

2007.7.28  
神戸大サイエンスセミナー

火山に関する  
サイズの話



佐藤博明  
神戸大学理学研究科  
地球惑星科学専攻

# 火山に関するサイズの話

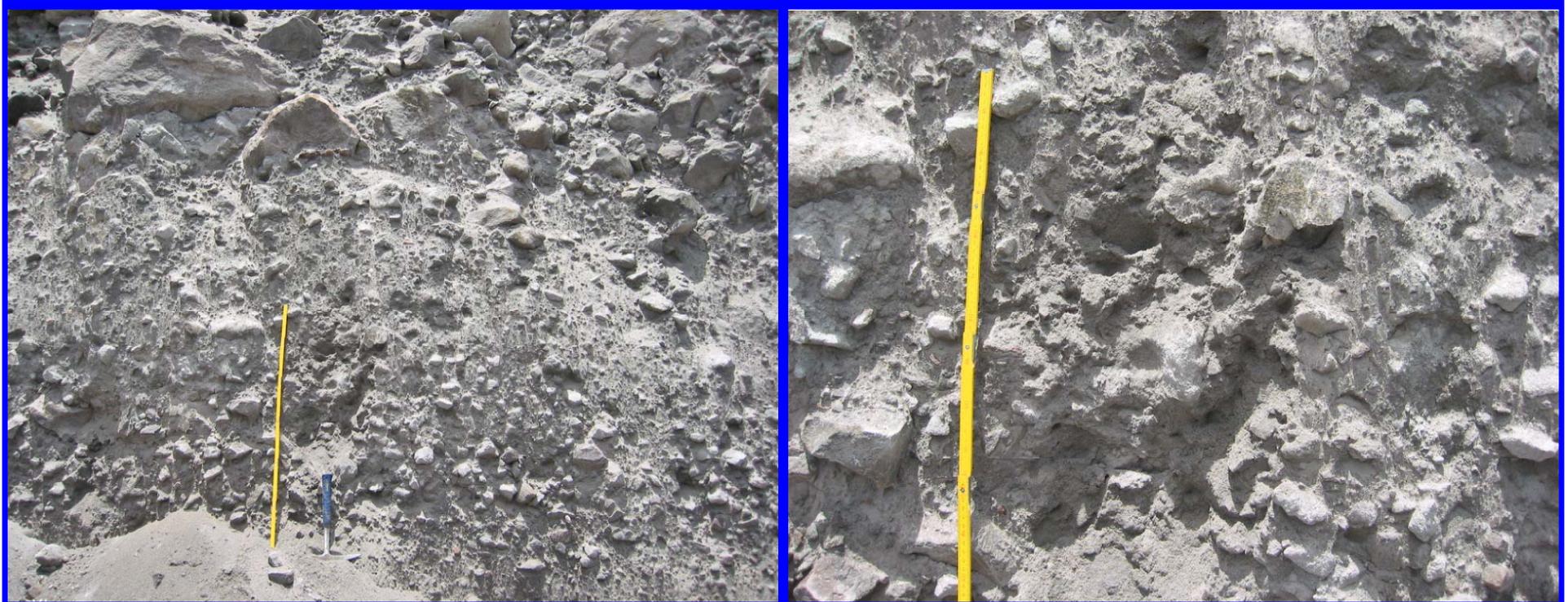
- はじめに
- 火山体のサイズ分布
- 火山噴火のサイズ分布
- 火砕物のサイズ分布
- 崩落型火砕流のサイズ分布
- 結晶のサイズ分布
- まとめ

はじめに

「地質露頭の写真やスケッチには  
必ずスケールを入れる」

地質の対象物はしばしば、スケール不変(スケールを変えても  
形状等が変わらない)な性質を持つ。⇒特徴的なサイズがない！

### Mt. Pelee 1902 火砕流堆積物



## 特徴的なサイズがない自然現象≡フラクタル

- 血管
  - 川の支流
  - 海岸線の凹凸
  - 乱流の渦
  - 天体衝突
  - 地震
  - 火砕物粒度分布
  - 火山噴火？
- 自己相似  
冪分布

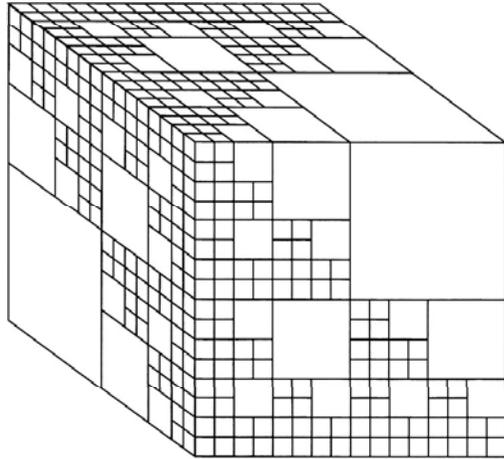
## 特徴的なサイズを示す現象

- 生物
- 台風、低気圧
- 火山体？

何故そのようなサイズ分布をとるようになったか？

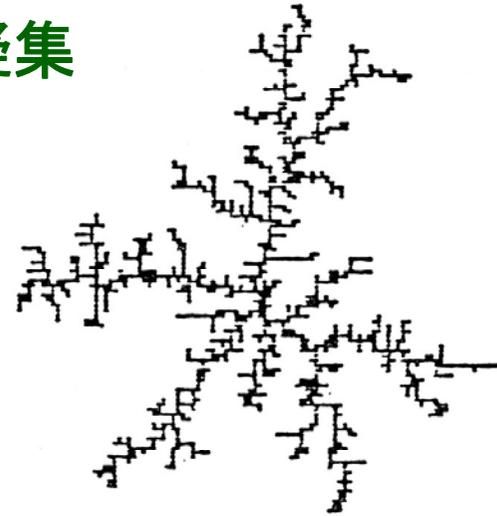
# フラクタルを生むしくみの例

破碎・乱流



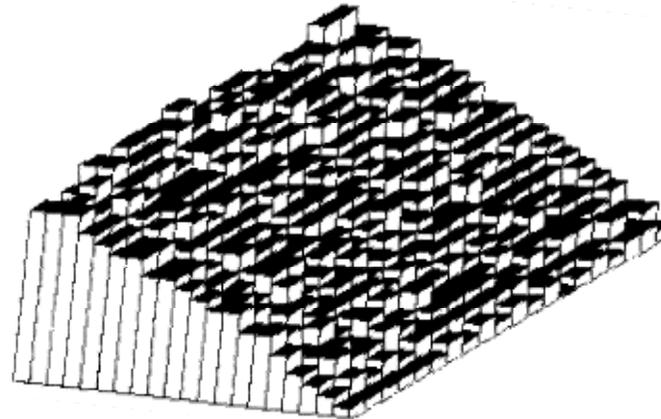
A fractal model for fragmentation after Turcotte (1992).

