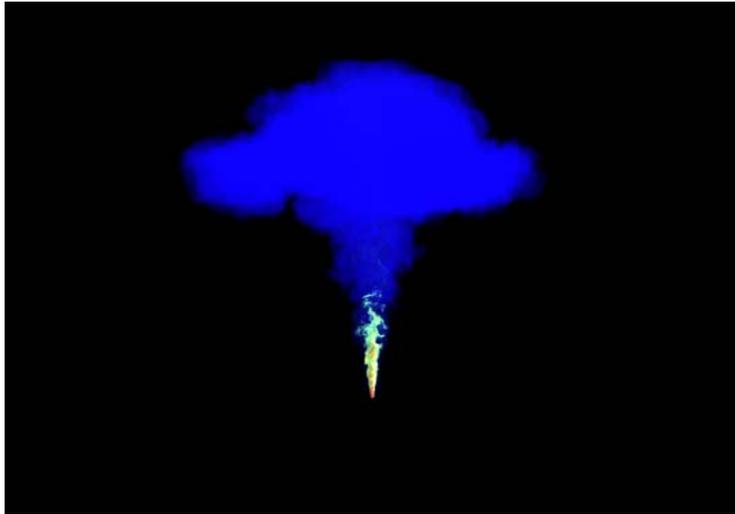


準プリニー式噴火の噴煙における粒子分配
～粒度毎の精密定量化

神奈川県温泉地学研究所 萬年一剛

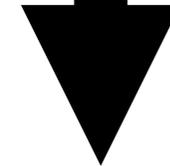


courtesy of Y.Suzuki



噴煙の数値計算

- ・火砕流発生条件
- ・1Dモデルとの比較



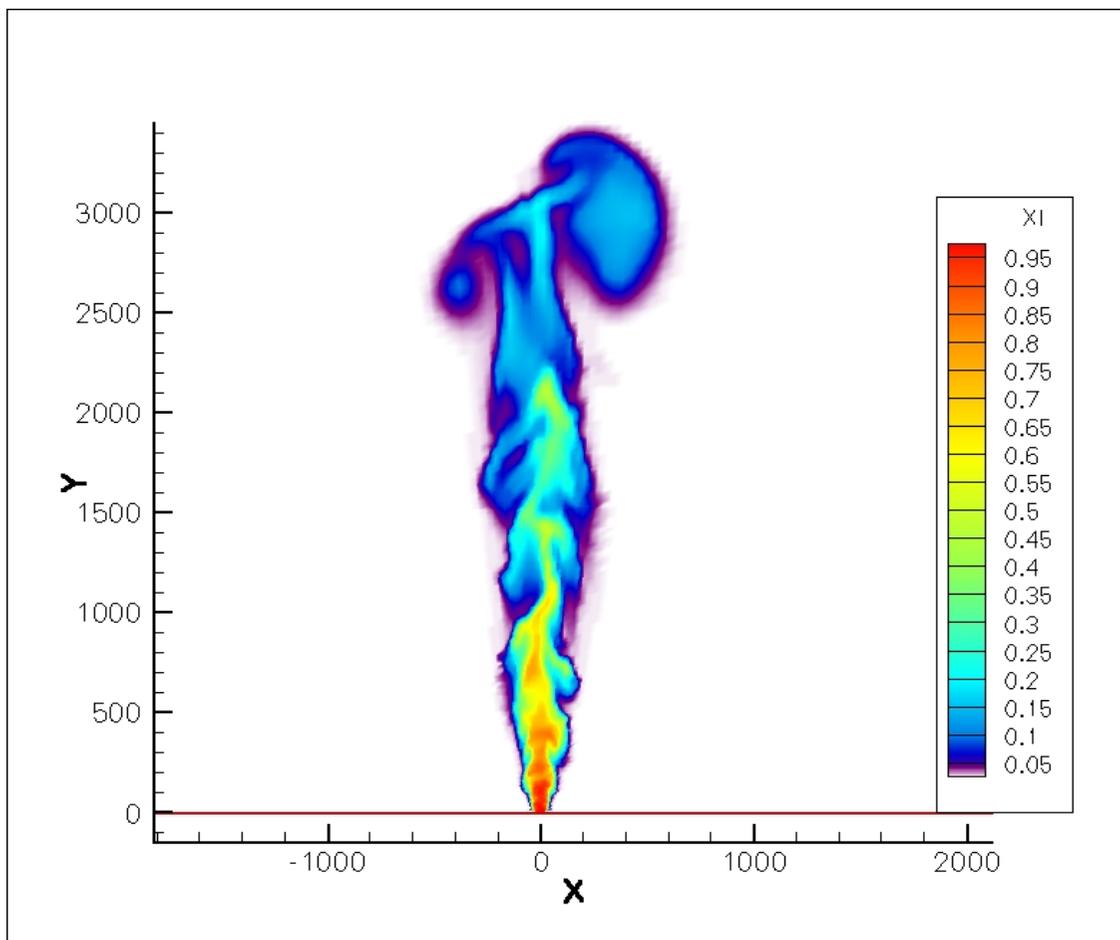
定量的な観測量

- ・噴煙の上昇速度
- ・噴煙の形態

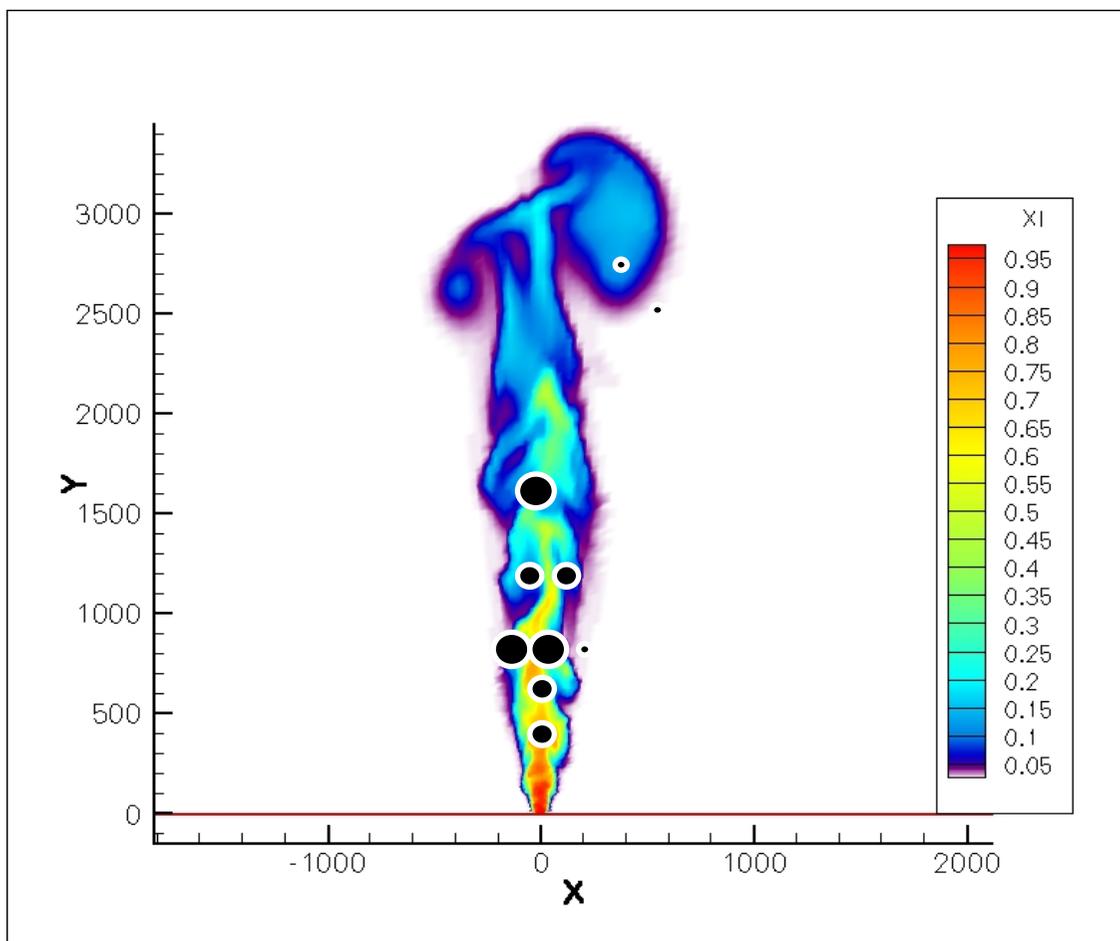
実際の噴火

意外に難しい「その場観測」

噴出物粒度組成＝噴煙の構造を知るためのproxy的観測量に！



トレーサーを用いて
観測を再現！

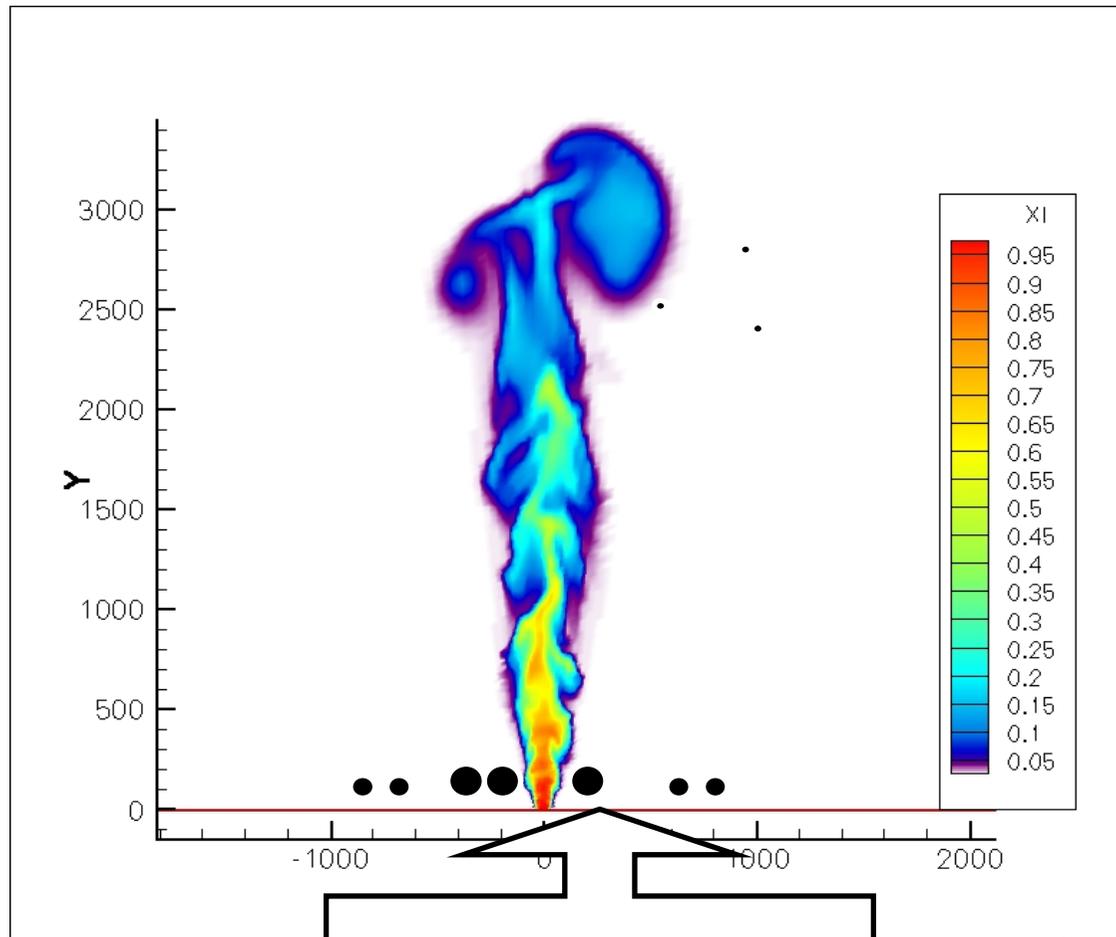


トレーサーを用いて
観測を再現！

トレーサの放出！

トレーサーを用いて
観測を再現！

地表における粒子の分布



野外で観測

伊豆大島1986年B噴火
噴出物で実施

本発表のメニュー

準プリニー式噴火とは？

粒子の分配測定と結果

1次元噴煙モデルの拡張による観測結果の説明

火山噴火

溶岩流出
水蒸気爆発

火砕物噴火

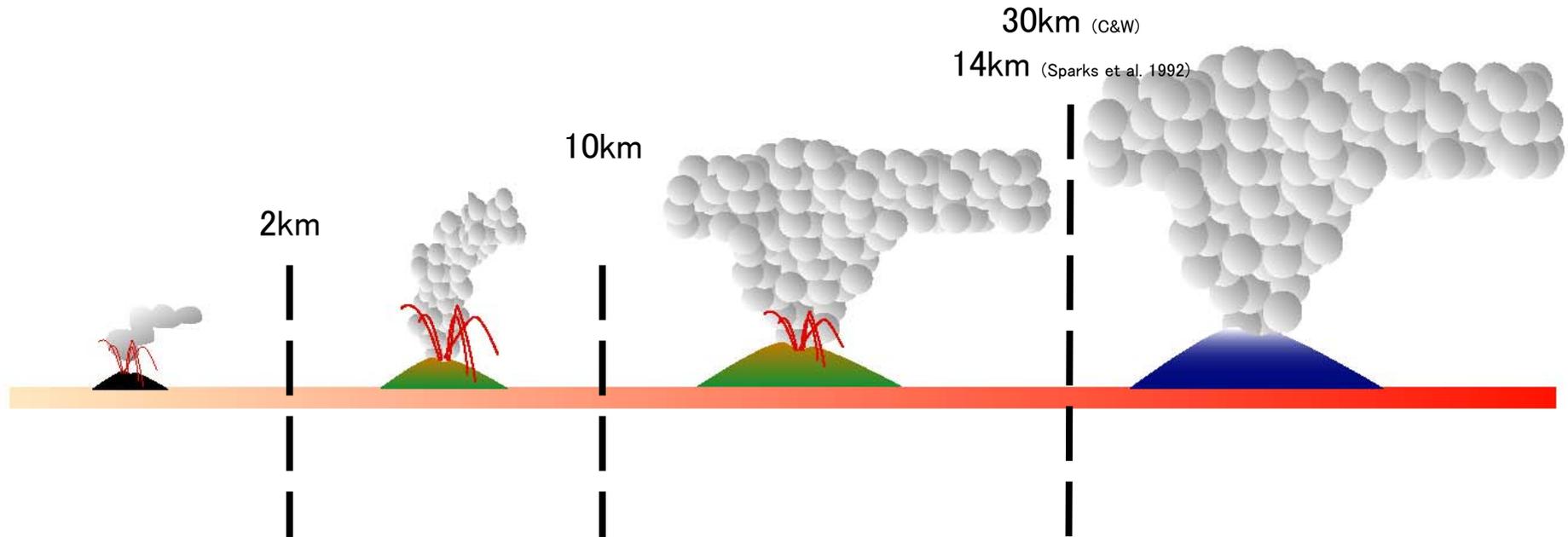
火山灰, 軽石, スコリアなどが生産され,
噴煙が形成される噴火

ハワイ式

ストロンボリ式

準プリニー式

プリニー式

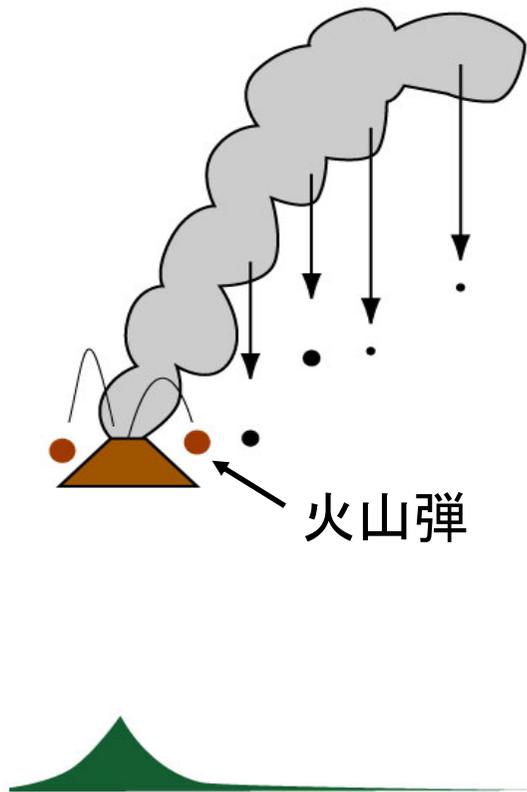


噴煙高度以外にも
堆積物の分布や放出される粒子の大きさに違いがある

ストロンボリ式 ・ハワイ式

火口周辺にcone
(火砕丘・スコリア丘)を形成.

