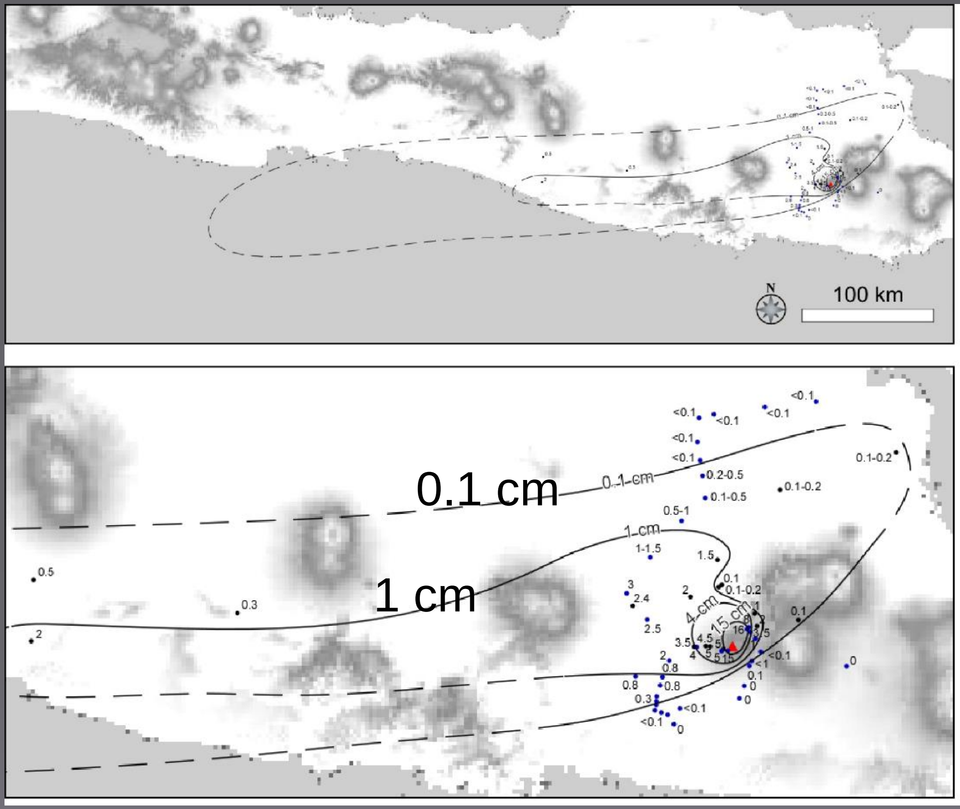
Observed data of Kelud Eruption

噴煙高度・傘型半径



傘型部:17-18 km asl.
中心部: 22-30 km asl.

