噴煙からの粒子分別と移流輸送を考慮した 2次元降下・堆積プロセス



2次元降下堆積プロセスの概念図

入山 宙*:九州大学 大学院理学府 地球惑星科学専攻 寅丸敦志:九州大学 大学院理学研究院 地球惑星科学部門

はじめに|噴火現象と降下火砕堆積物



降下・堆積プロセスへの空間拡張



堆積物GSD・堆積層厚の特徴

はじめに | プリニー式噴火における 堆積層厚の変化

堆積物の層厚

遠方域で層厚が指数関数的減少

e.g.) Pyle (1989)

Fierstein and Nathenson (1992)

copyrighted material

copyrighted material

Pyle (1989)

Fierstein and Nathenson (1992)

はじめに|プリニー式噴火の噴出物粒径分布



Kaminski and Jaupart (1998)

• 冪分布の総噴出物の粒径分布

(粒径 vs. 粒子数)

copyrighted material

Kaminski and Jaupart (1998)

Koyaguchi (1994)

・ 指数関数的関係を与える総粒径分布 | 数学的観点 $f_0^*(v) = \frac{1}{\Gamma(3/2)} \left(\frac{k^2 Q}{4\pi}\right)^{3/2} v^{-5/2} exp\left(-\frac{k^2 Q}{4\pi v}\right)$

 $f_0^*(v)$ initial probability distribution function of settling velocity which satisfies the exponential thinning behaviour

k decay constant of the exponential thinning behaviour

copyrighted material

Koyaguchi (1994)

1次元準定常的降下・堆積プロセスの特徴と課題

Iriyama and Toramaru (2014) AGU

準定常的降下・堆積プロセス

- ・ 粒径に依存した降下速度差により
 生じる分級作用
- ▶ 単純な正級化構造

逆級化構造←非定常な噴火



1次元準定常的降下堆積プロセスの概念図 および形成される堆積物の模式図

非定常な場合

風の影響

- 噴煙柱高度
- ・ 噴出率
- ・噴出時の粒径分布



Pinatubo 1991**噴火堆積物の模式柱状図** (Lynn et al., 1996)



初期GSDのみ非定常な場合の降下・堆積プロセス

This presentation

- size variation, unsteady source GSD→2次元降下堆積モデルの関係式導出
 - ✓ 冪乗初期GSD→堆積物の粒径分布の算出
 - ✓ 堆積物層厚の算出



2次元降下・堆積モデル 定義



Grain-size distribution (GSD) function

 $N(a,r,t)[N/(L^2 \cdot L)]$ (unit area) $f(a,r,t)[N/(L^3 \cdot L)]$ (unit volume)

Hypotheses

- **Negligible particle interaction**
- Constant terminal fall velocity (TFV) during fall process







 $N(a,r,t)[N/(L^2 \cdot L)] \quad f(a,r,t)[N/(L^3 \cdot L)]$ (unit area)

(unit volume)

Application | Pinatubo 1991 eruption

項目		値	
火口噴出初期 粒径分布	N(a, 0, t)	※後述	
噴出率	Q	$10^{10} [m^3/sec.]$	umbrella ash cloud
噴出物密度	$\rho(a)$	$1000 [kg/m^3]$	$N(a, 0) \qquad Q \implies L$
噴煙高度	H_0	$2 imes 10^4 \ [m]$	fractionation
傘型噴煙の厚さ	L	$10^{3} [m]$	advection u fall
平均風速	\overline{u}	0 [m/sec.]	deposit distance from the vent
噴火継続時間	$ au_s$	3 × 60 × 60 [sec.]	

準定常計算条件

火口噴出初期GSD一定

噴煙高度一定

噴出率一定

降下速度一定

$$a_c \le a \le a_0$$

 $a_c = 10^{-6} [m]$
 $a_0 = 10^{-1} [m]$

<u>References</u>

- Koyaguchi and Tokuno (1993)
- Koyaguchi and Ohno (2001a)
- Koyaguchi and Ohno (2001b)

初期条件|降下速度・粒子体積



火口噴出初期GSDの設定

Source GSD

Powerlaw distribution

 $N(a, 0, t) = \beta \times a^q \times \sqcap (t^*)$

 $(0 \le t \le \tau_s)$

 β : constant

q: powerlaw exponent

$$t^* \equiv \frac{t}{\tau_s}$$

 \sqcap (t^*): rectangular function (矩形関数)

References

- Kaminski and Jaupart (1998)
- Girault et al. (2014)

 $proclastic fall deposit: -4.9 \le q \le -4.0$

$$a_c \le a \le a_0$$

 $a_0 = 10^{-1} [m]$
 $a_c = 10^{-6} [m]$



$$\widetilde{N_0} \equiv \frac{N_0}{\int N_0 V^* da/L}$$

結果 | 堆積物GSDの空間変化f_{sed}(a,r)

Sediment GSD

Normalized sediment GSDs



2015年12月21日[月] 15:40-16:05

火山現象のダイナミクス・素過程研究@東京大学地震研究所

結果 | 堆積時volume fluxの時間・空間変化



10⁻²⁰

10³

10²

1 1 1 1 1 1 1 1 1

104

time from the eruption [sec.]

..... r = 100 km

105

106

a = - 5

 10^{8}

107

time from the eruption

結果 | 層厚変化 $h_{tot.}(r)$

層厚の算出式 fine rich (分別しに≪い)→遠方に難積 10-3 $\frac{dh(r,t)}{dt} = J_{v}(r,t) \equiv \int_{a_{min}(r,t)}^{a_{max}(r,t)} f_{sed}(a,r,t)v_{t}(a)V^{*}(a)da$ 10-4 $h(r,t) = \int \frac{dh(r,t)}{dt} dt$ normalized thickness [-] 10-5 blue : q = -510-6 q = -4.5q = -4exponential decay umbrella ash cloud height 10⁻⁷ L fractionation 20 60 80 40 100 advection distance from the vent [km] fall $\widetilde{h_{tot.}} \equiv \frac{\int f_{sed} v_t V^* da}{\int N_0 v_t V^* da}$ sedimentation deposit distance from the vent

ア
 2015年12月21日[月] 15:40-16:05
 火山現象のダイナミクス

火山現象のダイナミクス・素過程研究@東京大学地震研究所

考察 | 層厚減少率の比較 モデル vs. 観測



slope: 0.012





現在まで得られた風の影響を加味した結果を報告

考察 | sediment GSD vs. downwind velocity



考察|到達最大粒径と最小粒径

Distance vs. maximum particle size

$$r \ge \frac{\bar{u}H_0}{v_t(a_0)}$$
 において

$$a_M(r) = a_0$$

Distance vs. minimum particle size

$$r \ge \frac{\bar{u}H_0}{v_t(a_0)}$$
 において

$$r = \frac{uH_0}{v_t(a)}$$

Maximum and minimum particle size





- ・ 降下・堆積モデルを鉛直1次元から円筒2次元に拡張
- 初期GSDが非定常な場合の初期GSDと堆積物GSDの関係式を導出
 ※噴煙高度・傘型噴煙の厚さ・噴出率・平均風速を用いて定式化
- ・ 準定常状態で冪乗粒径分布の違いに応じた堆積時GSDおよび堆積層厚の 距離変化を算出
- 層厚は距離とともに指数関数的に減少(観測と類似傾向)