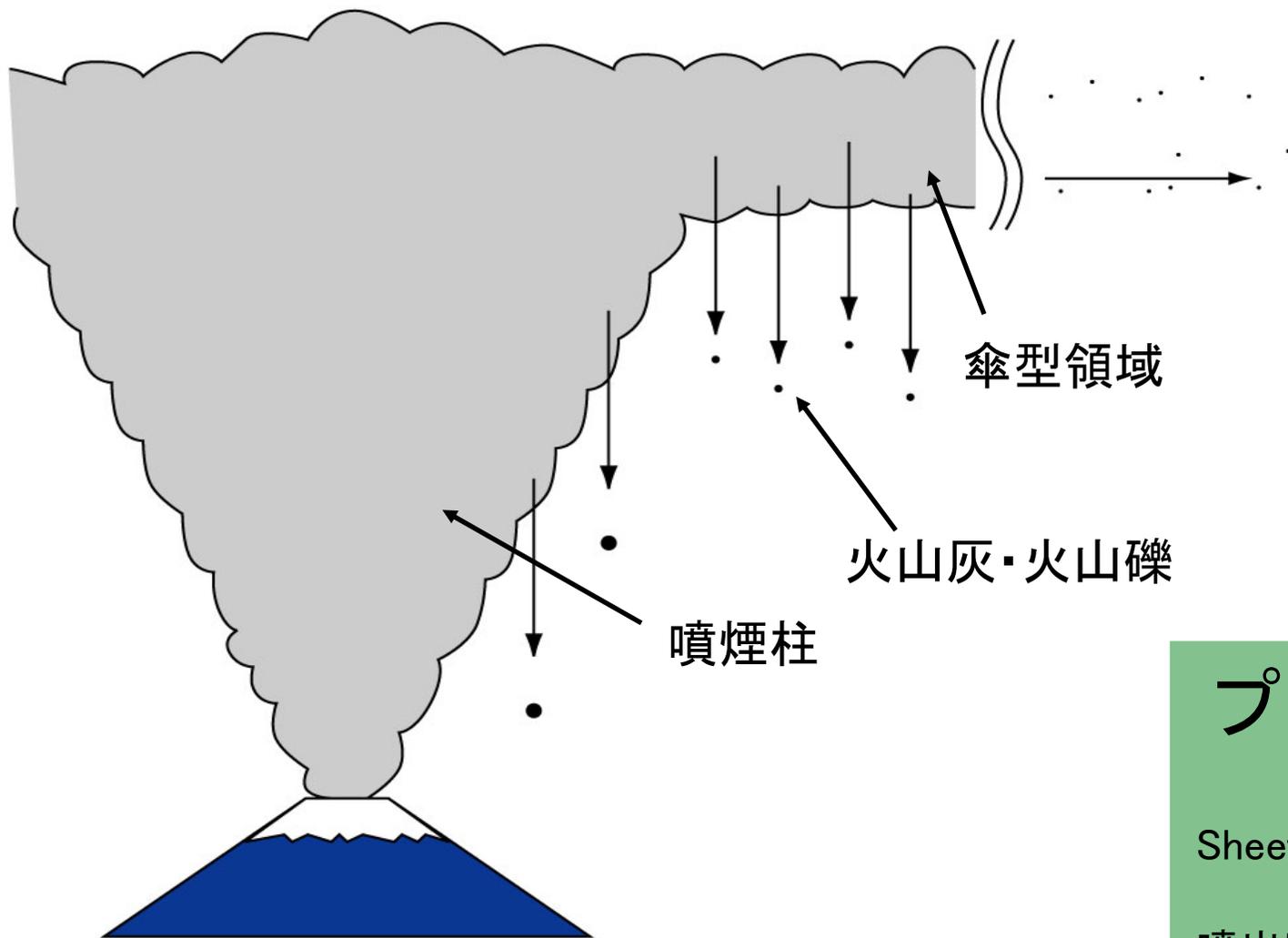
噴出物は粗粒粒子に富む



堆積物の断面の様子→cone堆積物



coneの典型:阿蘇火山米塚

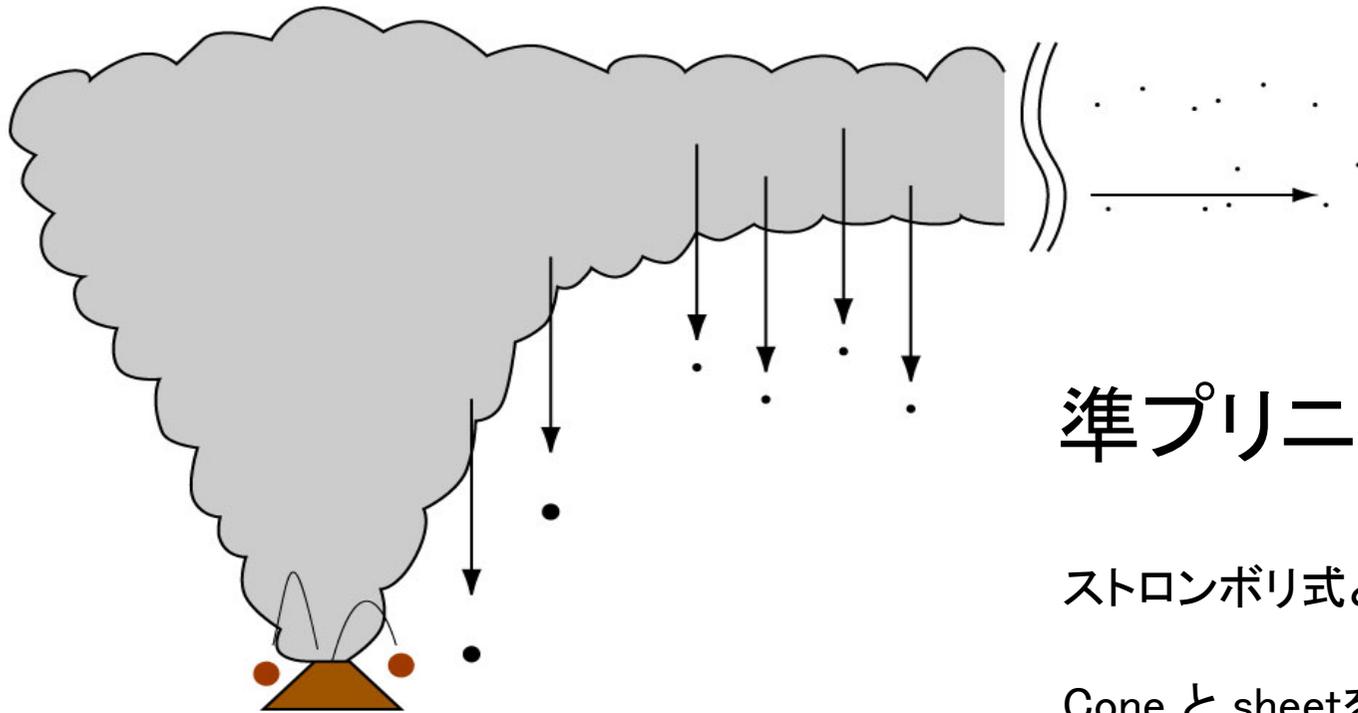


プリニー式

Sheet 堆積物を形成

噴出物は細粒粒子に富む？

堆積物の断面の様子→sheet堆積物



準プリニー式

ストロンボリ式とプリニー式の間

Cone と sheetを同時に形成

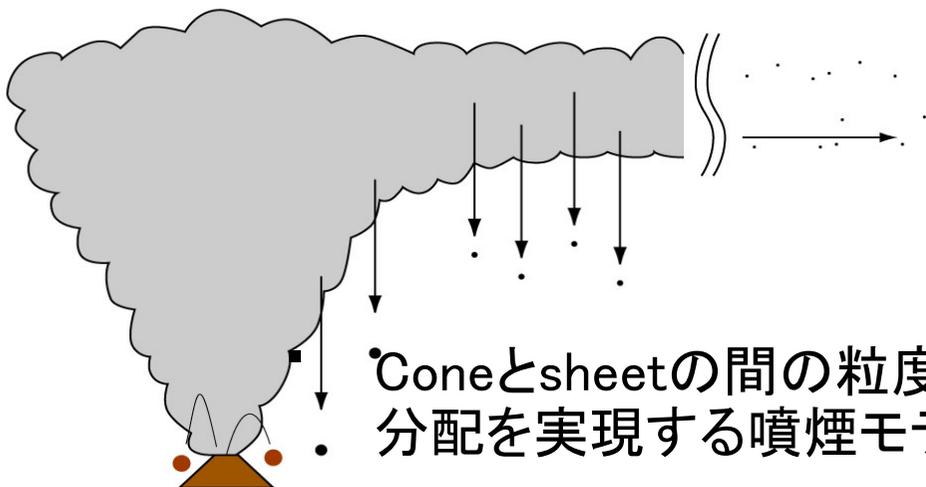
火口放出時の粒子の大きさ分布？
噴煙でのプロセス？



本研究の目的

ある大きさの粒子が
全噴出量の何パーセントを
占めるか？(粒度分布)

- 準プリニー式噴火の全噴出物粒度組成を精密に測定すること。
- 噴火の事例が多数あるわりには全噴出粒度組成が報告されている例はほとんど無い。



- Coneとsheetの間の粒度ごとの分配係数を明らかにし、そのような分配を実現する噴煙モデルを構築する。
- 従来の噴煙モデルでは準プリニー式噴火におけるcone形成を説明できていない。



B火口群の噴火による噴煙柱

富士山頂より



野島崎より

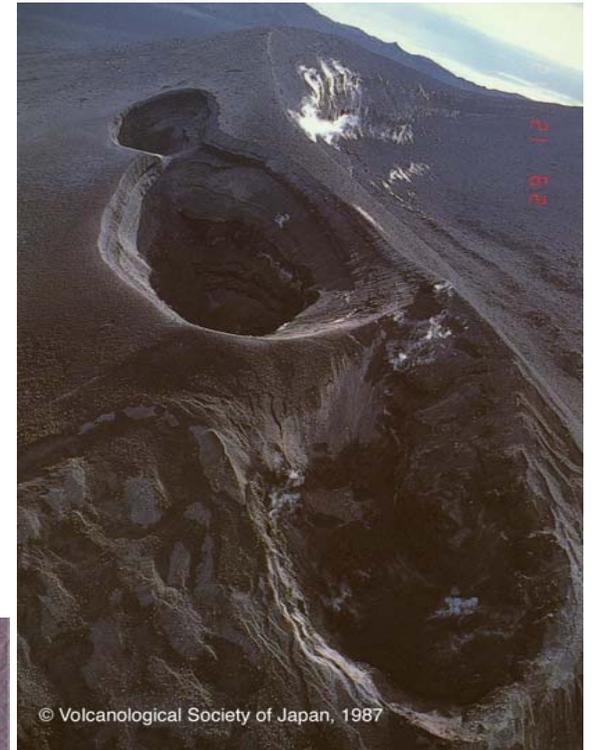
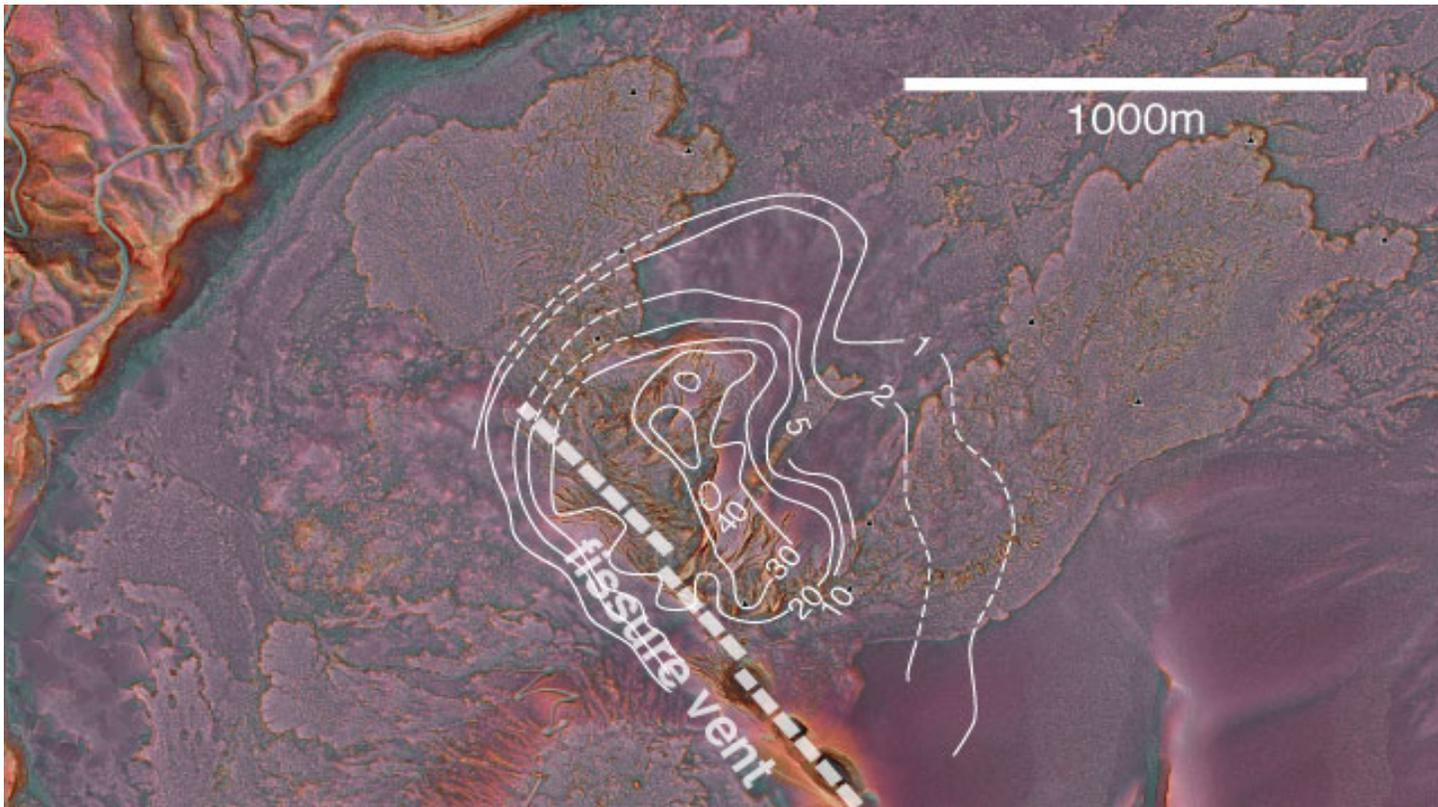