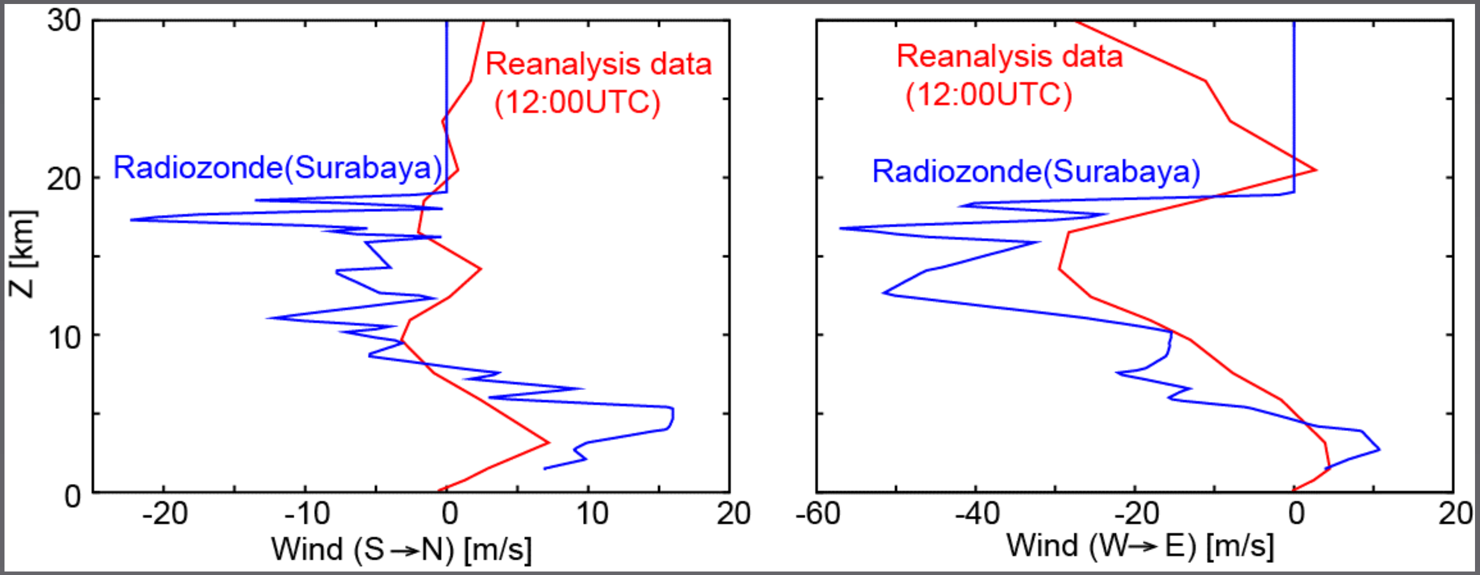
堆積物分布



主に西側に堆積
北・北東側にも少量の堆積
総体積　0.3 – 0.4 km^3
MDR = 4 – 6 x 10^7 kg s^{-1}

Simulation Setting

Wind profiles



Magma temperature: 1273 K

Volatile content: 5 wt%

Exit velocity: 170 m/s

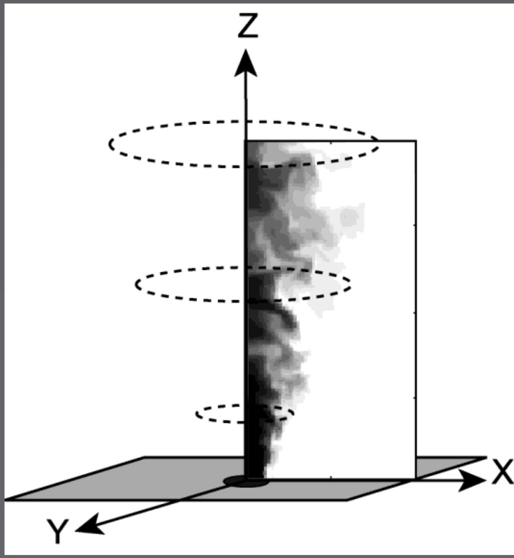
Altitude of vent: 1500 m

	MDR	Atmosphere
Case 1:	4×10^{7} kg s^{-1}	Radiozonde
Case 2:	6×10^{7} kg s^{-1}	Radiozonde
Case 3:	6×10^{7} kg s^{-1}	Reanalysis

3D Numerical Model

Fluid motion: pseudo-gas model [Suzuki et al., 2005]

- the mixture of gas phases and pyroclasts is treated as a single gas
- mixture density is calculated from mixing ratio