浸透凝集



サイズが  
冪分布を  
示す

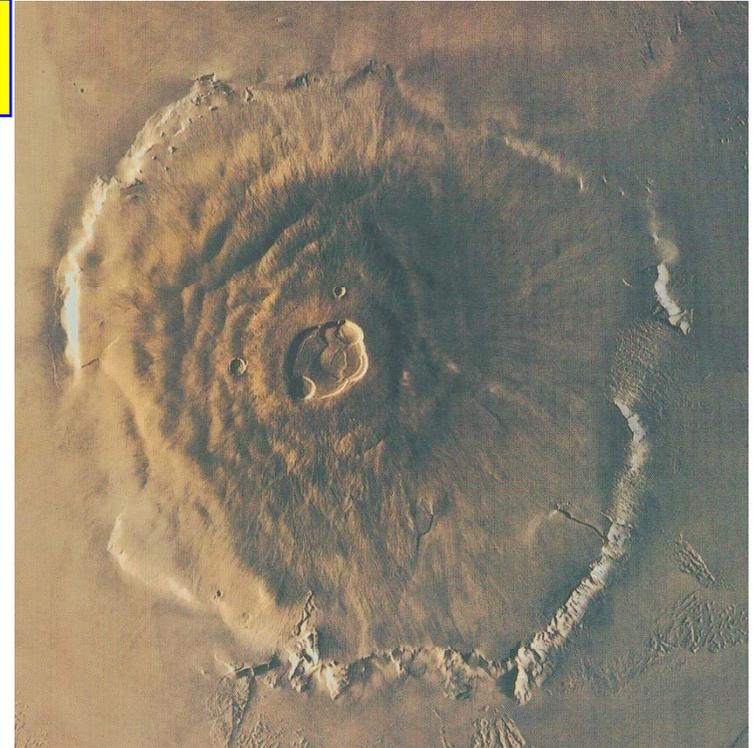
自己組織化臨界現象



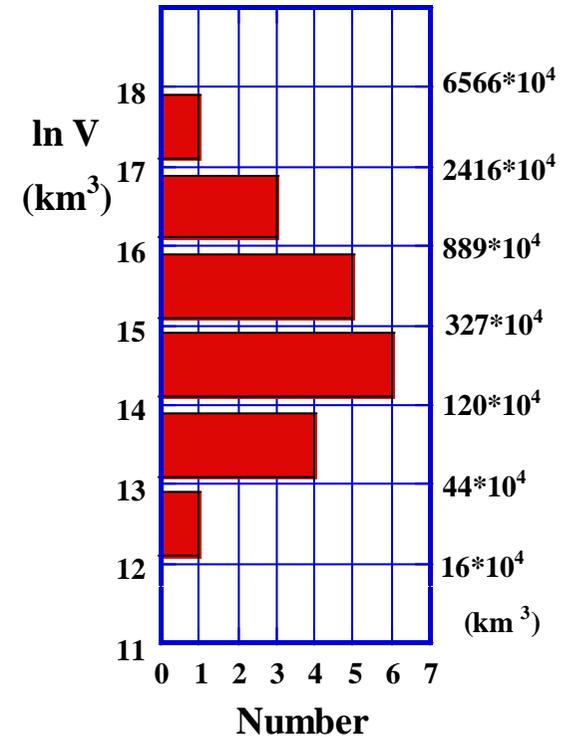
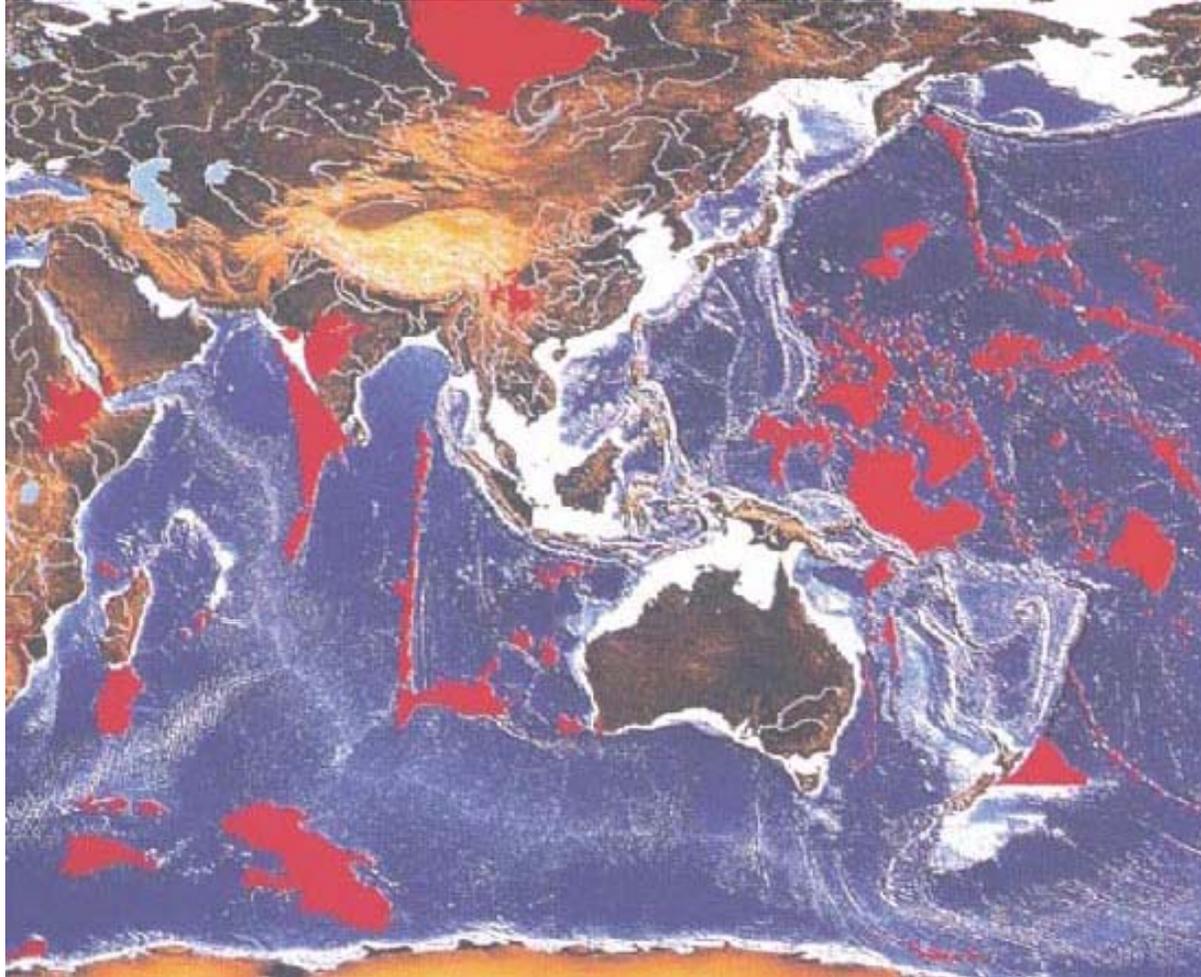
Bakらの砂山モデル⇒火山体の崩壊モデル

## 火山のサイズ： 太陽系最大は？

火星、オリンポス山?:  
直径600km、高さ26km、  
数億年-200万年前に形成  
山頂カルデラ、径80km  
末端が崖になっている。  
山体体積：約 $5 * 10^6 \text{km}^3$



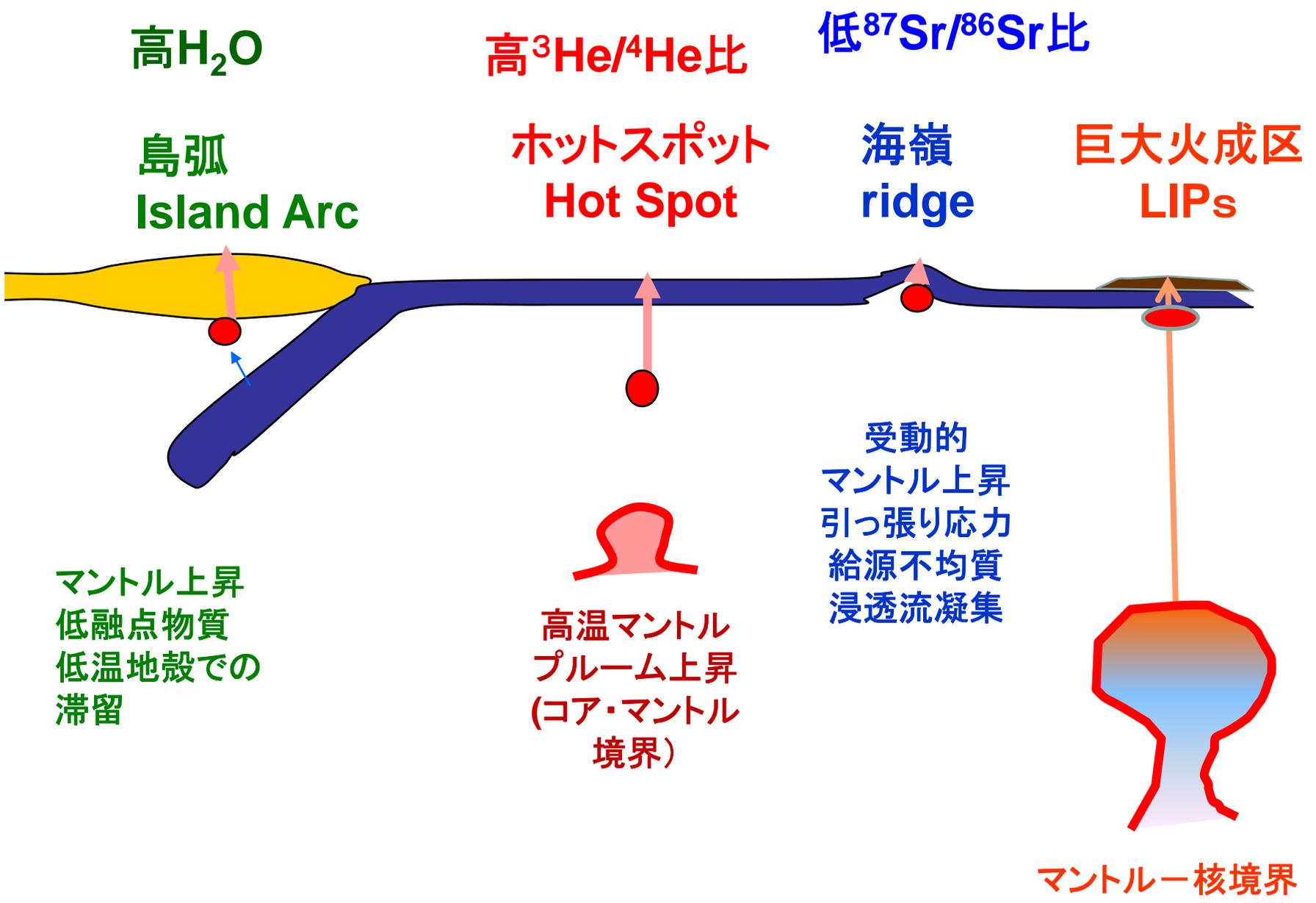
# 巨大火成区 (Large Igneous Province)