16:50

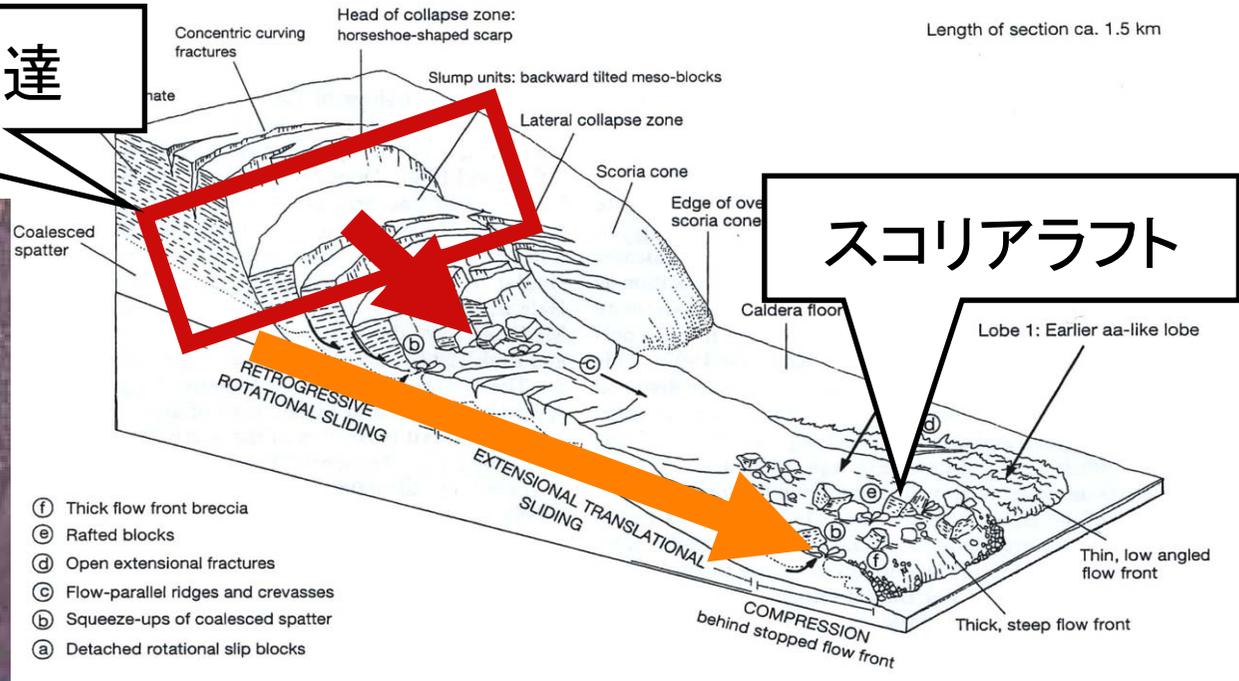


cone

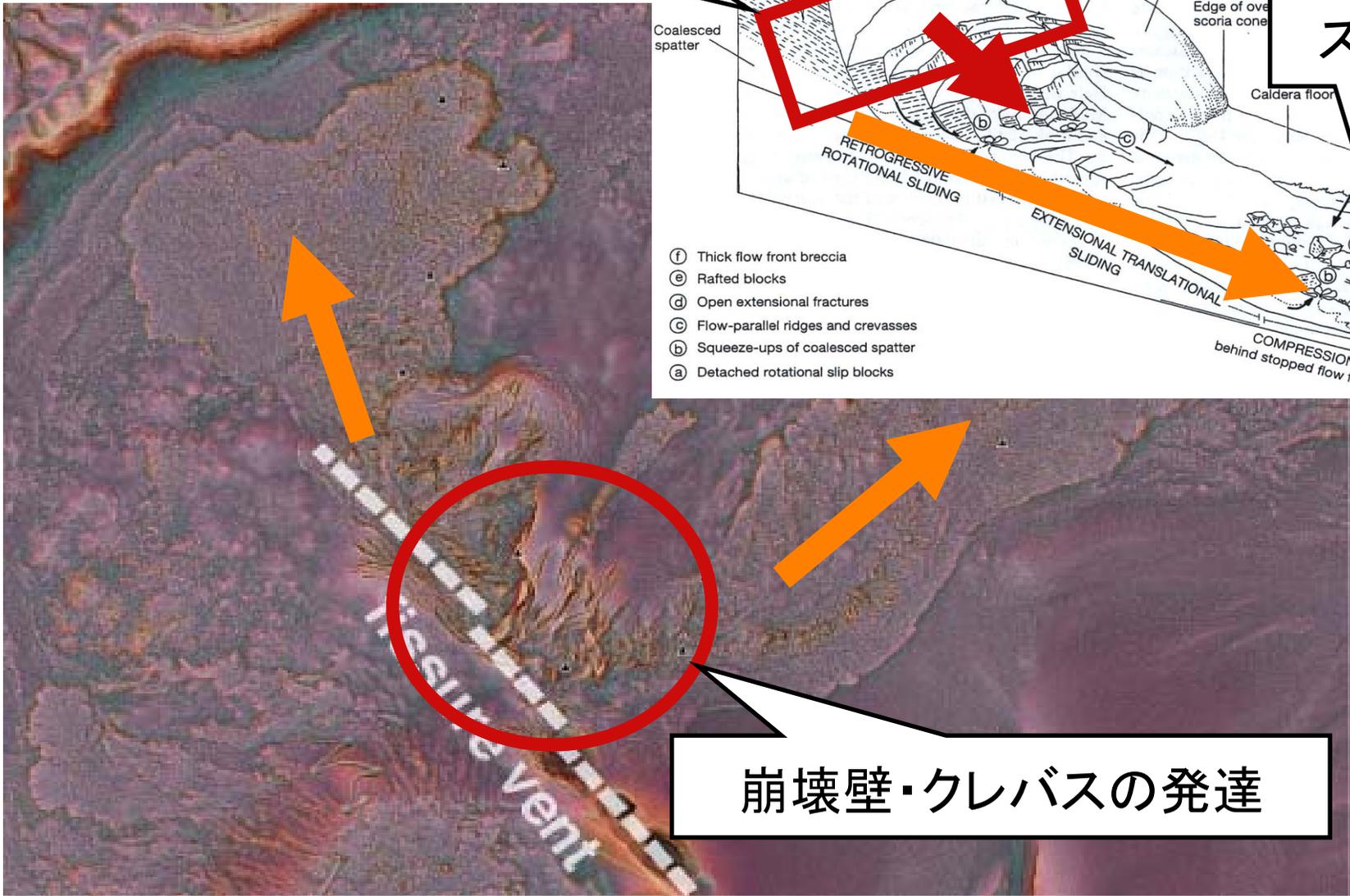
- 高さ40m
- 厚さが1mを超える範囲＝面積0.5km²



崩壊壁・クレバスの発達

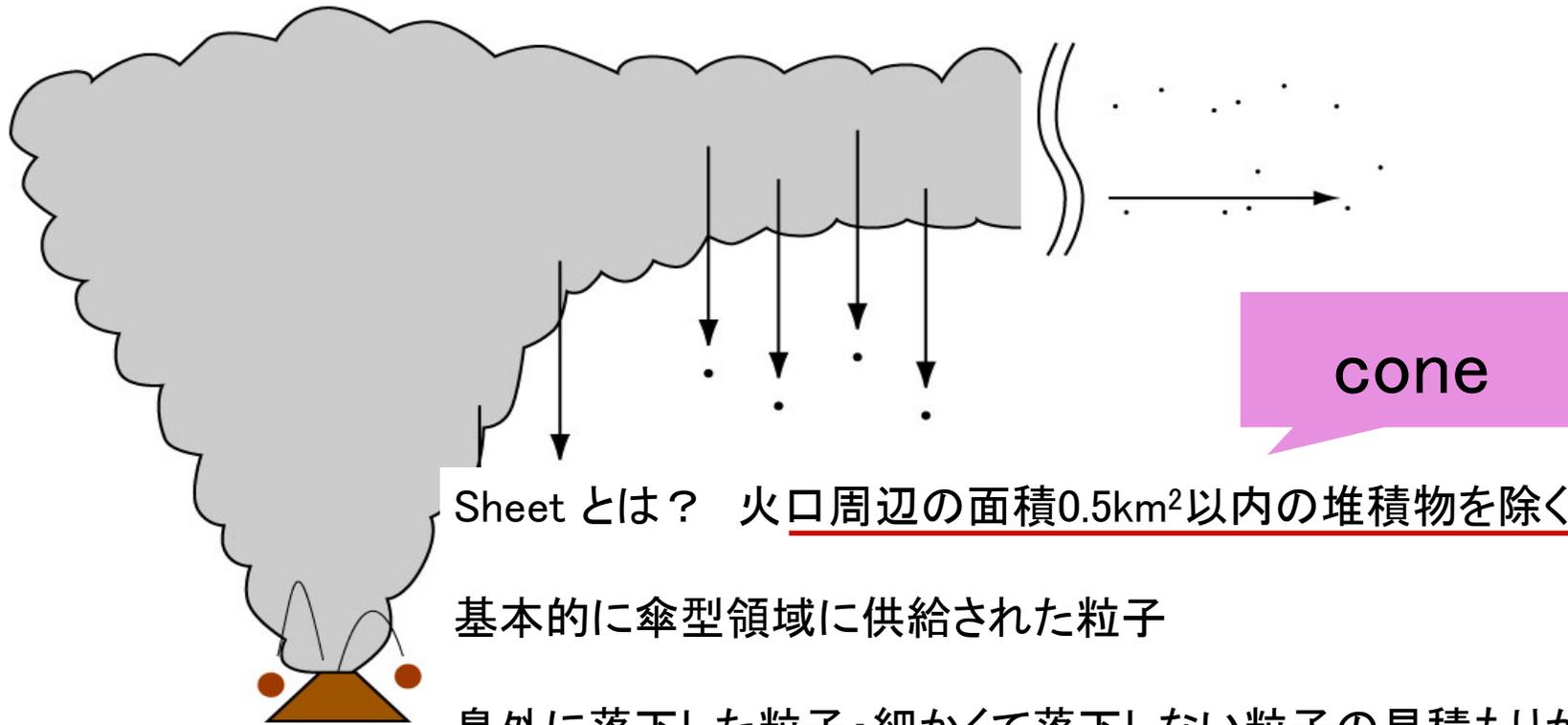


スコリアラフト



崩壊壁・クレバスの発達

Sheet部分の粒度組成測定



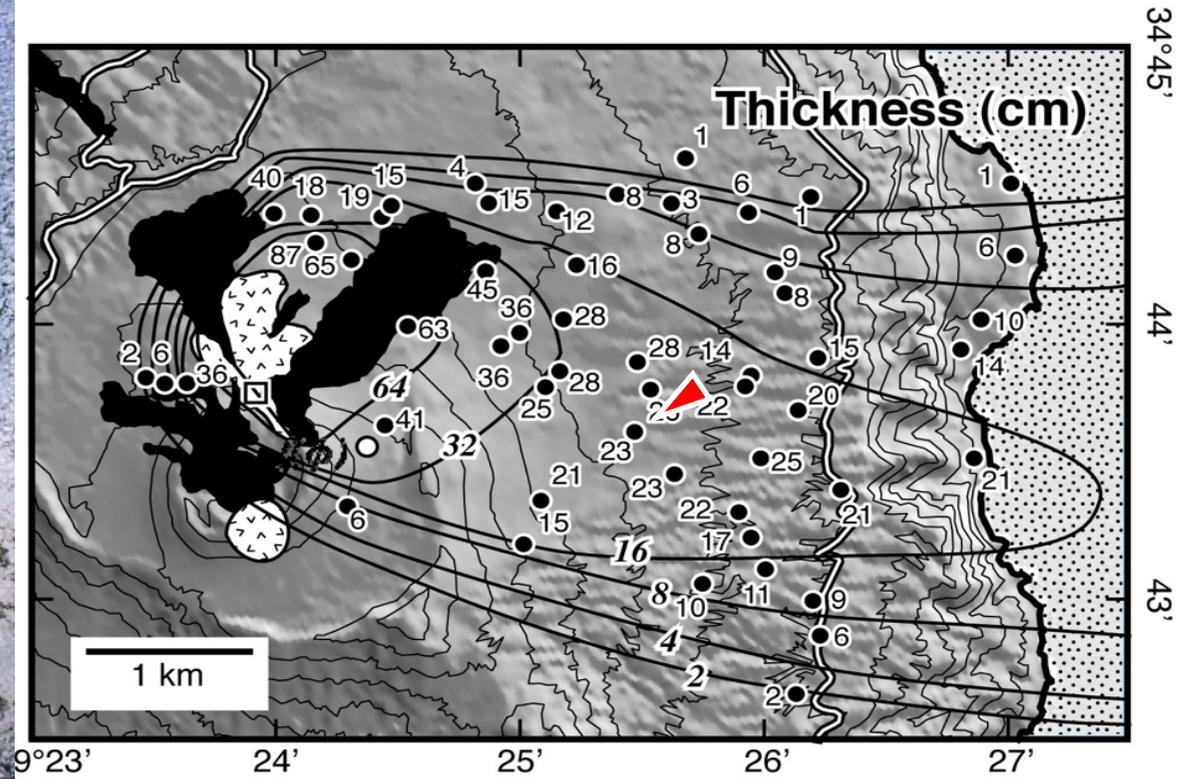
Sheet とは？ 火口周辺の面積0.5km²以内の堆積物を除く全噴出物

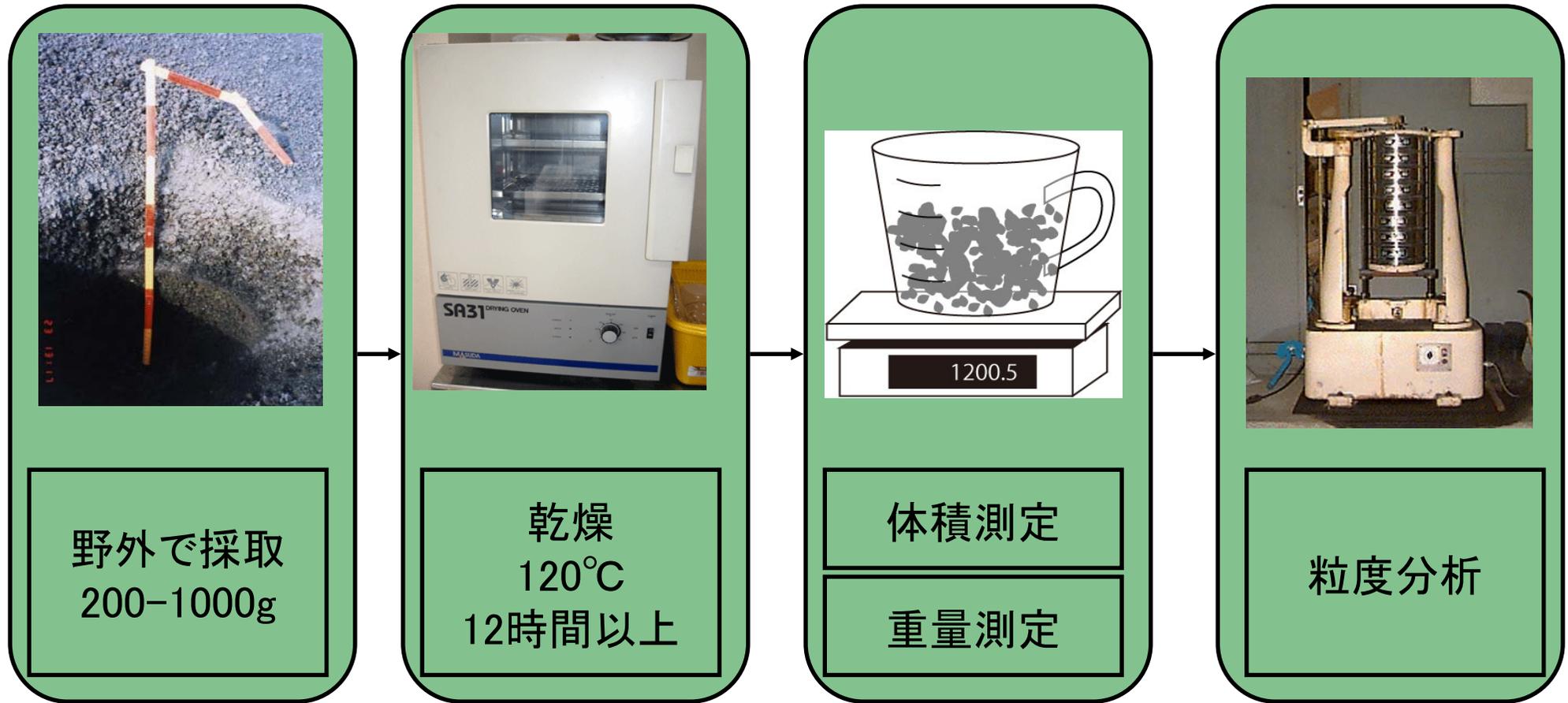
基本的に傘型領域に供給された粒子

島外に落下した粒子・細かくて落下しない粒子の見積もりが課題



sheet 堆積物の様子





堆積物の厚さ
(h)