Particle motion: Lagrangian model

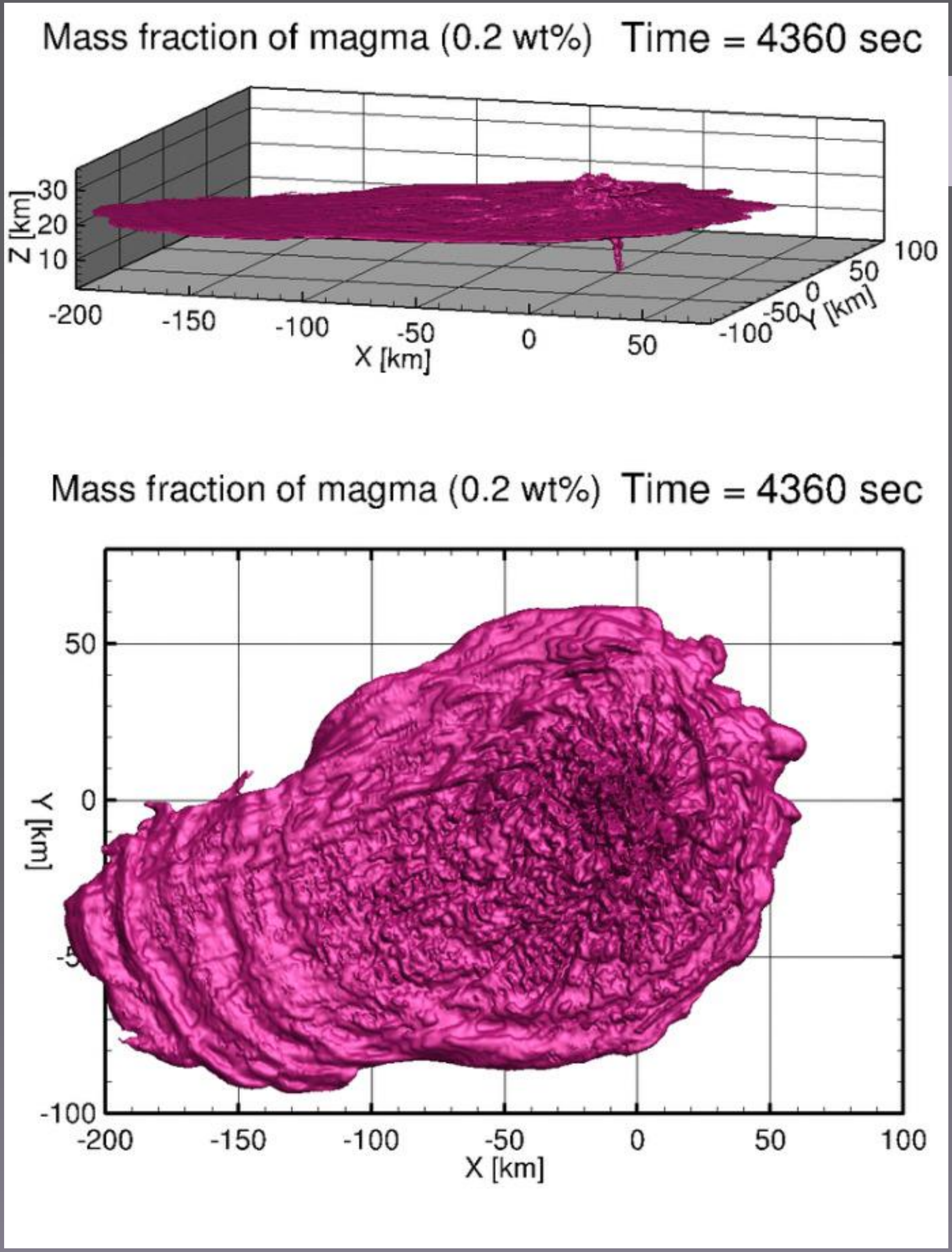
- Lagrangian marker particles of ideal sphere
- 200 or 300 particles per second.
- Grain sizes are randomly selected within 0.0625 – 64 mm (4ϕ) (-6ϕ)
- Terminal velocity

$$V_t = \frac{g\sigma d^2}{18\mu}\ , \qquad V_t = d\left(\frac{4d^2\sigma^2}{225\mu\rho_a}\right)^{1/3}, \qquad V_t = \left(\frac{3.1g\sigma d}{\rho_a}\right)^2$$

(Re < 6) (6 < Re < 500) (Re > 500)