**Ontong Java 海台**  
**4440万 km<sup>3</sup>**  
**太阳系最大！**

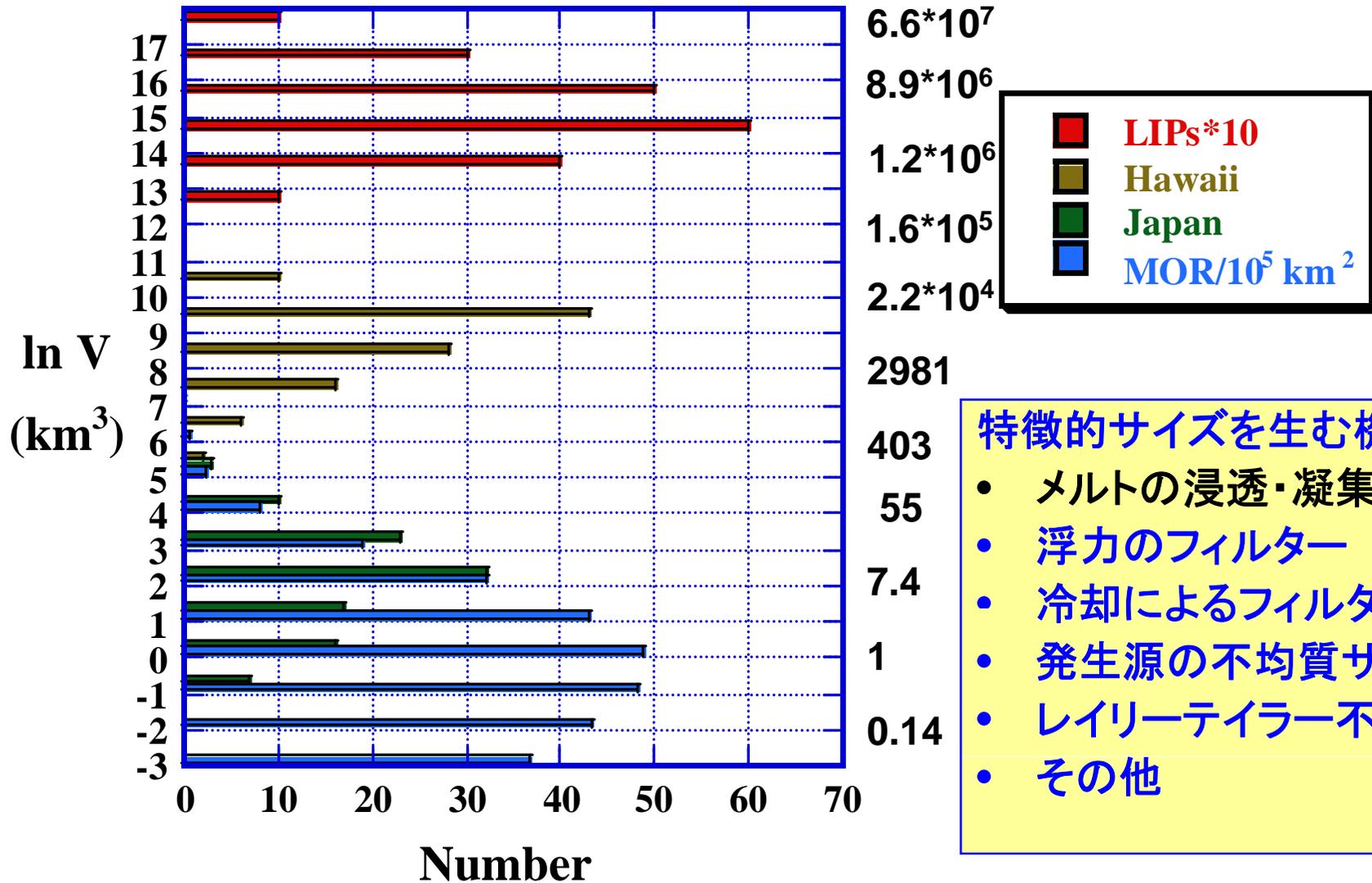
**LIPs Commission, IAVCEI**

# 地球上の火山の分類



# 火山体のサイズ分布：

其々の産状によって特徴的なサイズが認められる。



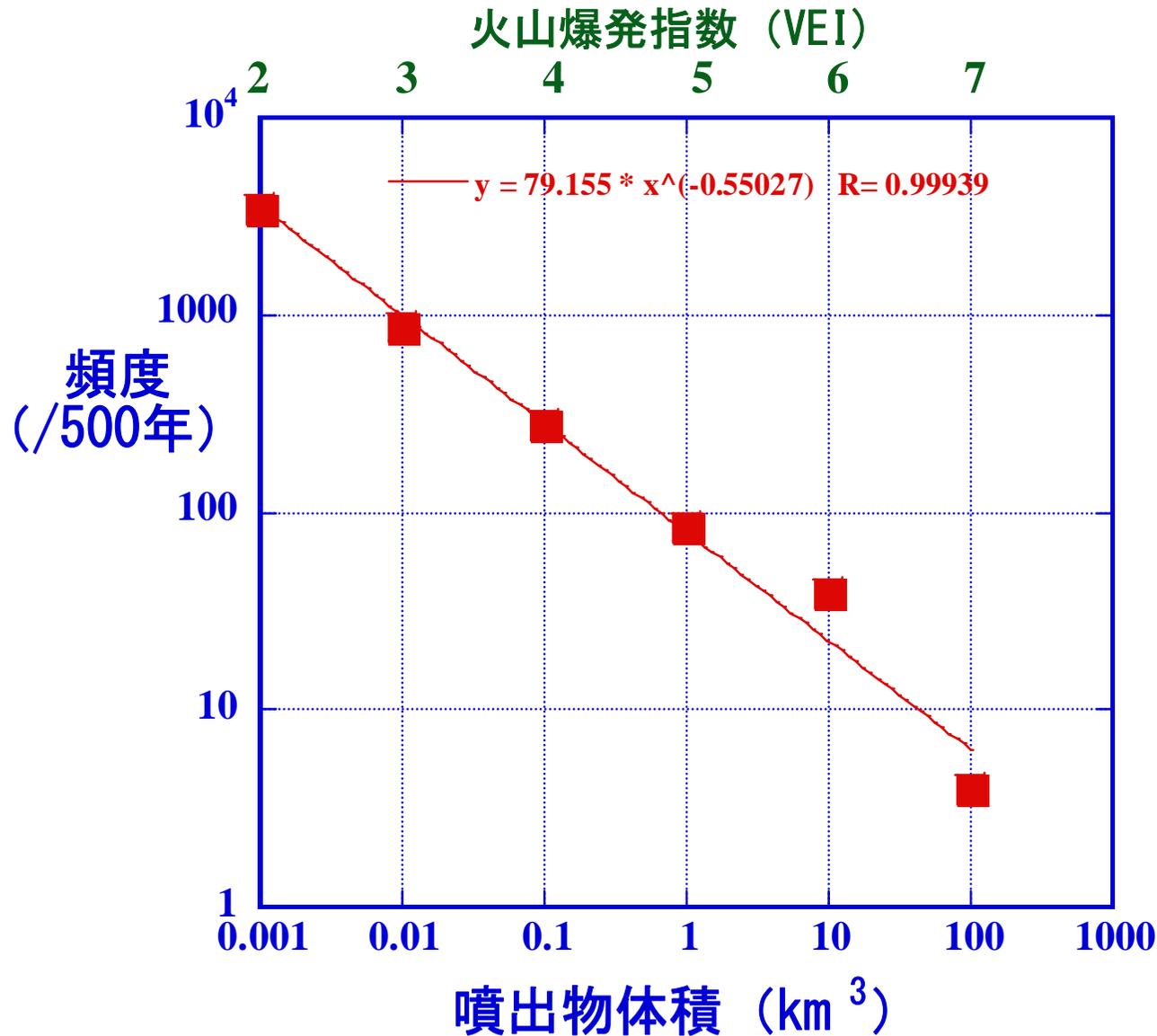
- 特徴的なサイズを生む機構**
- メルトの浸透・凝集
  - 浮力のフィルター
  - 冷却によるフィルター
  - 発生源の不均質サイズ
  - レイリーテイラー不安定
  - その他