堆積物の密度
(ρ)

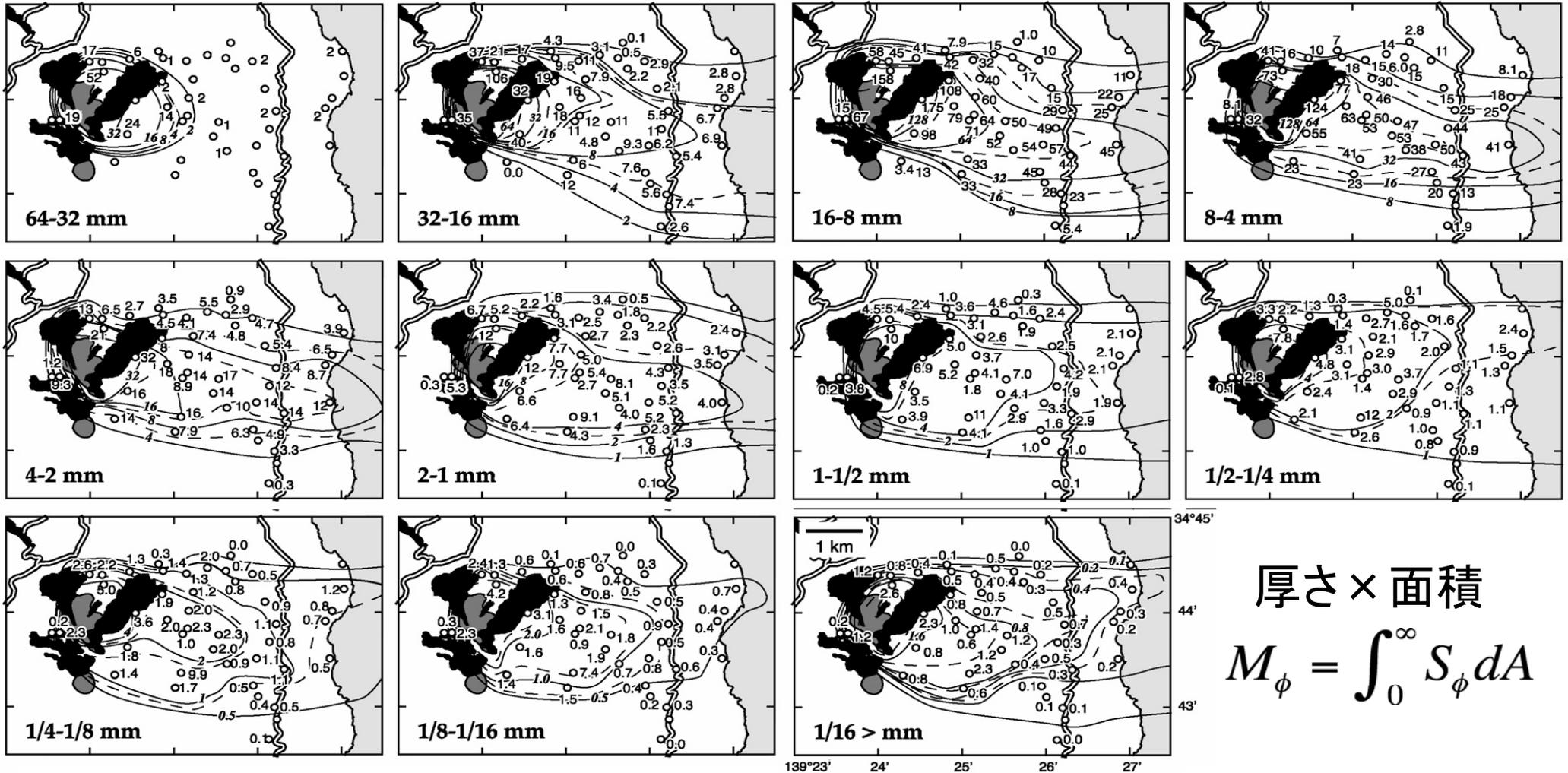
各粒度の分率
 $f(\phi)$

各粒度の単位面積当たり堆積量

$$S(\phi) = h \rho f(\phi)$$

sheet 堆積物の各粒度ごとの単位面積あたり堆積量(S)分布

等値線=アイソプレス



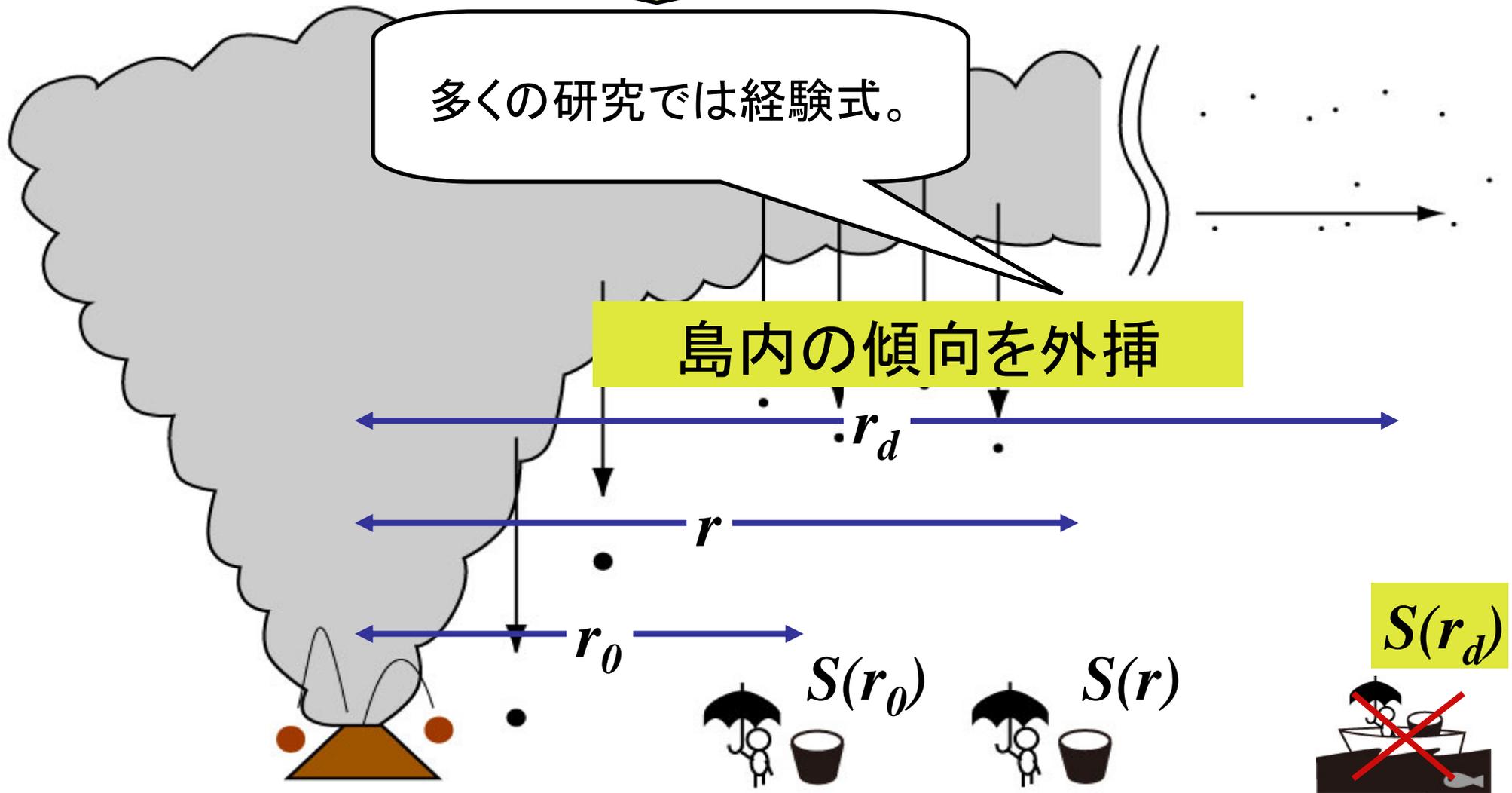
厚さ×面積

$$M_{\phi} = \int_0^{\infty} S_{\phi} dA$$

本研究では
Bursik et al. (1992)を採用。

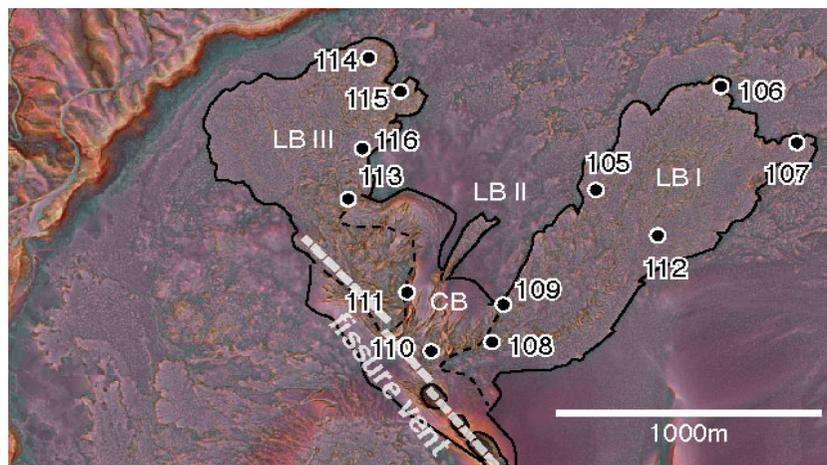
多くの研究では経験式。

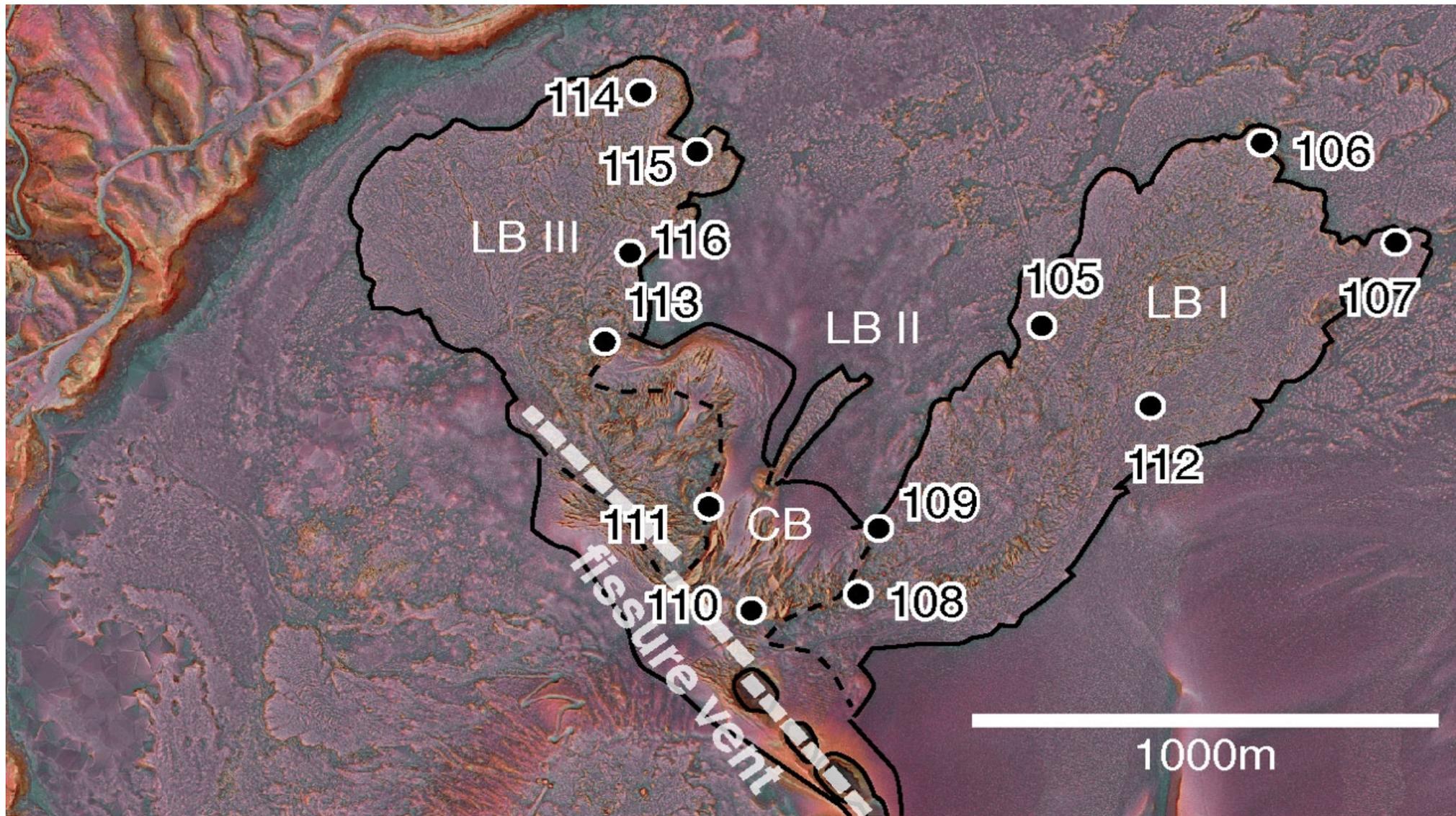
島内の傾向を外挿



cone部分の粒度測定

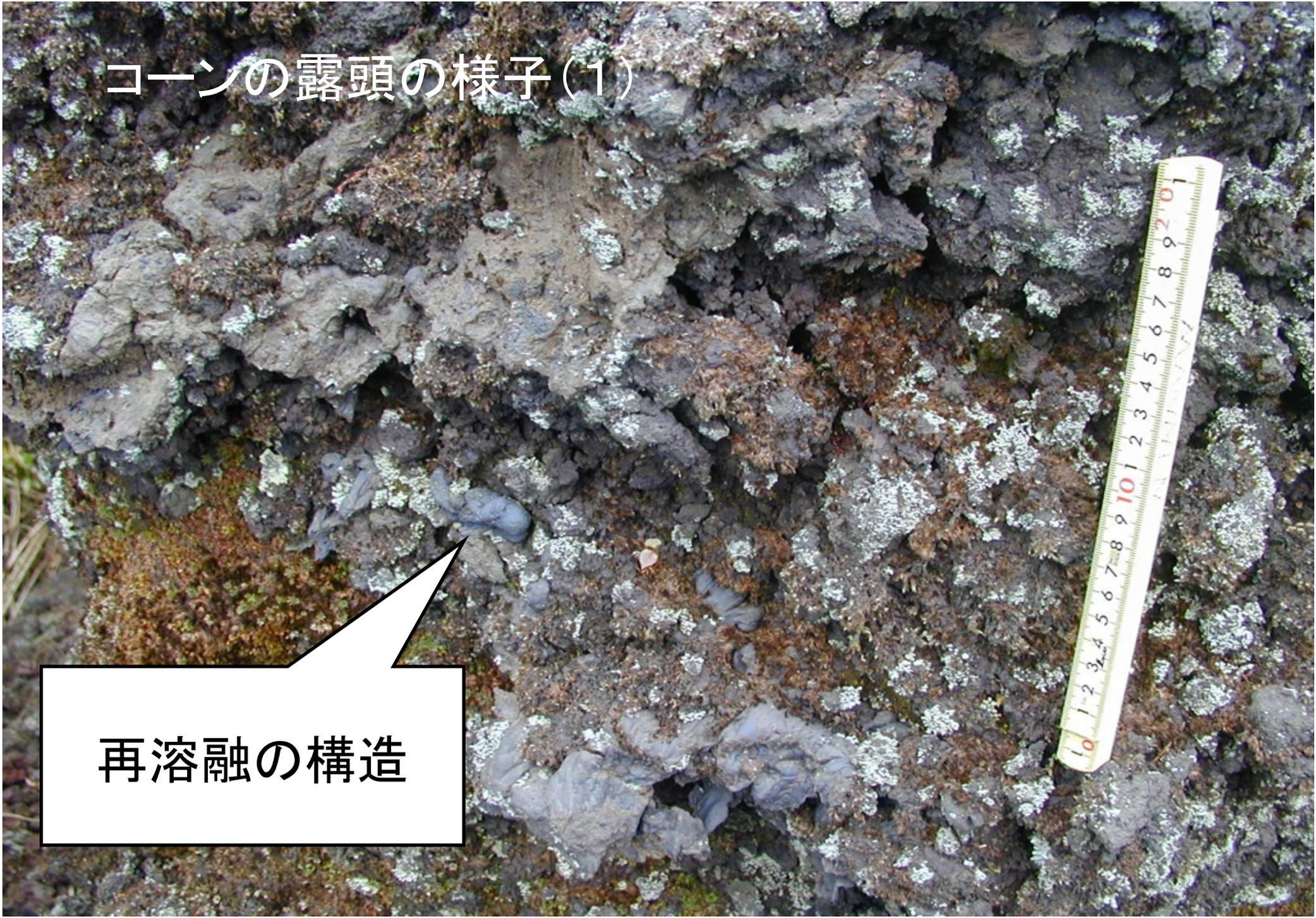
- 12地点で粒度分析を実施
- 1地点で11-17kgの粒子を分析





コーンの露頭の様子(1)