Representative Results

Case 1
MDR: 4 x 10^7 kg s^{-1}
ATM: Radiozonde

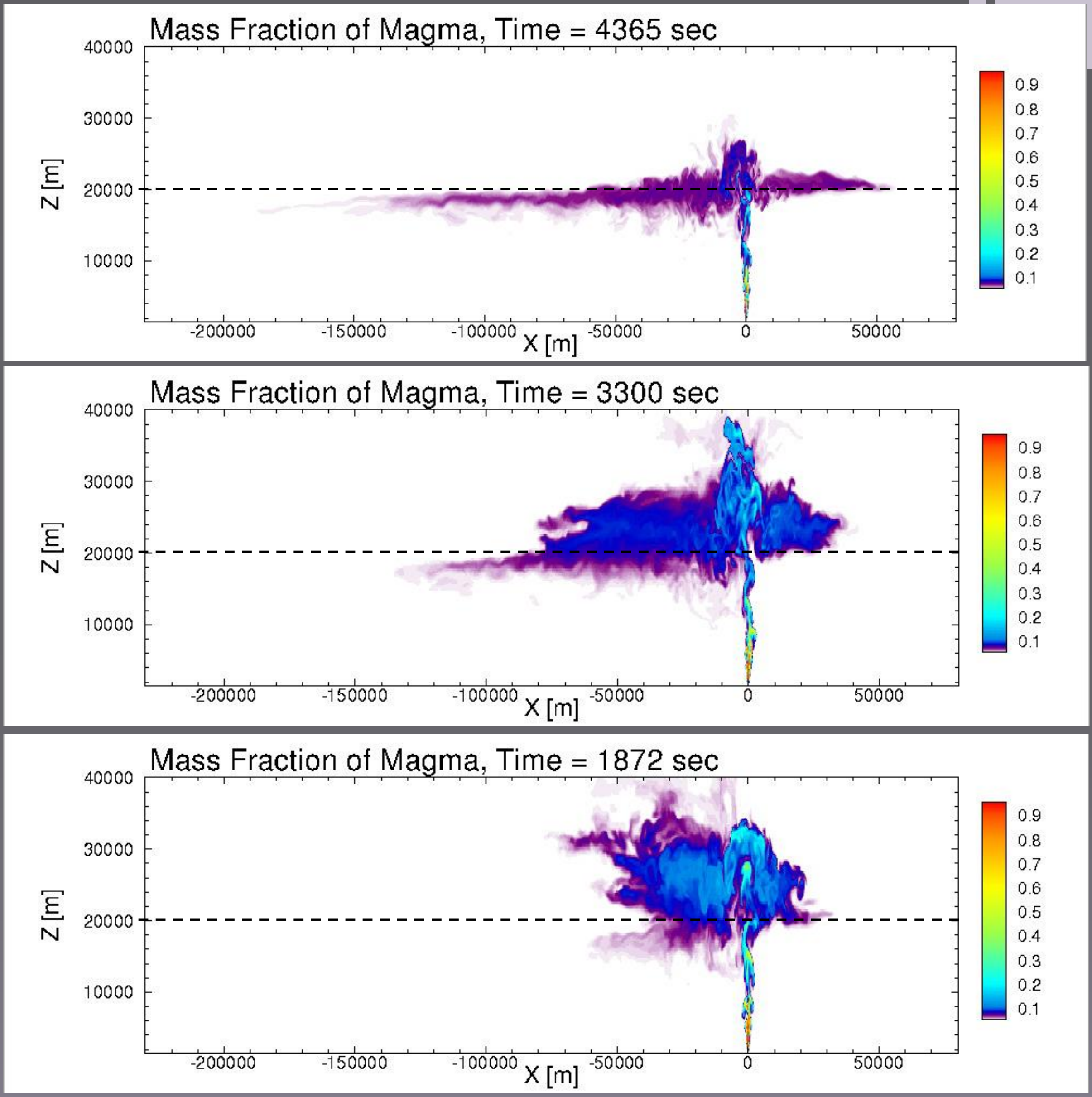


Plume Heights

Case 1
MDR: 4×10^7 kg s^{-1}
ATM: Radiozonde

Case 2
MDR: 6×10^7 kg s^{-1}
ATM: Radiozonde

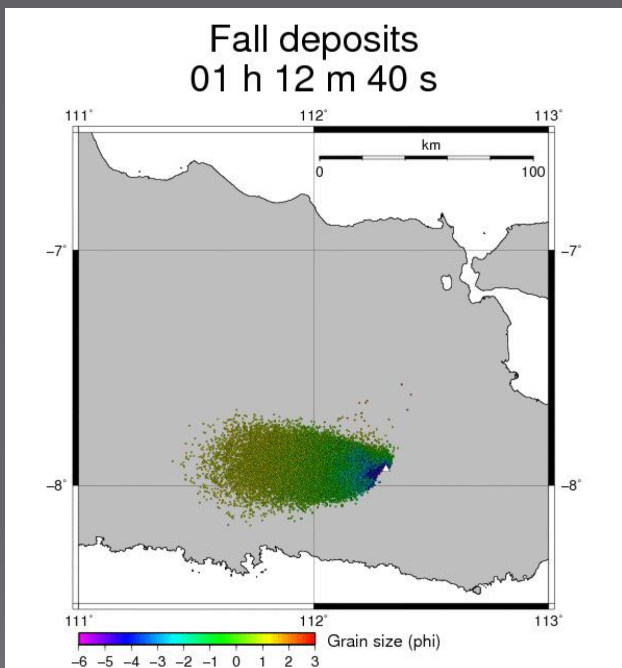
Case 3
MDR: 6×10^7 kg s^{-1}
ATM: Reanalysis