# 噴火サイズ: 火山爆発指数 (Volcanic Explosivity Index: VEI)

VEI	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
規模	非爆発的噴火	小規模	中規模	やや大規模	大規模	非常に大規模				
テフラ体積(m <sup>3</sup> )	$1 \times 10^4$	$1 \times 10^6$	$1 \times 10^7$	$1 \times 10^8$	$1 \times 10^9$	$1 \times 10^{10}$	$1 \times 10^{11}$	$1 \times 10^{12}$		
噴煙高度(km) 火口上 海面上	<0.1	0.1-1	1-5	3-15	10-25	>25	→			
噴火のタイプ	←ストロンボリ式→			←プリニー式→						
	←ハワイ式→		←ブルカノ式→			←ウルトラプリニー式→				
噴火継続期間	←<1時間→				←1-6時間→		←>12時間→			
	←6-12時間→									
対流圏への供給	微小	少量	中程度	大量	→					
成層圏への供給	なし	なし	なし	時にあり	必ずあり	顕著	→			
件数	699	845	3477	869	278	84	39	4	0	

図 1.10 火山爆発指数 (VEI) の定義 [Simkin and Siebert, 1994 を一部改変]

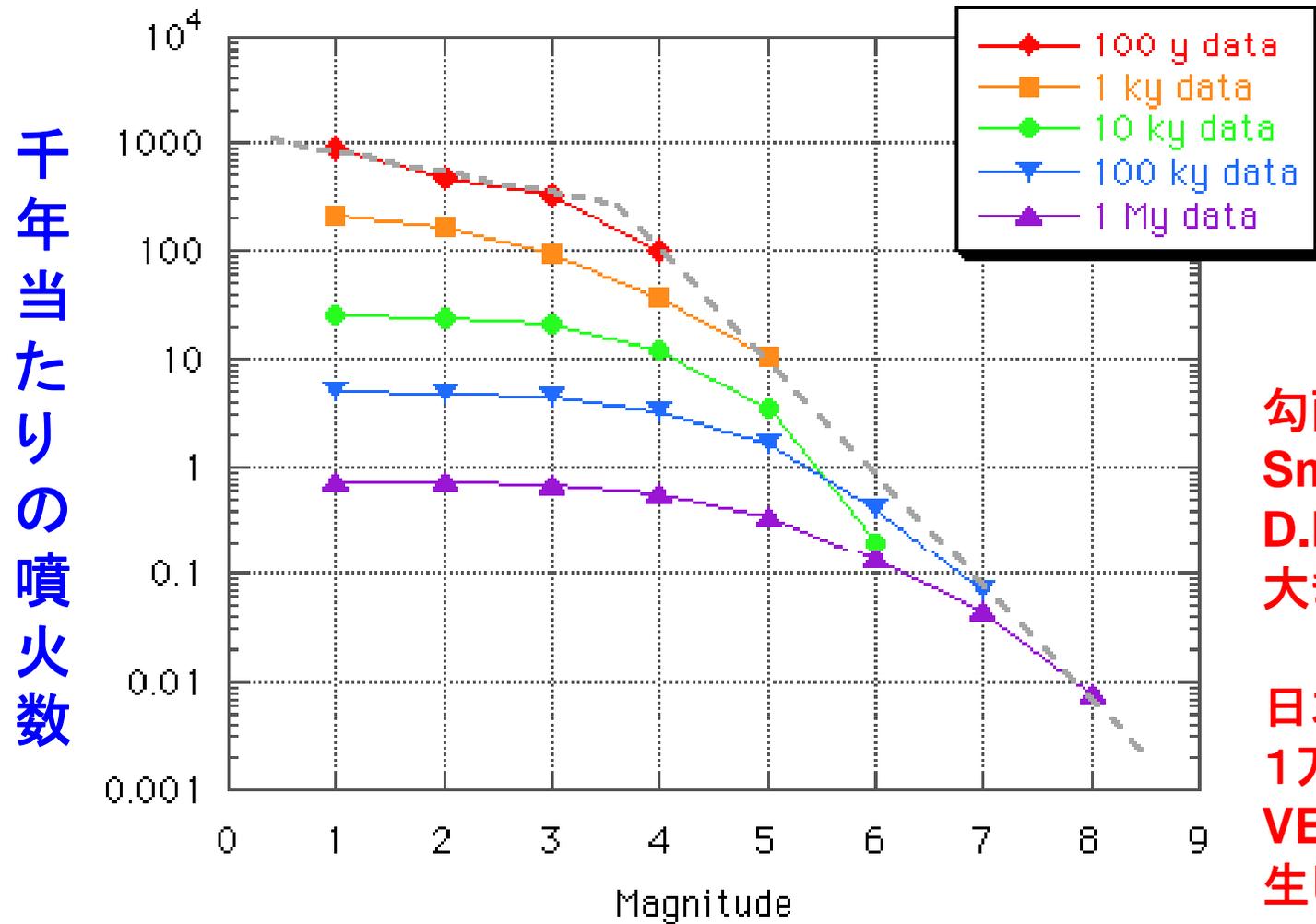
# 噴火サイズと頻度：世界 (Smithsonian database)



このような  
頻度とEに関  
する幂の関係  
は自然現象に  
多く見られる  
地震、天体衝  
突

⇒大規模な  
現象は極めて  
稀にしか生じ  
ない。

## 噴火サイズと頻度：日本（早川由紀夫）



勾配が-1で  
Smithsonian  
D.B. (-0.55) より  
大きい

日本列島では  
1万年に一度  
VEI=7の噴火が  
生じる。

噴火マグニチュード

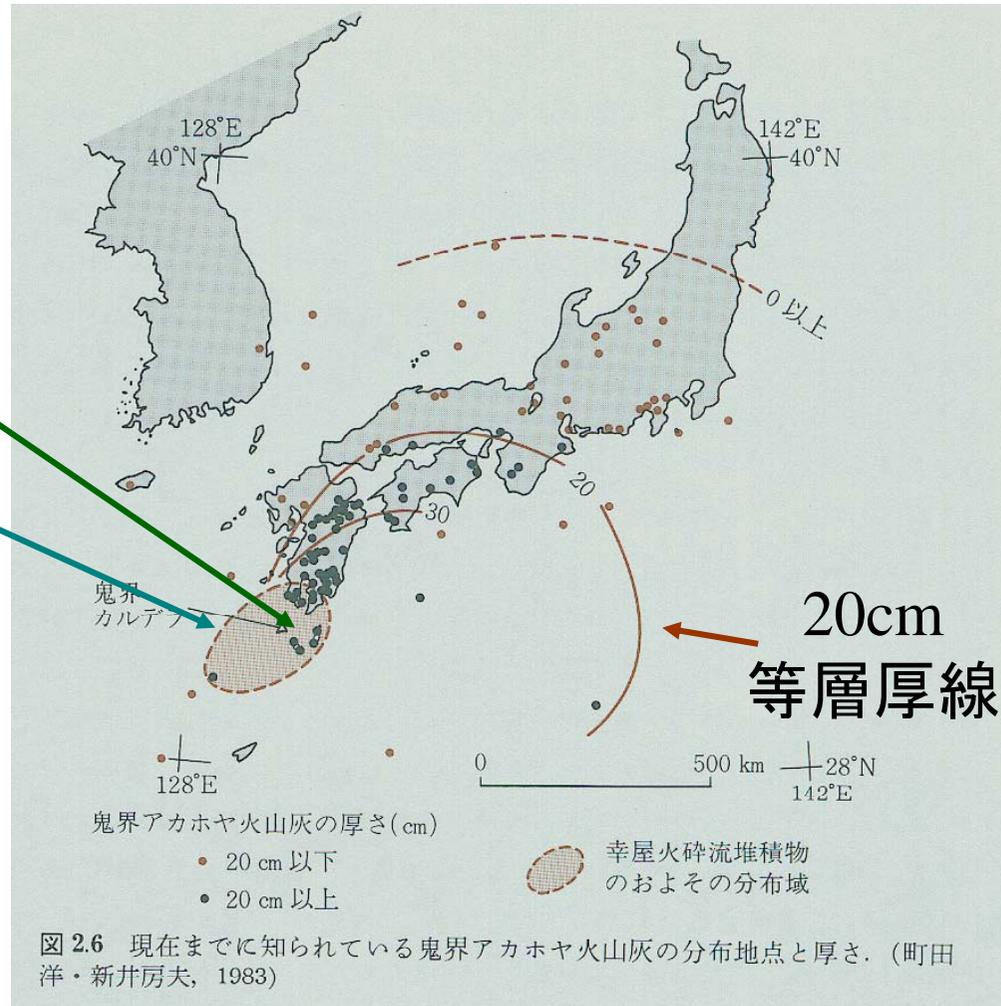
# 鬼界アカホヤ噴火 Kikai Akahoya eruption (6500年前)