再溶融の構造

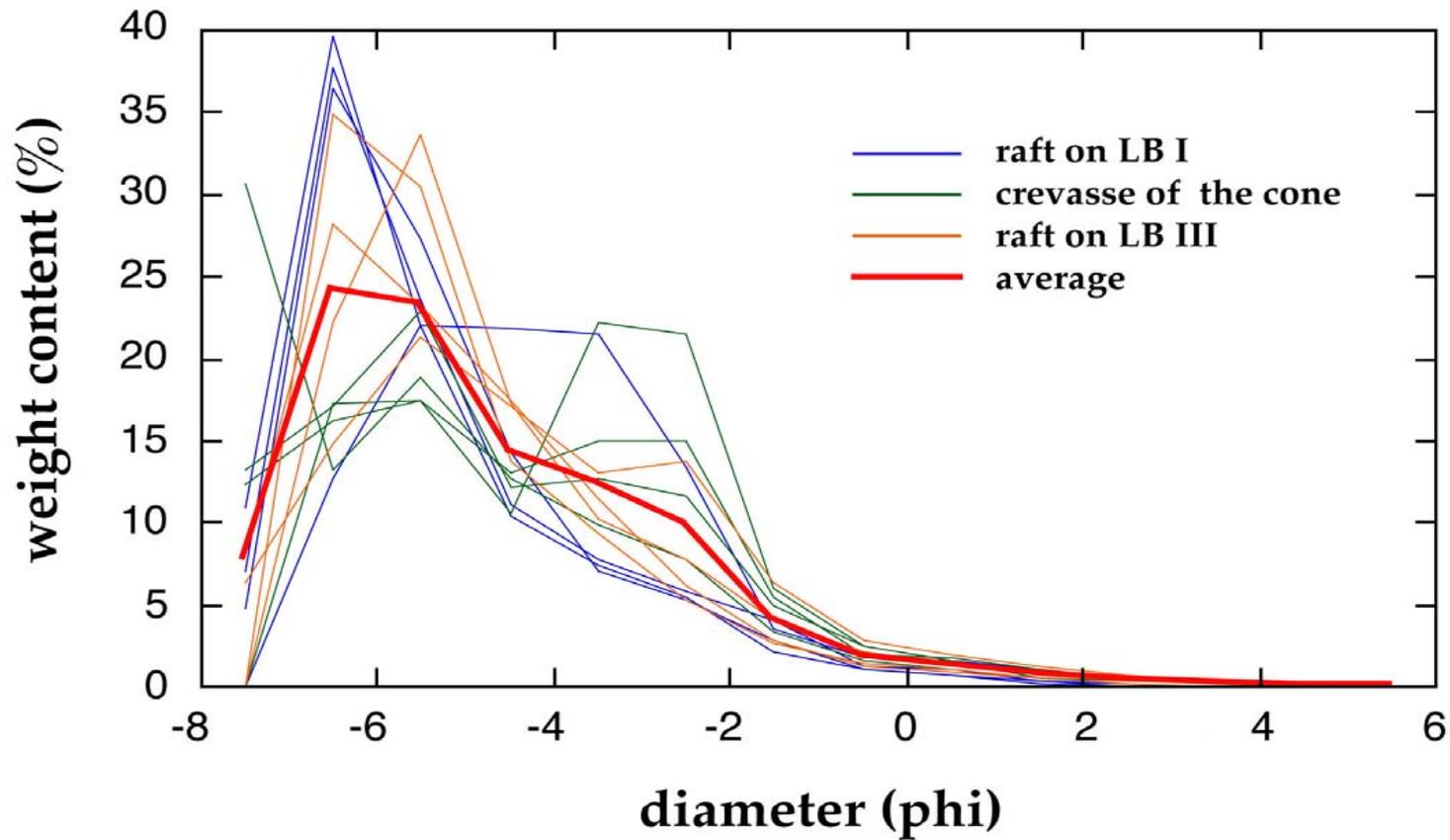


コーンの露頭の様子(2)

非溶結で
粒度分析可能



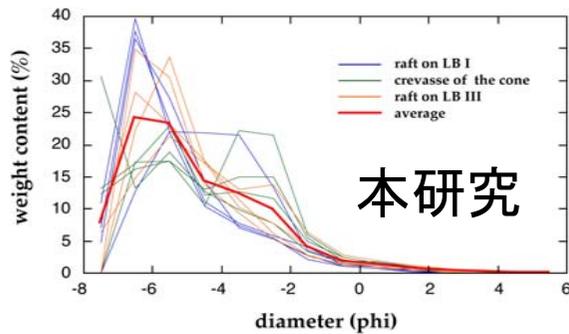
粒度組成



地点によりかなりばらつきがあるが平均をコーンの値とした

コーン部分の粒度別堆積量

各粒度の分率 × コーンの体積 × コーンの密度



$6.4 \times 10^6 \text{m}^3$

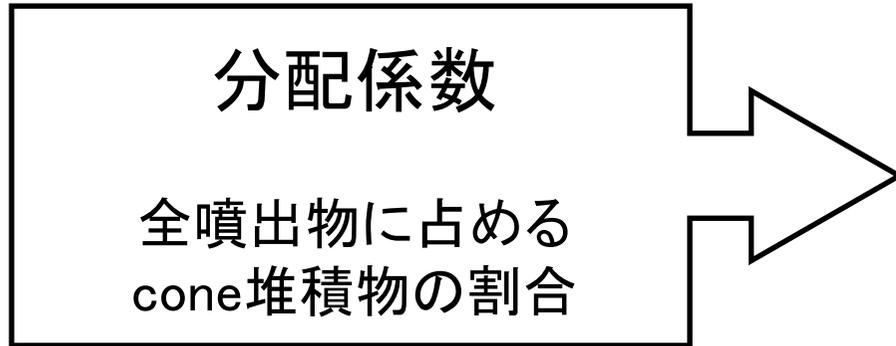
長岡(1988)

790kg/m^3

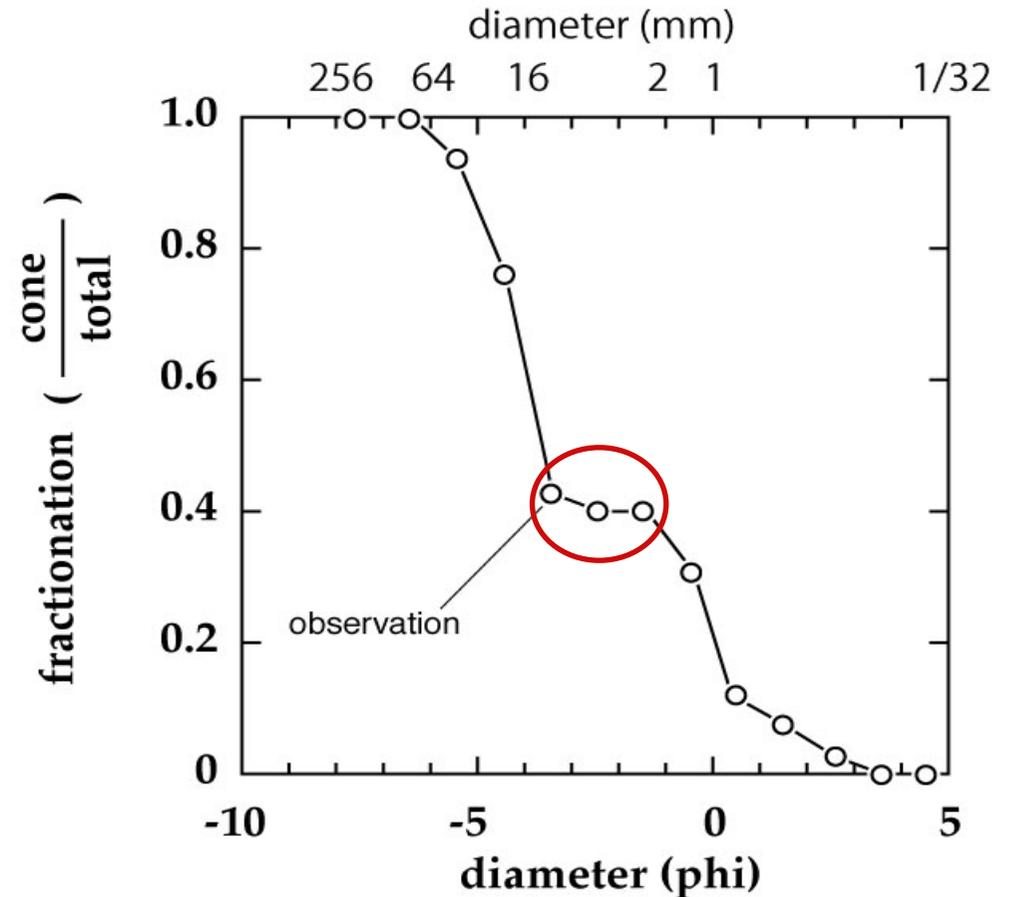
本研究・3地点での
実測の平均

コーンの質量 $5.1 \times 10^9 \text{kg}$

粒径ごとの分配係数

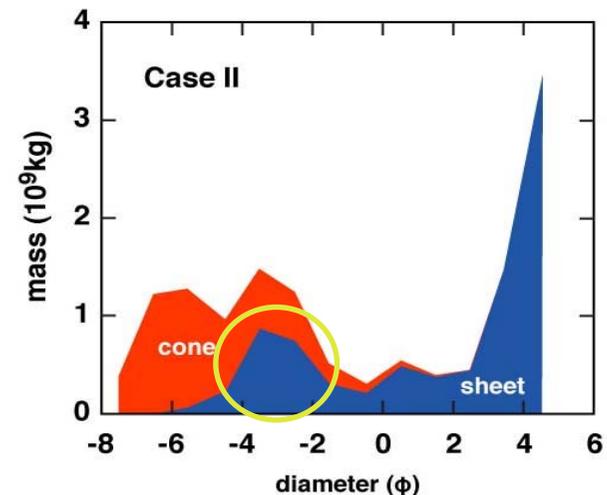


sheet堆積物の主要な粒径である16-2mmの粒子も40%前後がconeに分配されている。

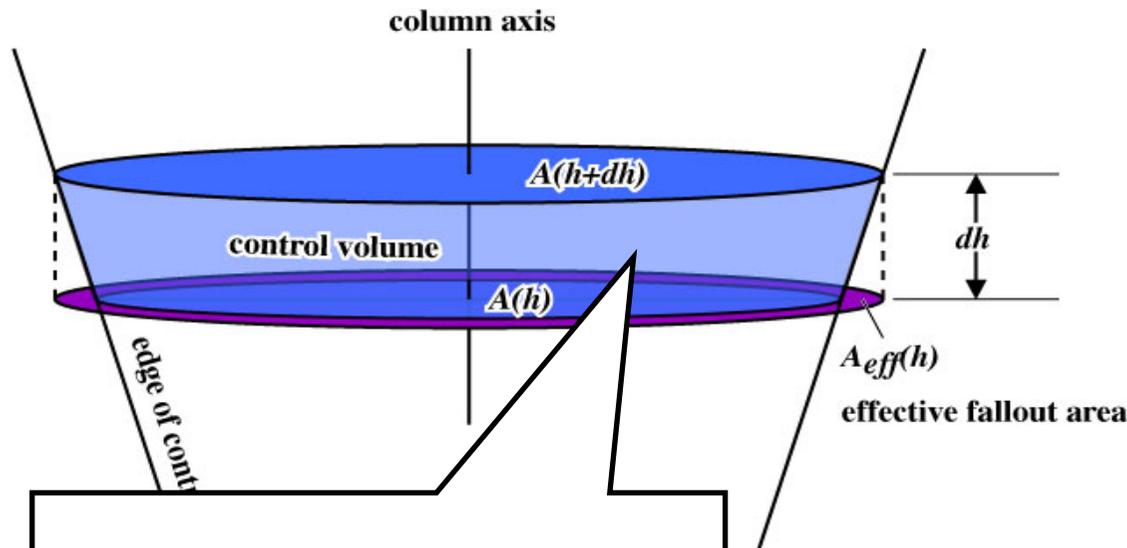


上空高くまで運搬されることが十分可能なサイズの粒子でも「上昇する噴煙」から落下している。

こうした分配を説明する噴煙プロセスを考える！



上昇する噴煙柱からの落下 (Bursik et al., 1992)