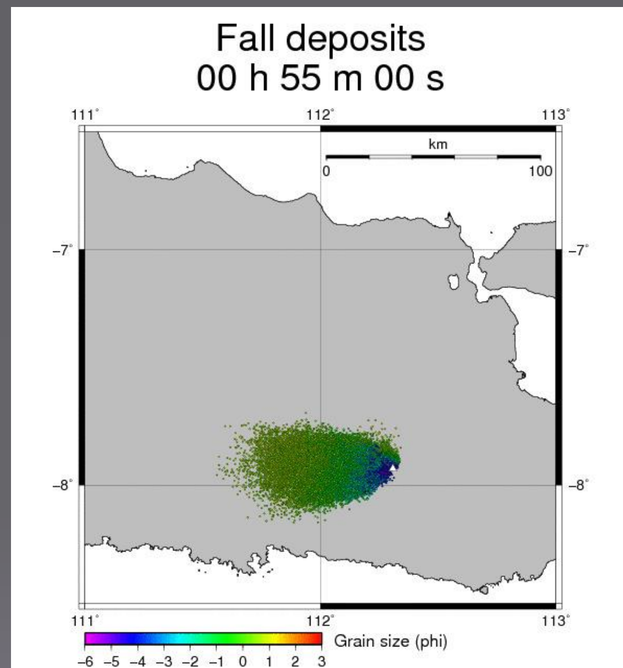


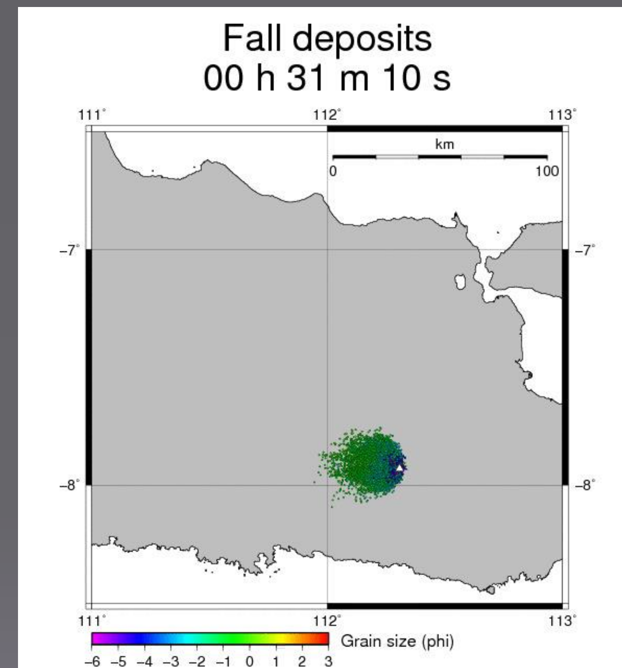
風速の大きい高度17-18kmで傘型噴煙が卓越

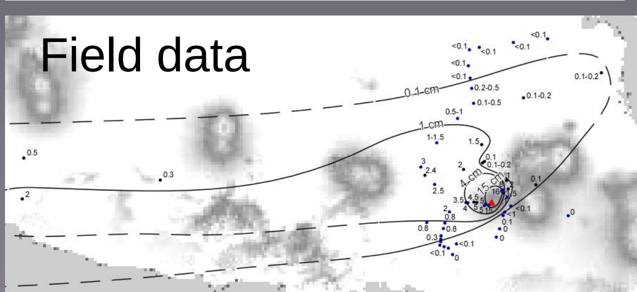
Fall Deposits

Case 1	Case 2	Case 3
MDR: 4x10^{7} kg s^{-1}	*MDR*: 6x10^{7} kg s^{-1}	*MDR*: 6x10^{7} kg s^{-1}
ATM: Radiozonde	ATM: Radiozonde	ATM: Reanalysis