VEI=7  
約150km<sup>3</sup>

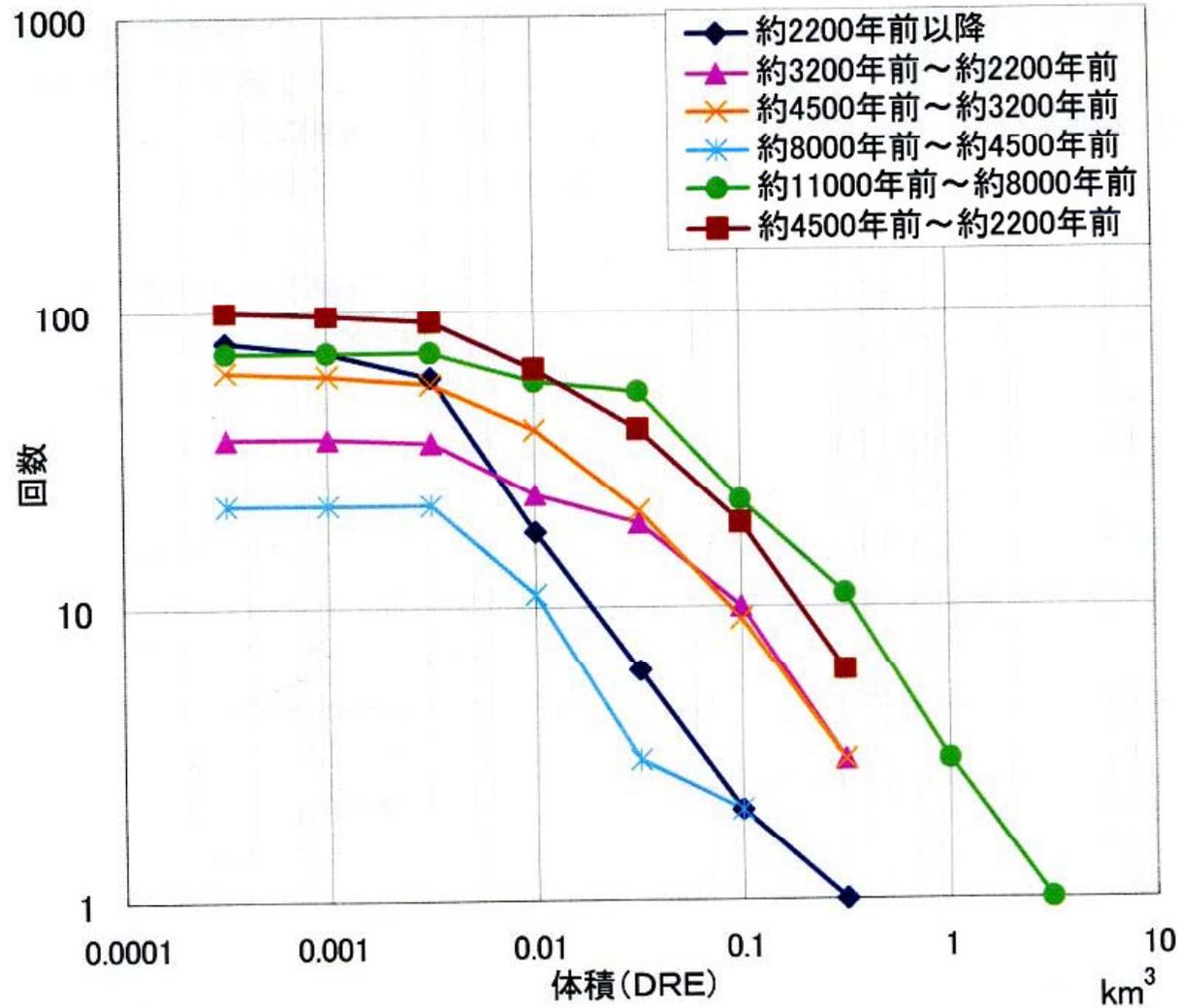
鬼界カルデラ

火砕流分布域

日本列島では  
1万年に1度  
巨大カルデラ  
噴火が生じる。



# 富士火山の噴火サイズ分布



個々の火山の噴火では、ある程度特徴的なサイズが認められる。

図8 噴火規模別頻度分布

各年代ごとに噴火規模（1回の噴火におけるマグマの噴出量（体積））と噴火回数との関係を表したもの。

# 日本列島の各火山の噴火最大規模と噴火間隔 (町田・新井 1992)

既往最大噴火規模(噴出物量)      最新の噴火時代

- |                      |          |
|----------------------|----------|
| ○ >10km <sup>3</sup> | ○ 0~2千年前 |
| ○ 0.1~10             | ⊗ 2~10   |
| ○ 0.01~0.1           | ⊕ 10~50  |
| ○ <0.01              | ○ 50~130 |
|                      | ⊗ >130   |
|                      | * >130   |