粒子の落下可能な面積; 有効底面積

$$\frac{dM}{dt} = -A_{eff} Dv$$

$$A_{eff} = A(h + dh) - A(h)$$

噴煙の断面積の増加分

$$dh = w(h) dt$$

噴煙上昇速度

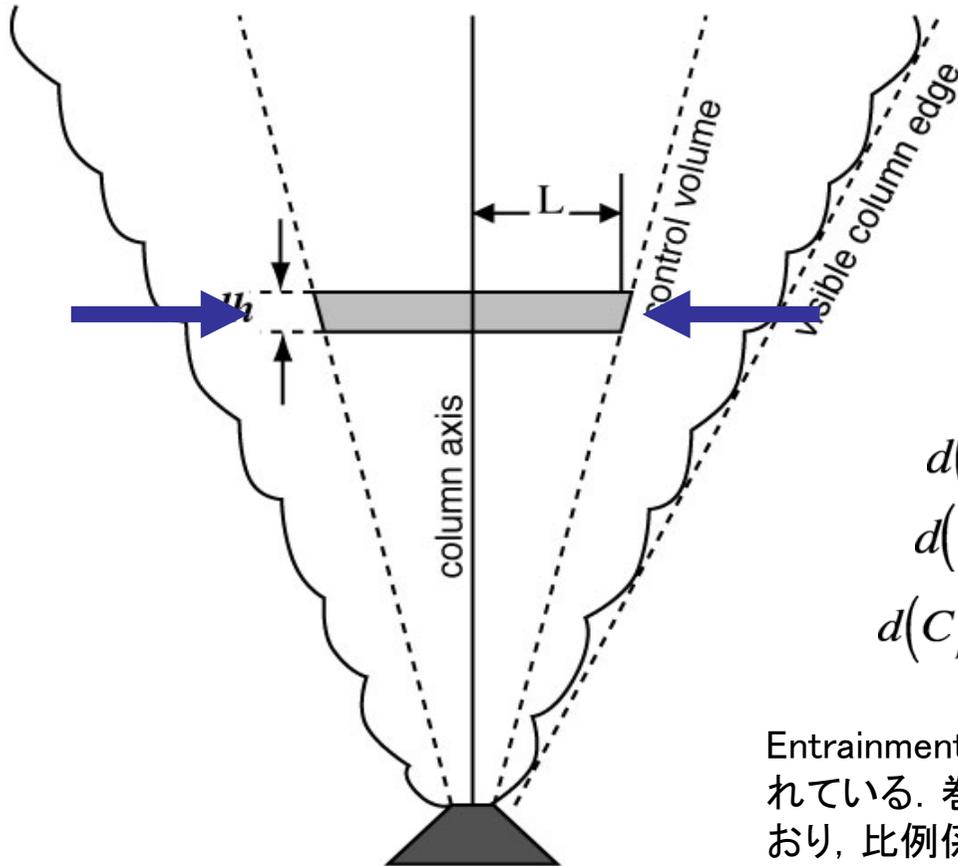
単位胞 = 噴煙柱の幅 dh のスライス

噴煙の径と速度の
垂直変化が計算に重要

数値計算によって
各高さでの離脱量を計算

$$\frac{dM(\Phi, h)}{dh} = -\underline{A_{eff}(h)} D(\Phi, h) \frac{v_t(\Phi, h)}{\underline{w(h)}}$$

上昇する噴煙(噴煙柱)の計算



Woods (1988)

Entrainment仮説とcontrol volume
での質量・運動量・熱量の保存

$$d(\beta u L^2) = (2\varepsilon u L \alpha) dh$$

$$d(\beta u^2 L^2) = g(\alpha - \beta) L^2 dh$$

$$d(C_p \theta \beta u L^2) = -g \alpha u L^2 dh + \frac{u^2}{2} d(\beta u L^2) + (C_a T) d(\beta u L^2)$$

Entrainment仮説; control volumeの端で, 周囲の大気が巻き込まれている. 巻き込まれる大気の色度は噴煙の上昇速度に比例しており, 比例係数 ε は0.09程度.

粒子の噴煙柱からの落下

粒子はentrainmentの影響で落下開始後、噴煙方向に移動する。最終的に巻き込まれることも。

model 1 entrainmentの効果あり

$$u_x(r, h) = \varepsilon U(h) \frac{L}{r}$$

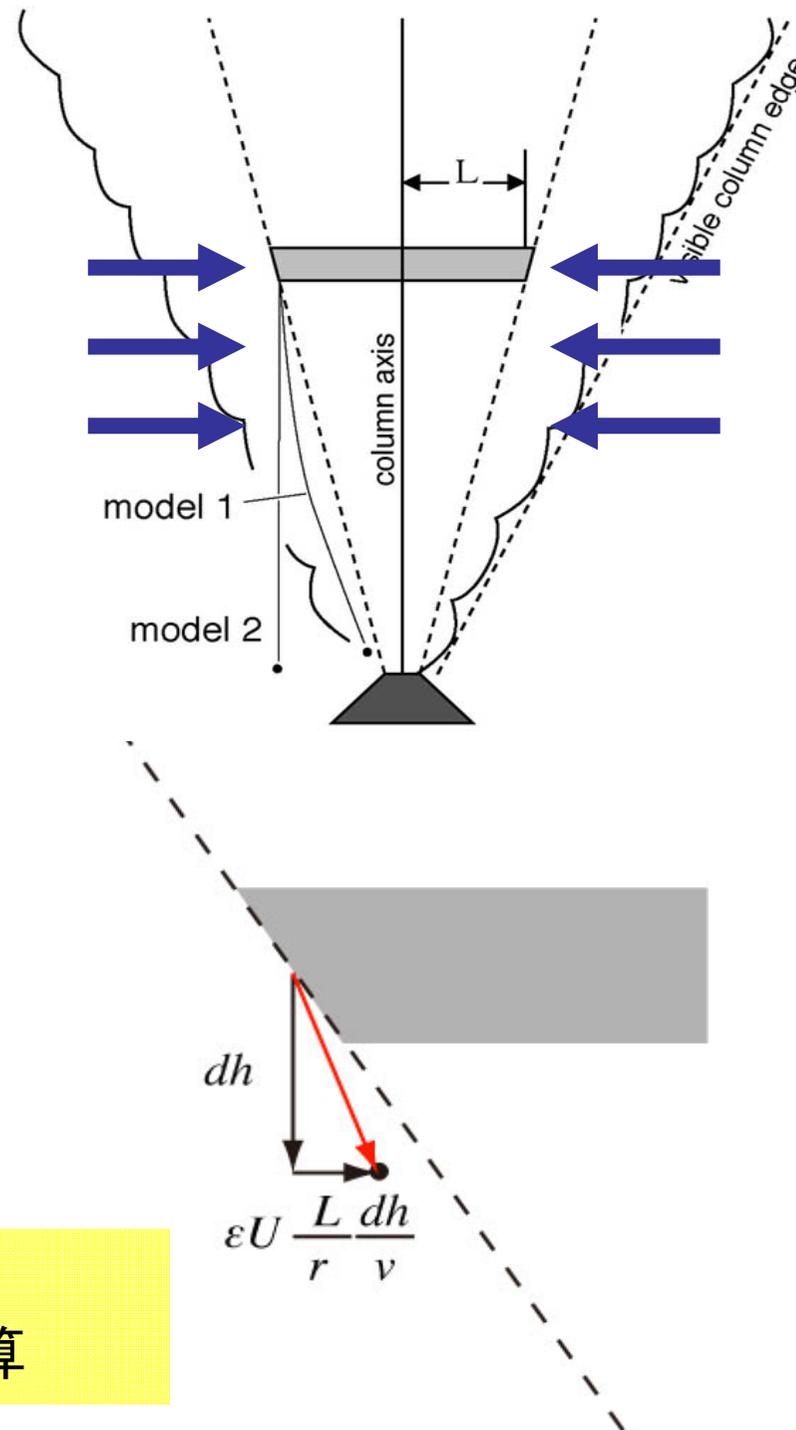
$$u_y = \text{terminal velocity } (v)$$

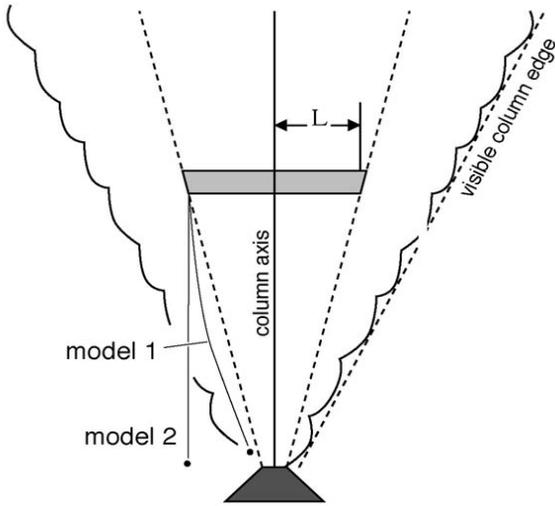
- 落下する粒子について、高さ5mごとに噴煙からの距離と水平速度と落下速度を計算して軌跡を導出
- 地表に到達する前にcontrol volumeに達したら、落下は無かったことにする。

model 2 entrainmentの効果なし

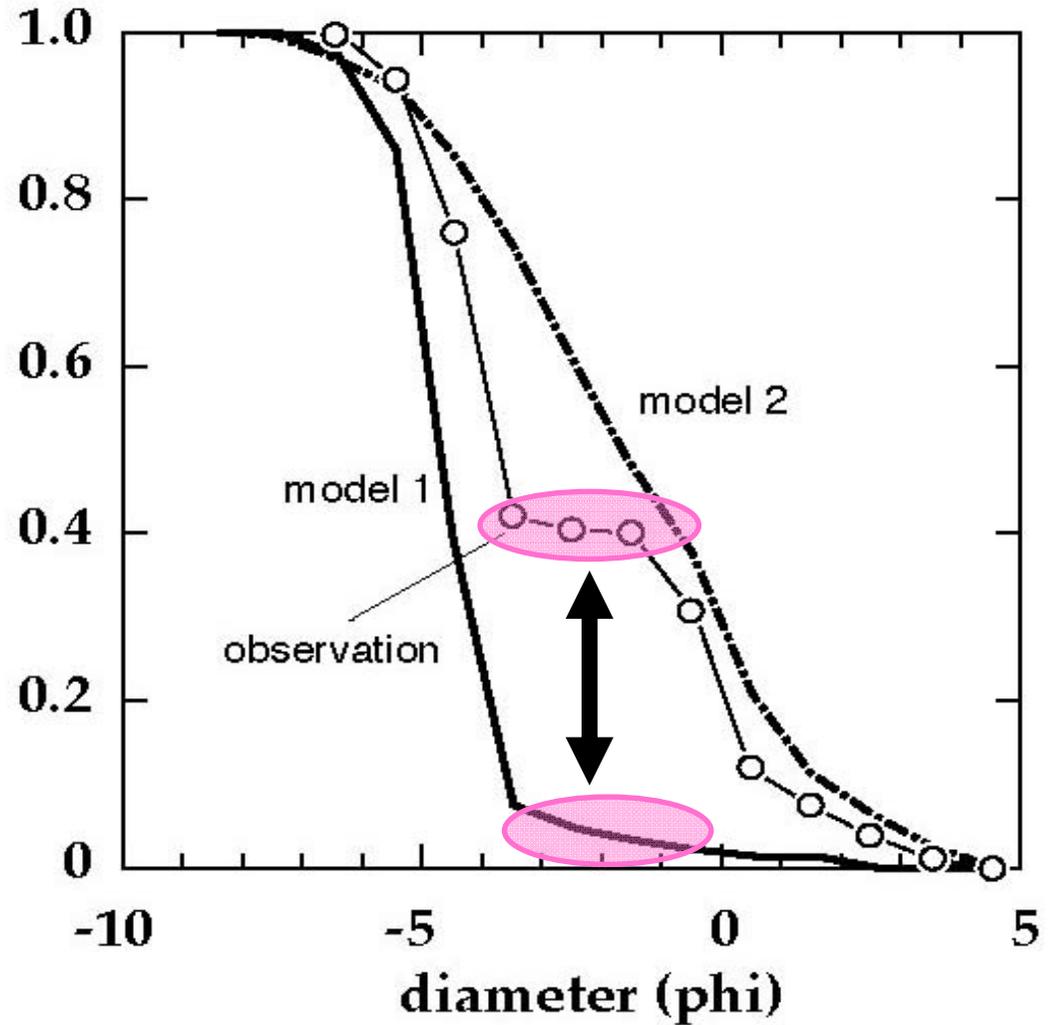
- control volumeの端から垂直に落下

火口からの距離700m以内に落下した量をcone形成に寄与したとして、分配係数を計算





fractionation ($\frac{\text{cone}}{\text{total}}$)



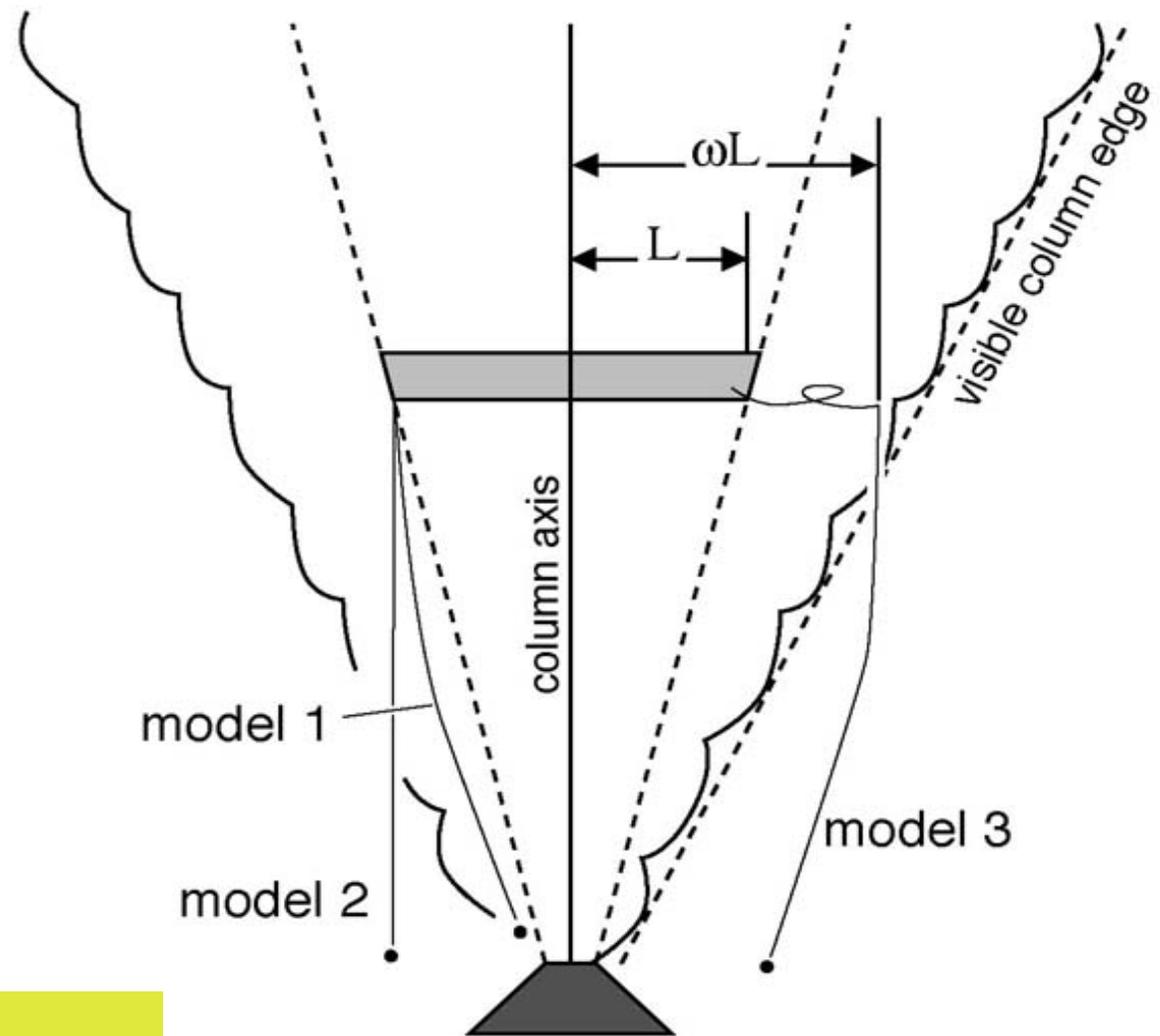
model1でおおむね説明が出来るが、16-2mmの粒子では予想より落下量が多い

(entrainmentの効果がないmodel2の予想に近い)