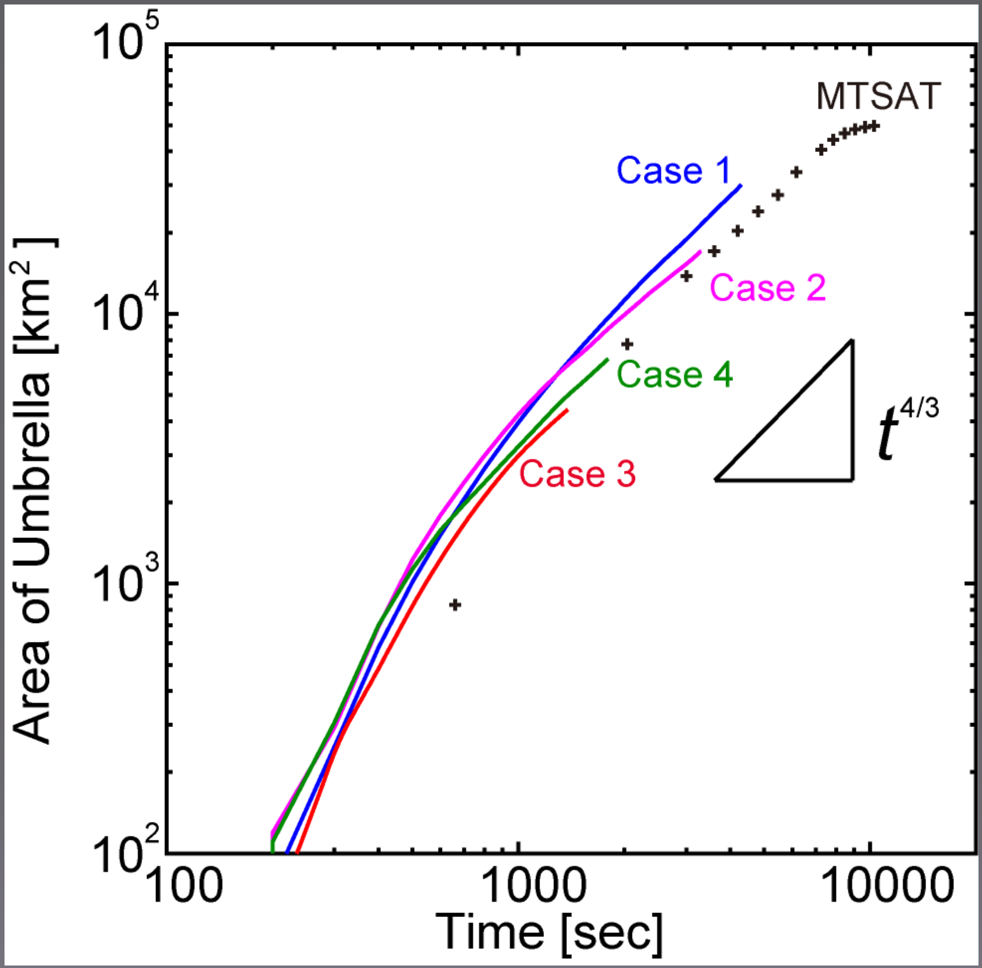






主に火山より西に堆積
北側・北東側にはほぼ堆積しない
→ 実際には噴煙高度が低いフェーズが存在した可能性を示唆．後半の火砕流からの灰神楽か

Expansion of Umbrella Cloud



傘型噴煙の水平面積Sの拡大率

- Observation: ~4/3
- Case 1: ~ 4/3
- Case 2: < 4/3
- Case 3: < 4/3

◎Simple model of umbrella cloud
: Gravity current model

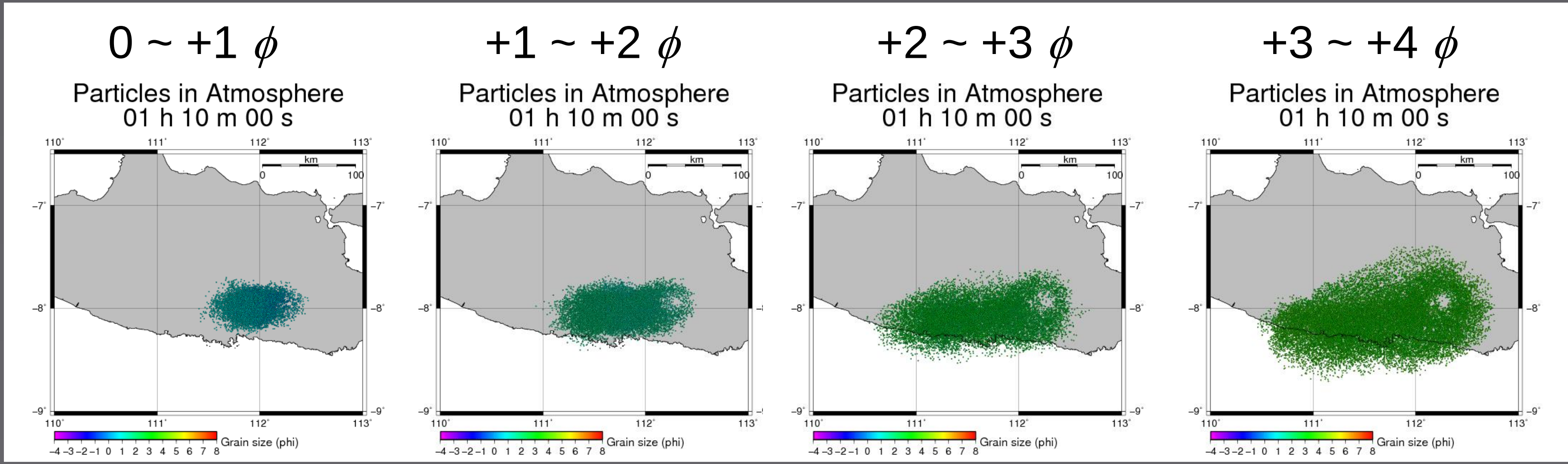
[Sparks et al., 1998]

$$S = \left[\frac{3\lambda N \dot{V}_U}{2\pi}\right]^{\frac{1}{3}} t^{\frac{4}{3}}$$

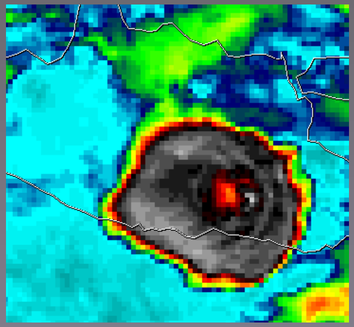
S: Area of umbrella
N: Brant-Vaisalla frequency
*V*U: volumetric flow rate
t : time

粒子サイズ毎にみた噴煙拡大

3D results



Satellite image



傘型面積

3D計算結果 ＞人工衛星画像

・衛星画像で見えている粒子サイズ・粒子濃度

・計算で用いている圏界面の風速が大きい

（Radiozonde data in Surabaya)

再解析データのほうが実際に近い可能性

Summary

- 様々な風の影響下での噴煙挙動を3次元モデルで再現することができた

- 複数の観測データと計算結果を比較することで、噴出条件・大気条件に拘束を与えられる可能性

- Kelud 2014噴火事例
  噴出率：　4×10^{7} kg s^{-1}
  大気状態：　再解析データ
  を与えた時に、観測量を整合的に説明する