噴火周期  
10<sup>n</sup>年

10のべき指数 *n* で示す。  
未記入は不明のもの。

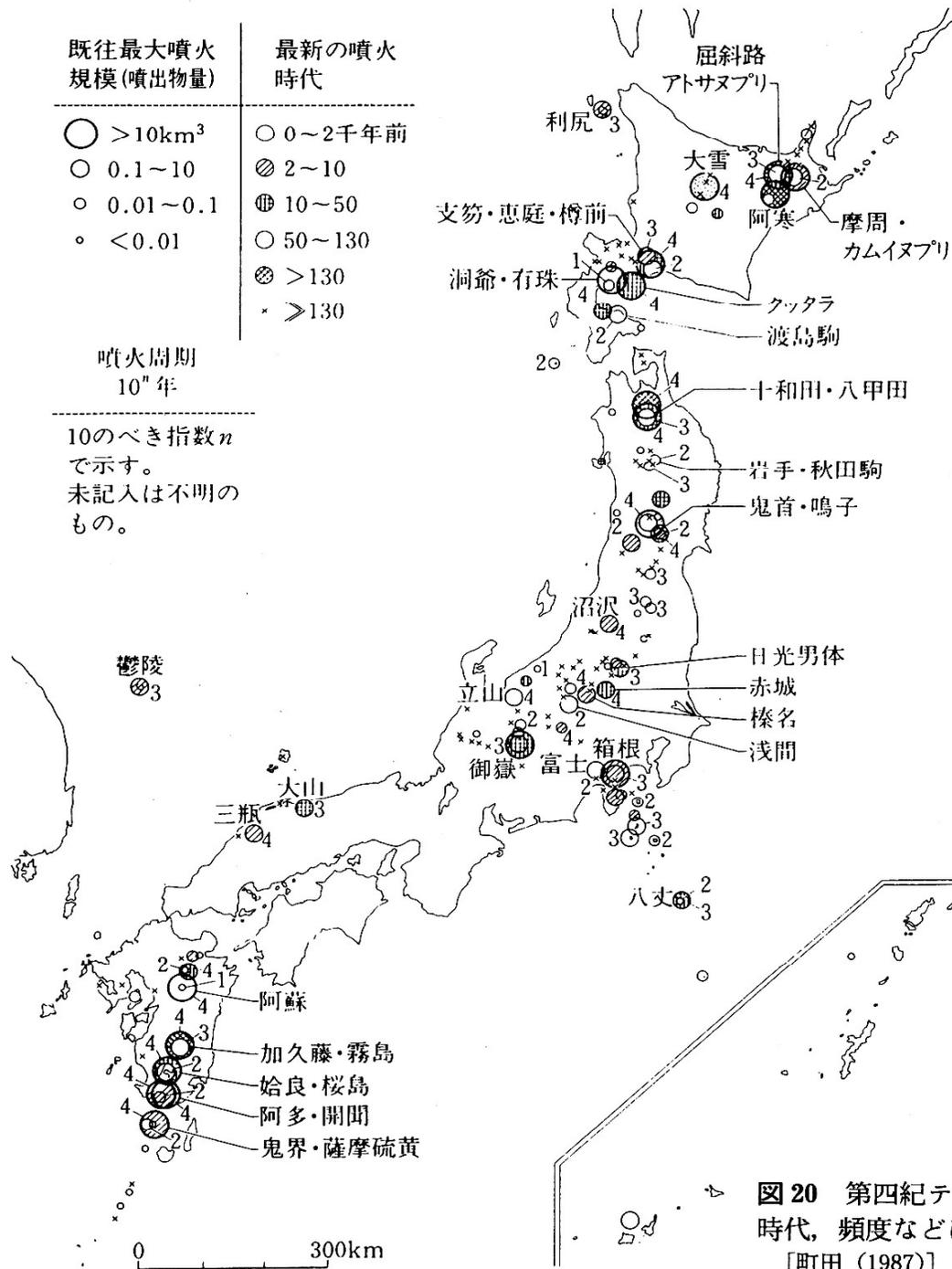
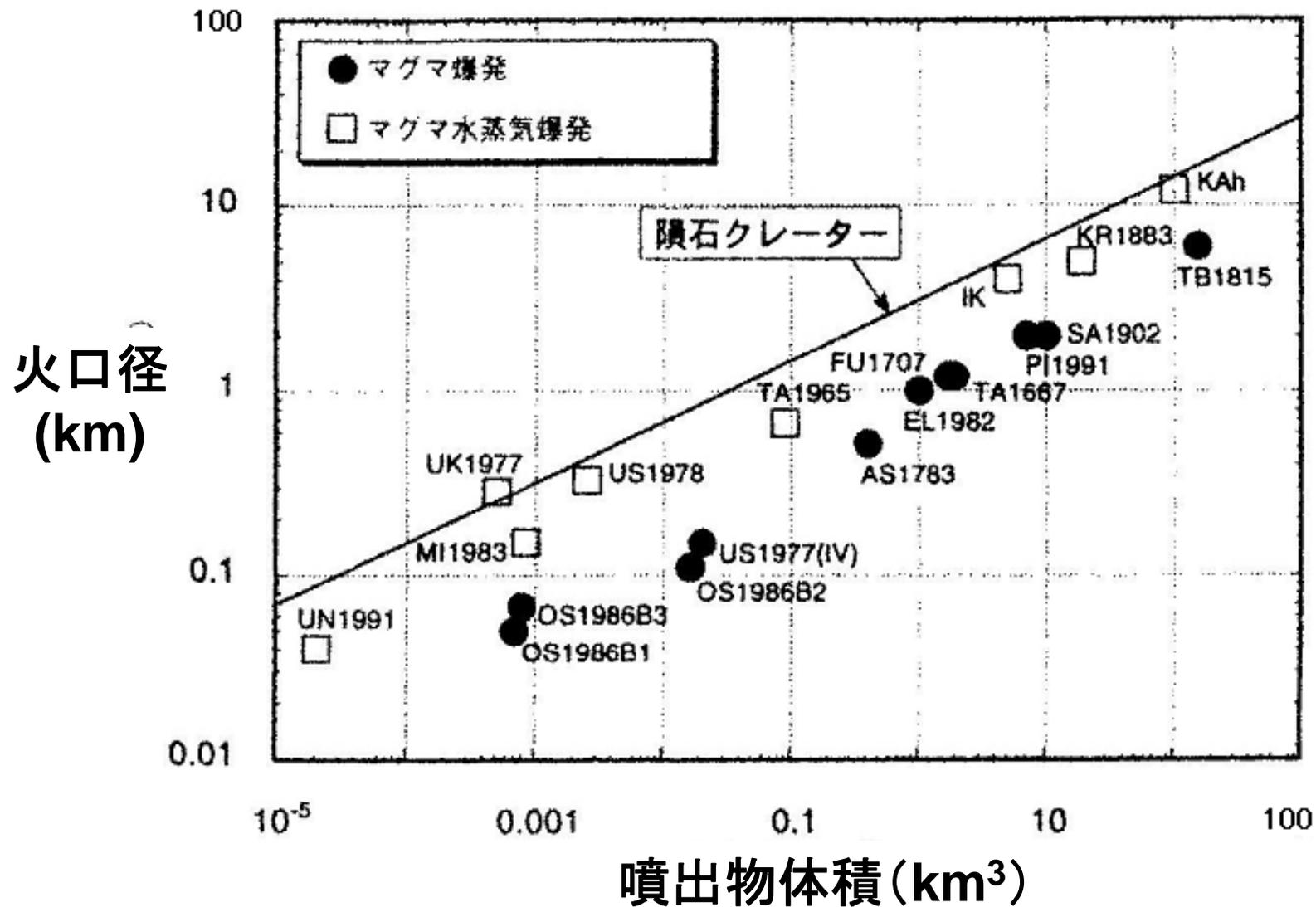


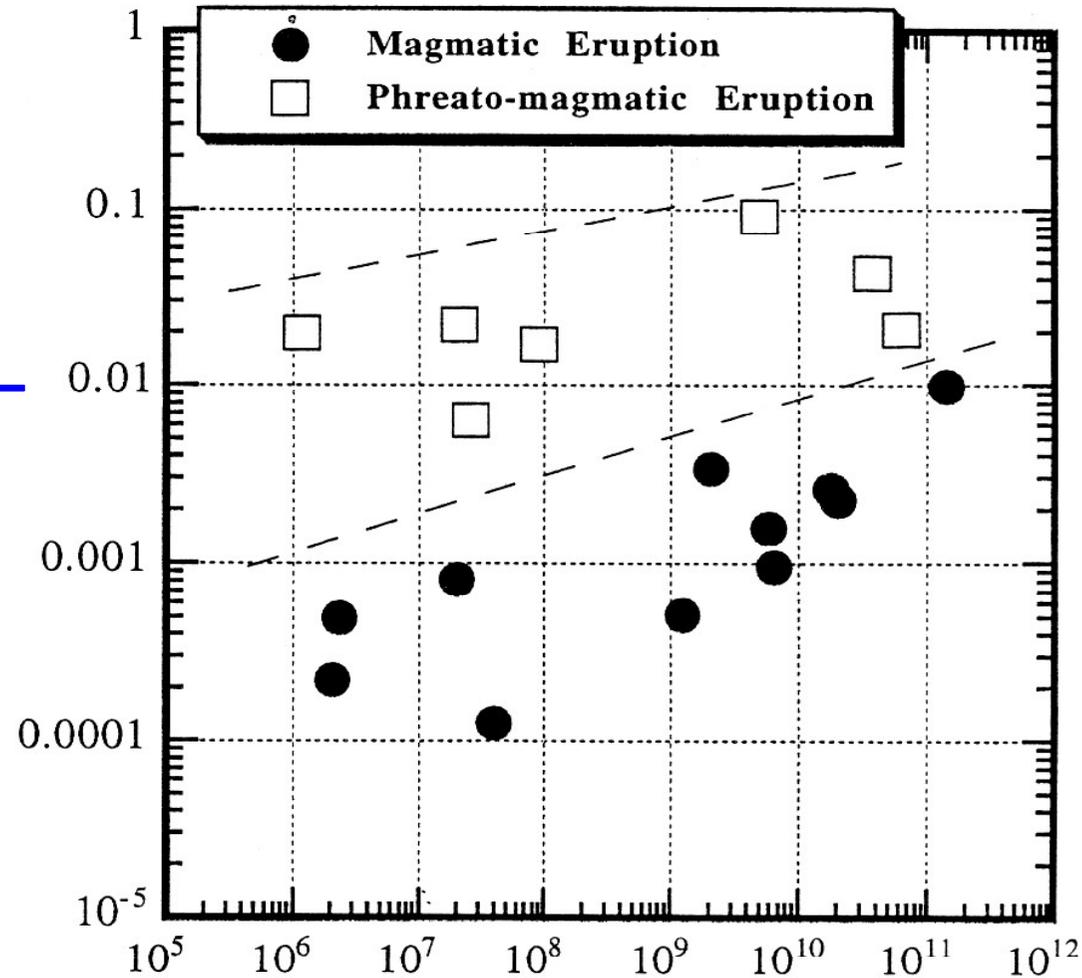
図20 第四紀テフロクロ時代, 頻度などによる日  
[町田 (1987)]