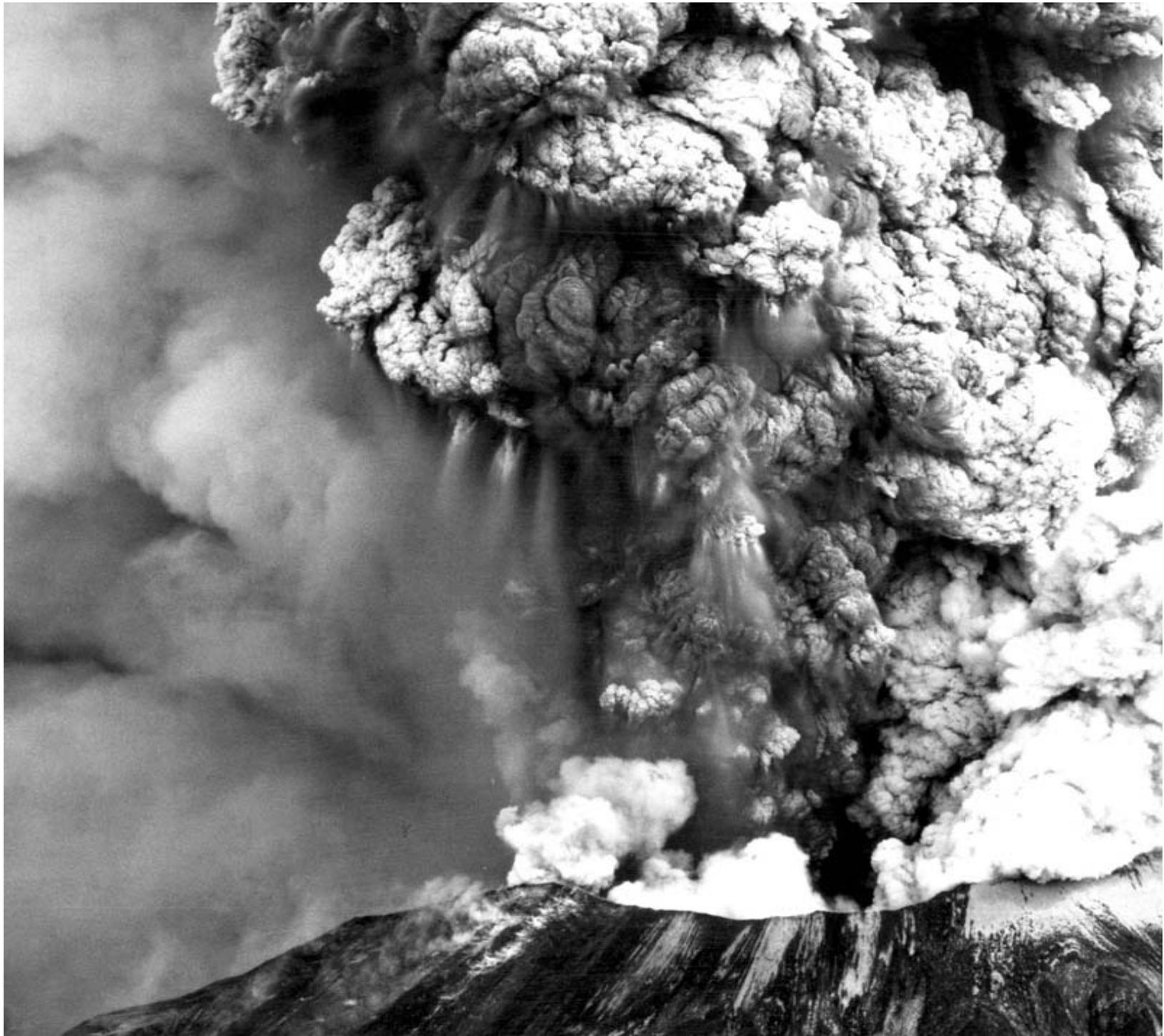
小さいものほどentrainの影響を受けそうなのに矛盾！？

model 3 粒子の水平移動

- ・ control volume から離脱した粒子は速やかに水平方向に移動する。
- ・ 水平方向への移動量を ωL とする。
- ・ ω は粒径に依存
- ・ 落下中はentrainmentの影響を受ける

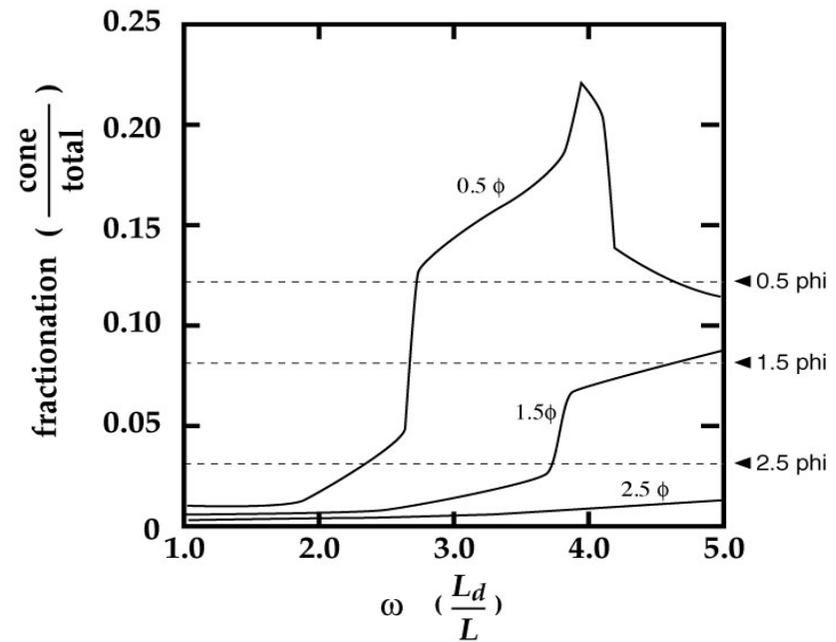
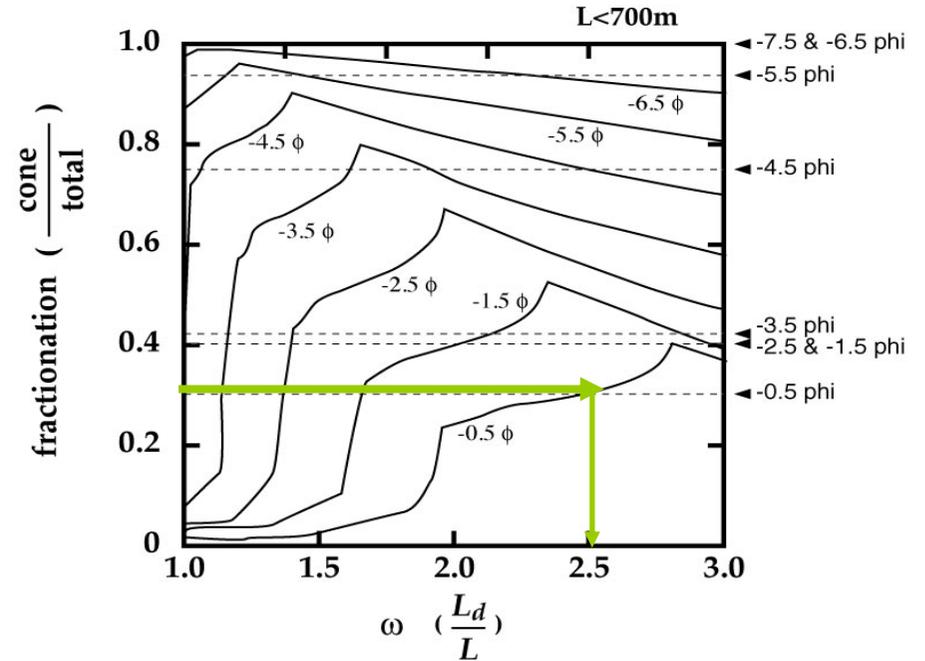
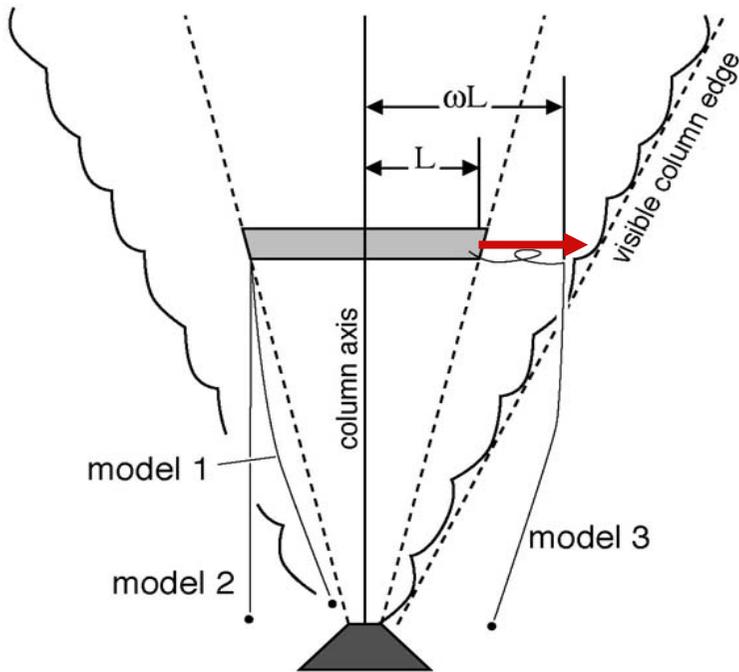


噴煙柱の粒子は
visible edgeで保持できなくなる



model 3 観測に合う ω をさがす。

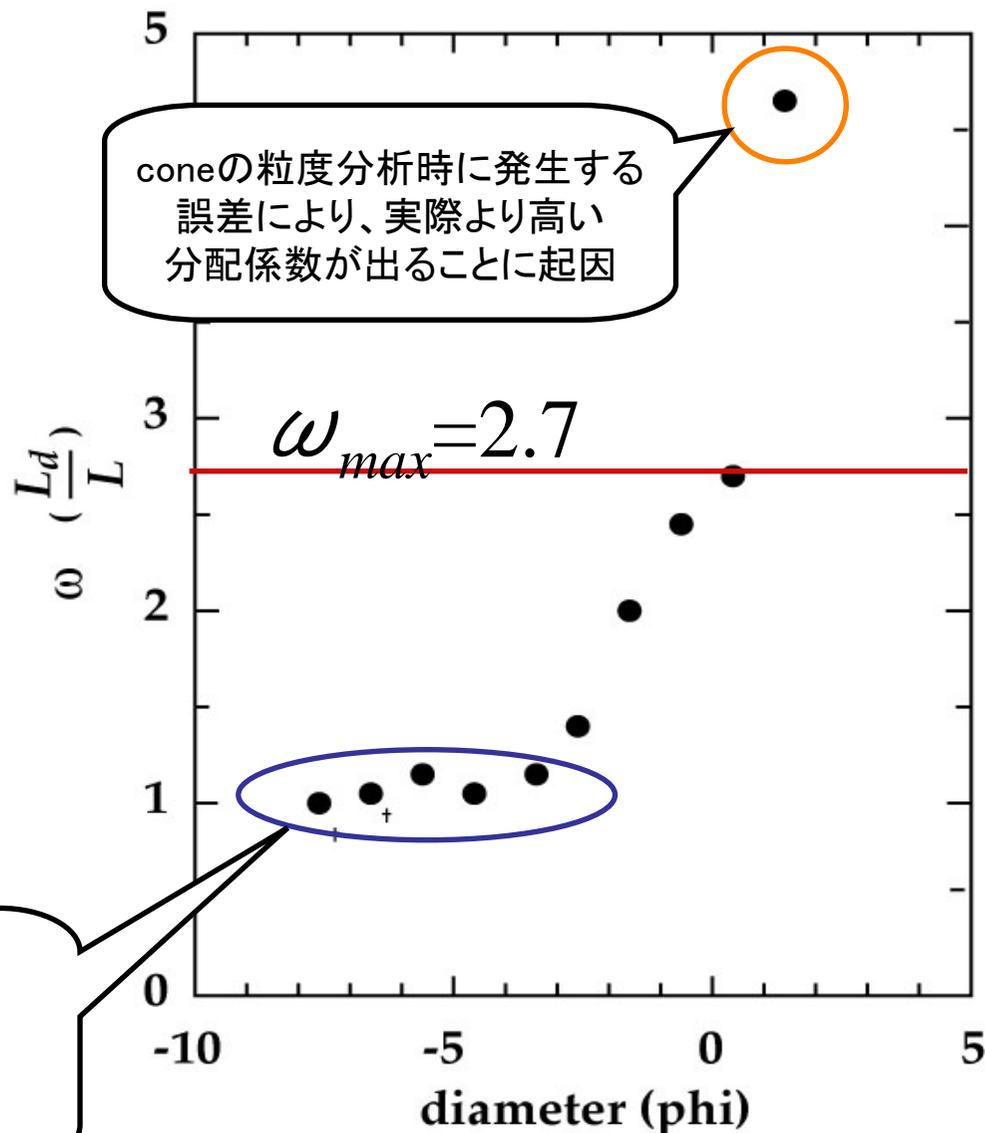
- (1) ω を連続的に変化させて、分配係数を計算する。
- (2) 観測された分配係数に合う ω をさがす。
 (1)の曲線と観測された分配係数の交点