# 火口径サイズと噴出物量の関係



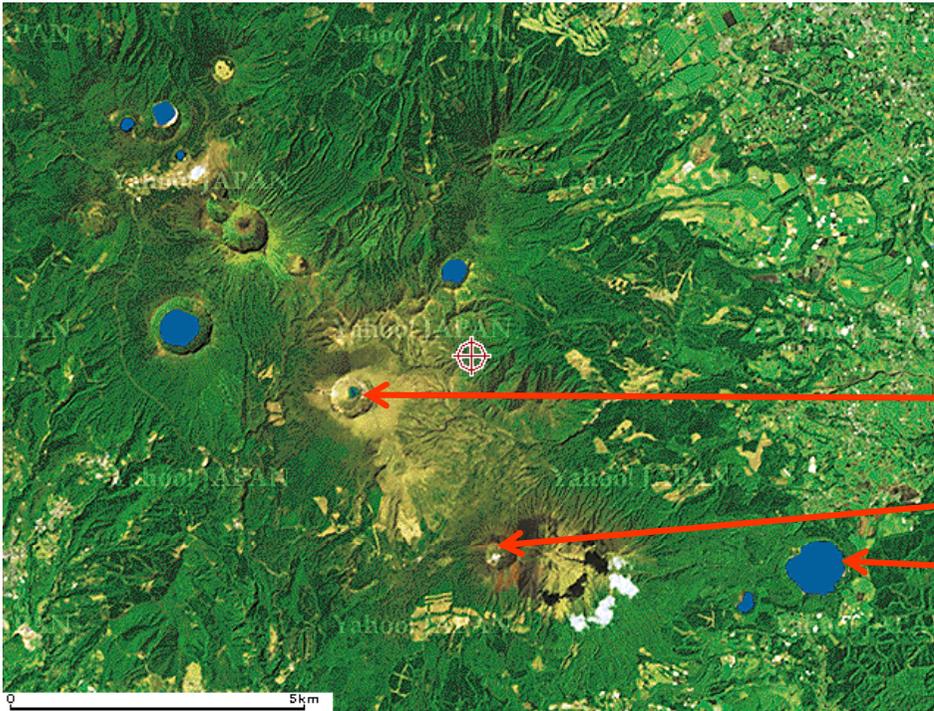
# 爆発エネルギーと熱エネルギーの比

爆発エネルギー  
/熱エネルギー

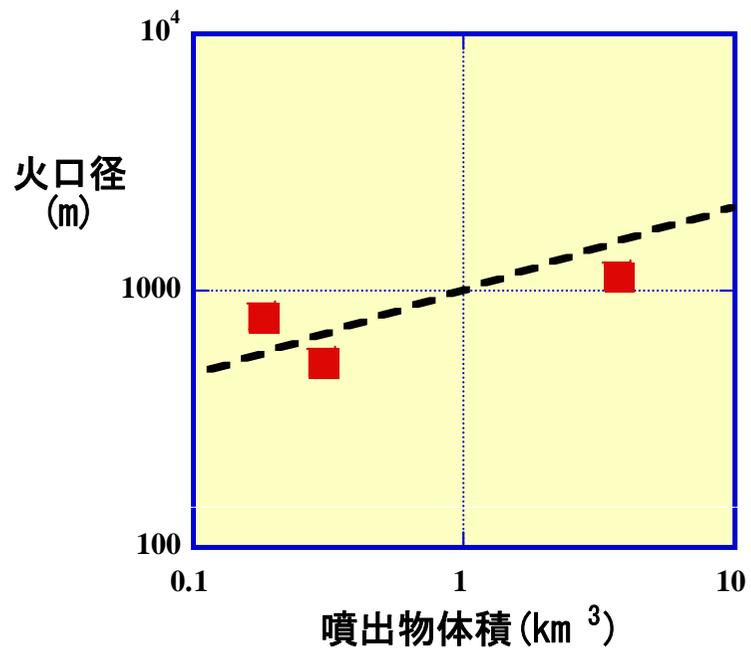


噴出物量( $m^3$ )

# 霧島火山群



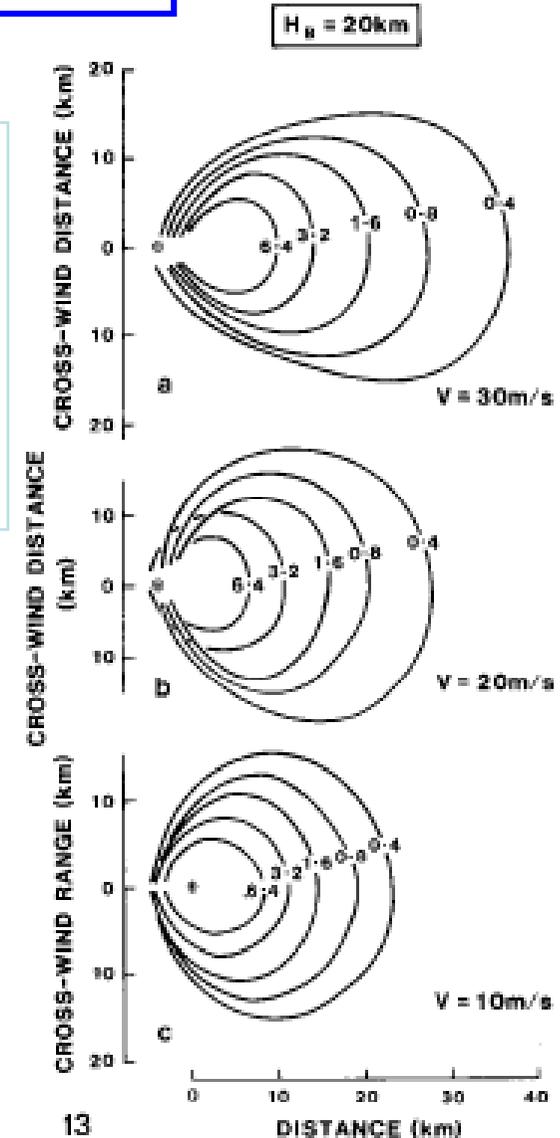
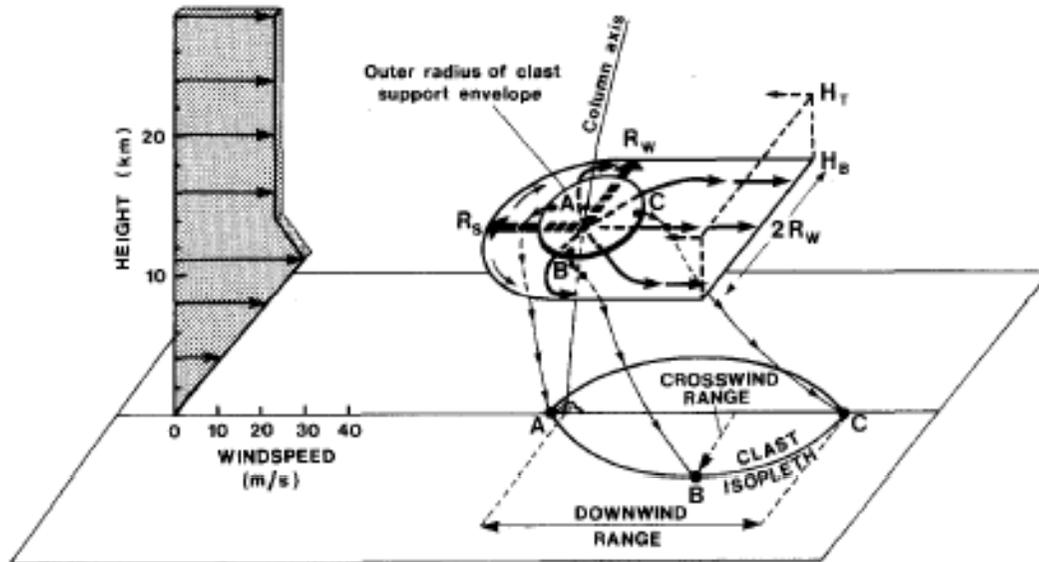
	年代	火口径 (km)	総噴出 量(km <sup>3</sup> )
新燃岳	1717・8	790	0.18
御鉢	788	530	0.30
御池	BC3000	1150	3.7