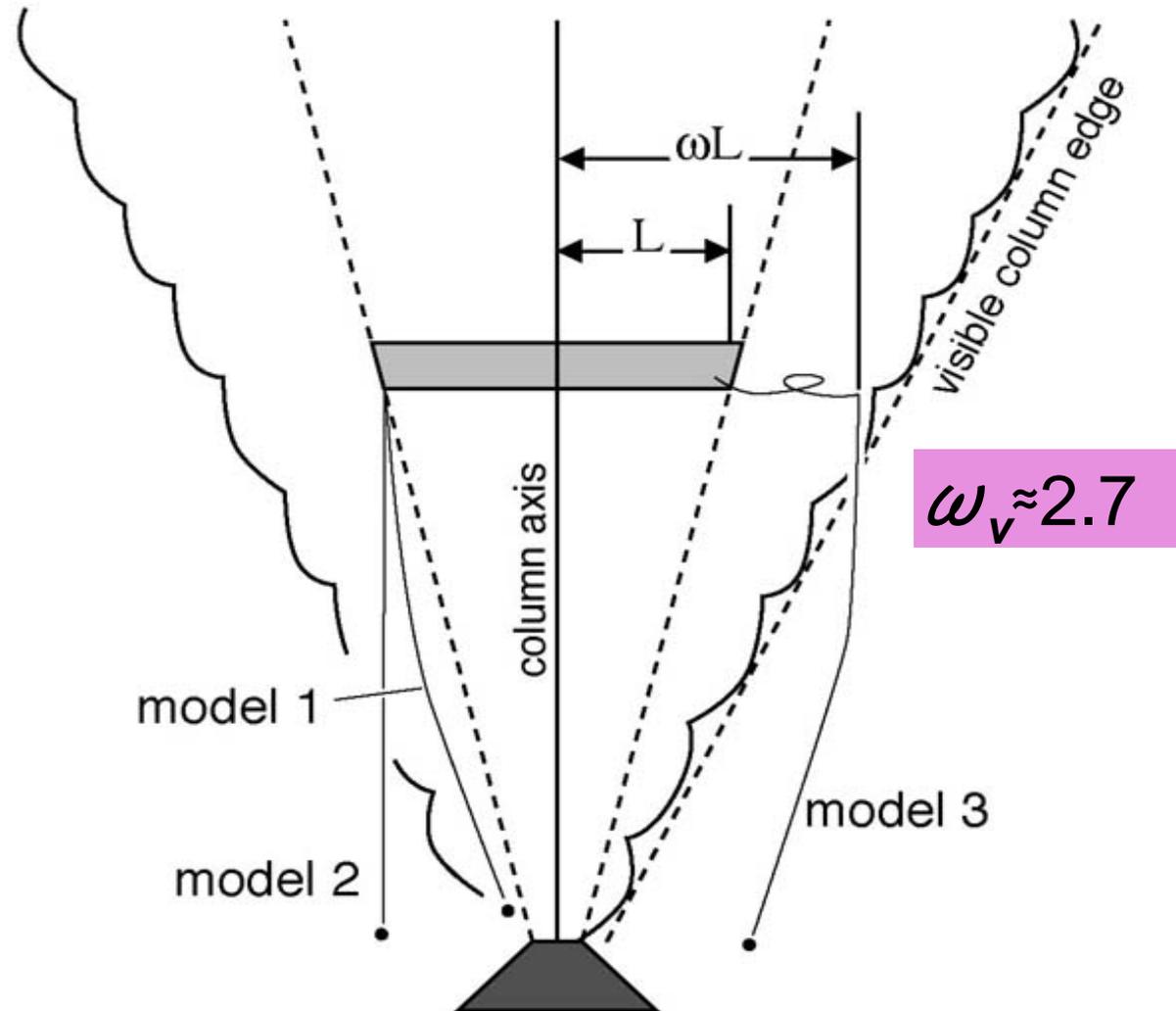
観測された粒子の分配を説明する ω

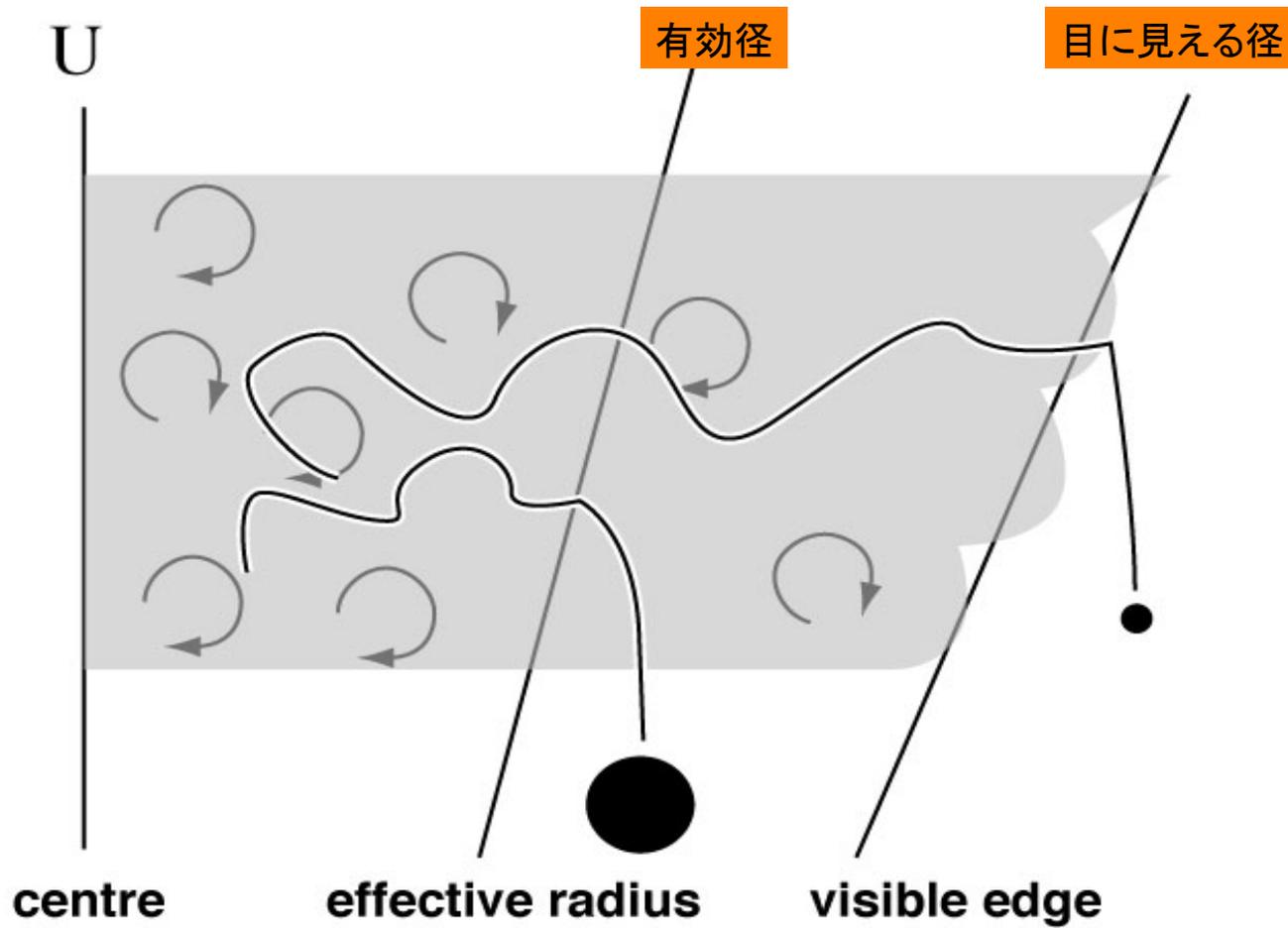
粒度分析時には粒子の摩耗により細粒粒子が生産される。
本来分配係数が0に近いものなので、大きな ω が算出される。

大きい粒子は $\omega=1$ 前後



model 3 観測に合う ω をさがす。

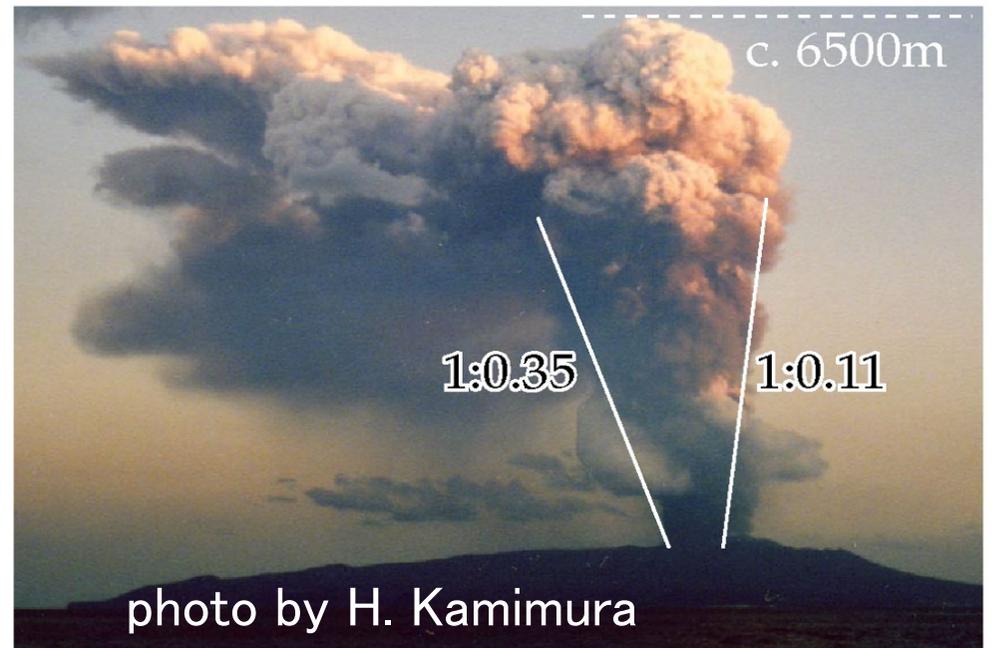
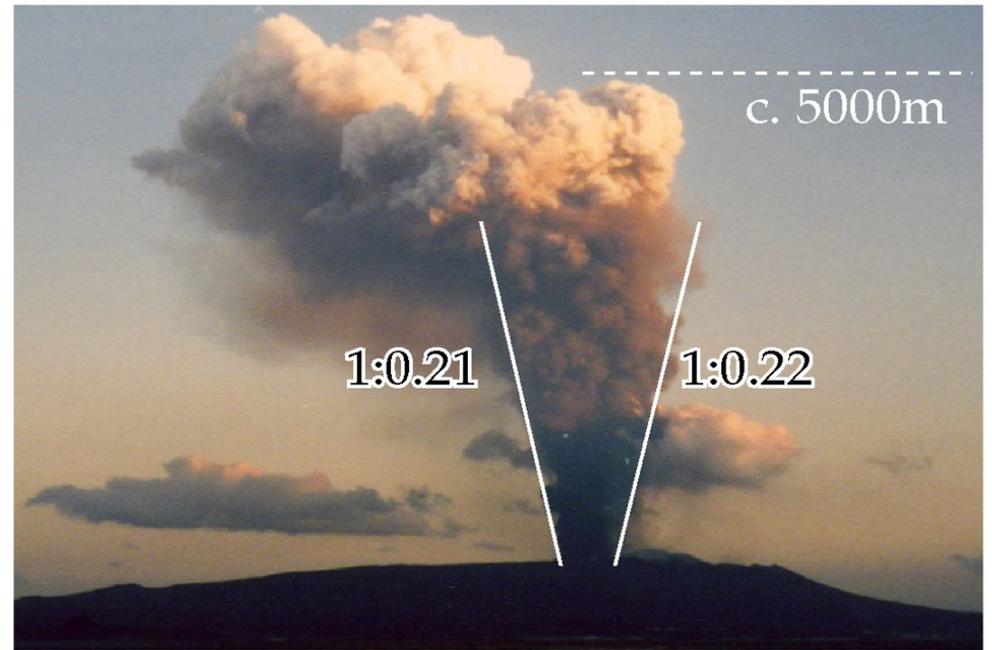
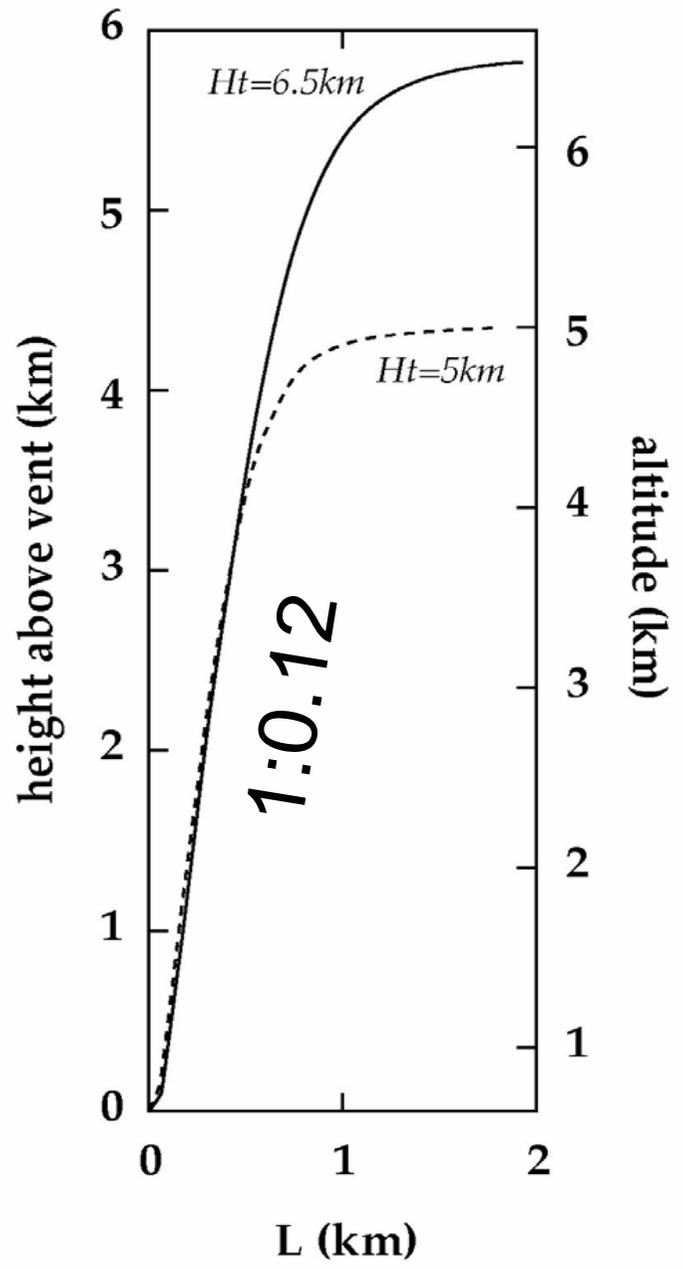




目に見える径 = 写真でも観測可能

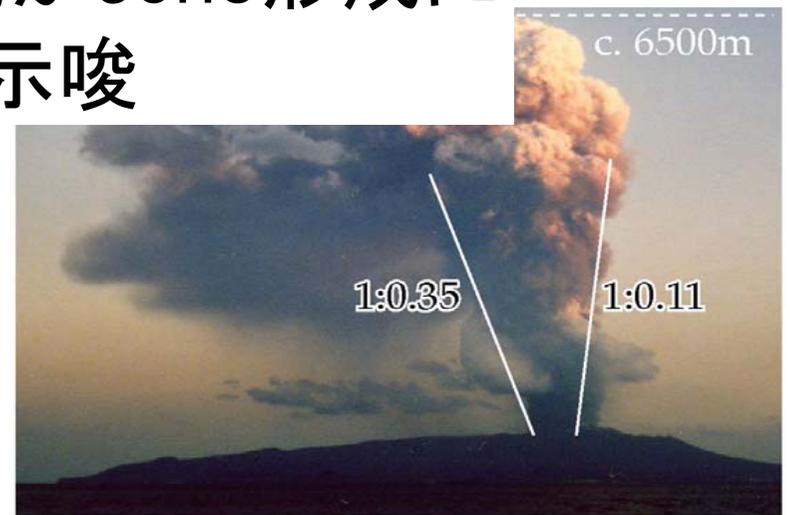
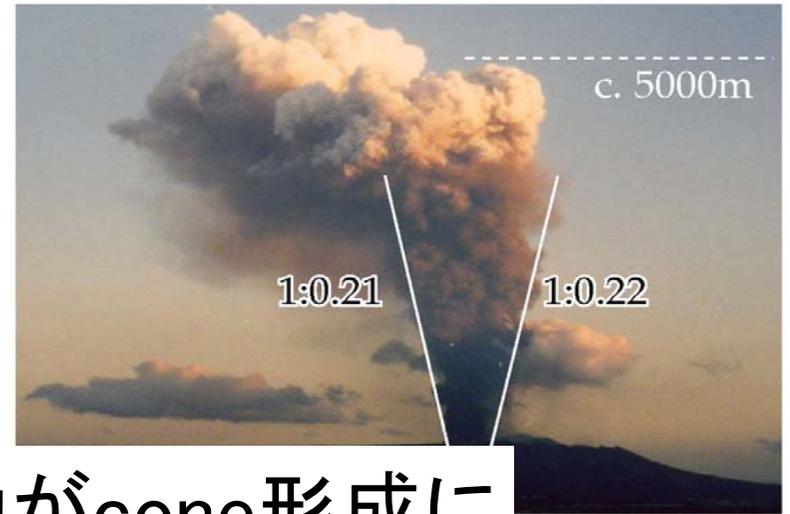
写真と計算結果から ω を計算できる

数値計算によるLの変化





噴煙内での粒子の水平移動がcone形成に重要であることを示唆



写真と計算の比較から
分配係数から

$\omega_v \approx 0.85$ (風上) ~ 2.7 (風下)

$\omega_v \approx 2.7$

風下の値と一致

まとめ

- 直接観測が難しい噴煙に代わり、堆積物の粒度組成の空間変化は、3Dモデルの検証に有用と考えられる。
- 本研究では粒度ごとにconeとsheetの間での分配について定量を行った。
- 伊豆大島1986年B噴火では、噴煙の最上部まで供給されることが十分可能な16-2mmの粒子も上昇する最中に落下していることが示唆された。
- 上記の観測を説明するために、粒子が噴煙内で水平に移動するモデルを考えた。また、粒子から予想される噴煙の径と、写真から測定される噴煙の径が一致する可能性が示された。

今後の課題

- 伊豆大島1986年噴火の結果が準プリニー式噴火の普遍的な特徴か否かの確認。