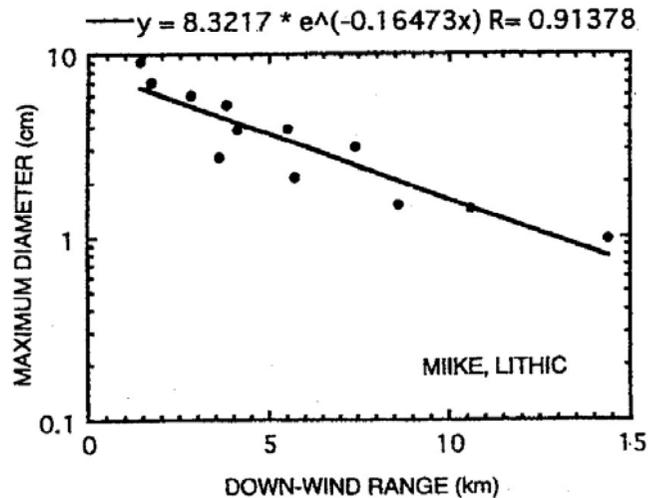
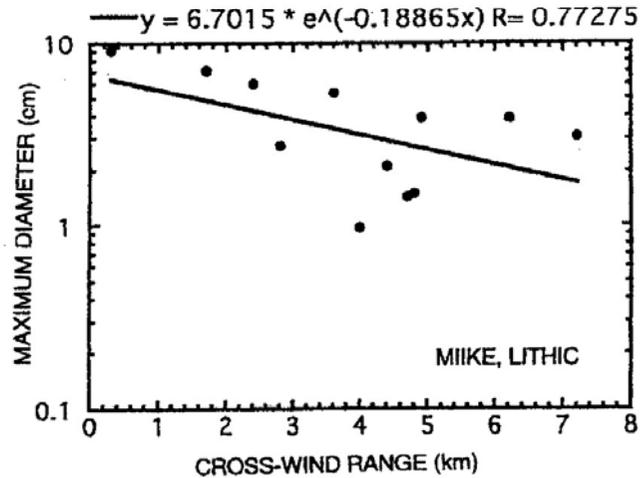
# 堆積物の最大粒径から見積もる噴火強度 Carey & Sparks(1986)の方法



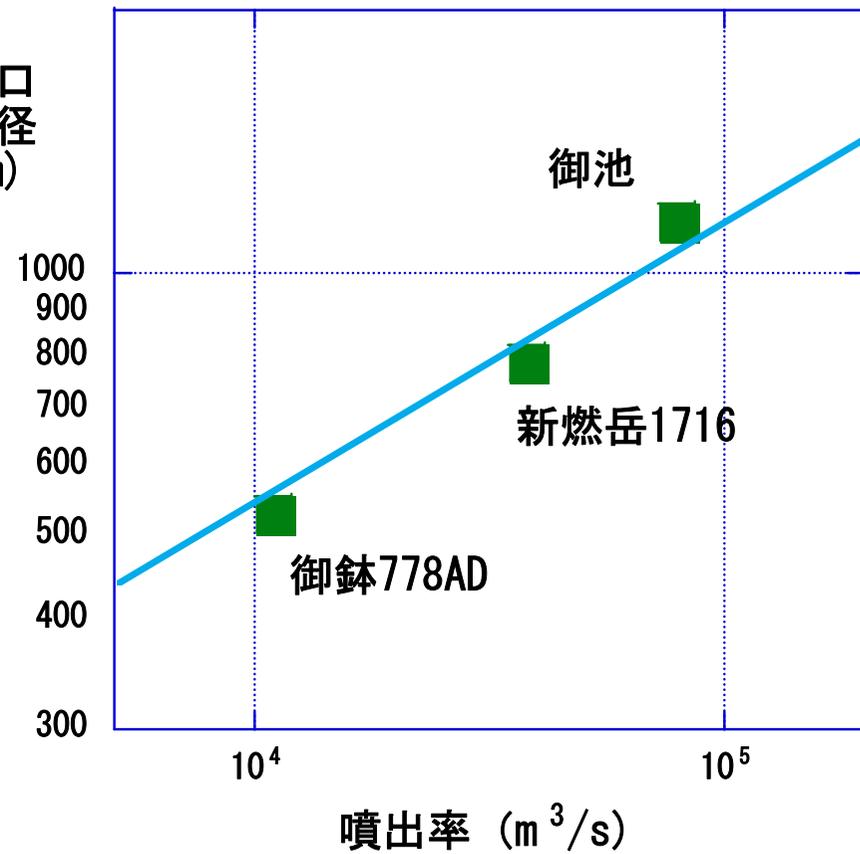
各露頭から堆積物  
0.1m<sup>3</sup>を掘り出し最大3個の軽石・岩片  
の平均サイズを計測する。



噴出物の最大粒径分布を計測して噴出率を求めると、それは火口直径とよい相関を示した。噴出量＝噴出率×継続時間は火口直径と相関しない場合もある。

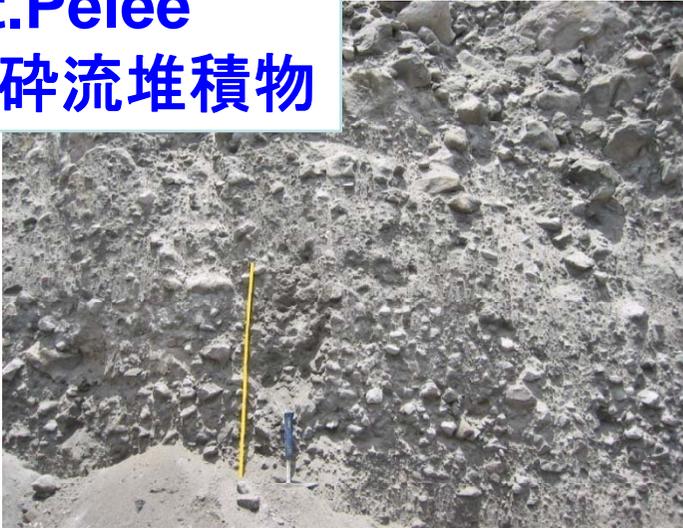


火口直径 (m)

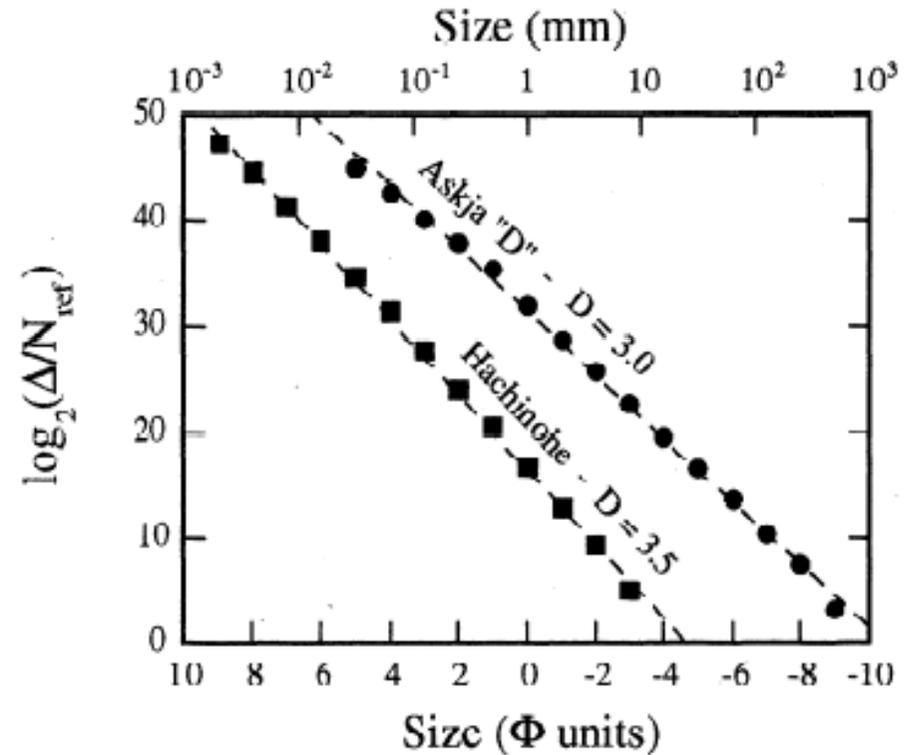


# 火砕物のサイズ分布

Mt. Pelee  
火砕流堆積物

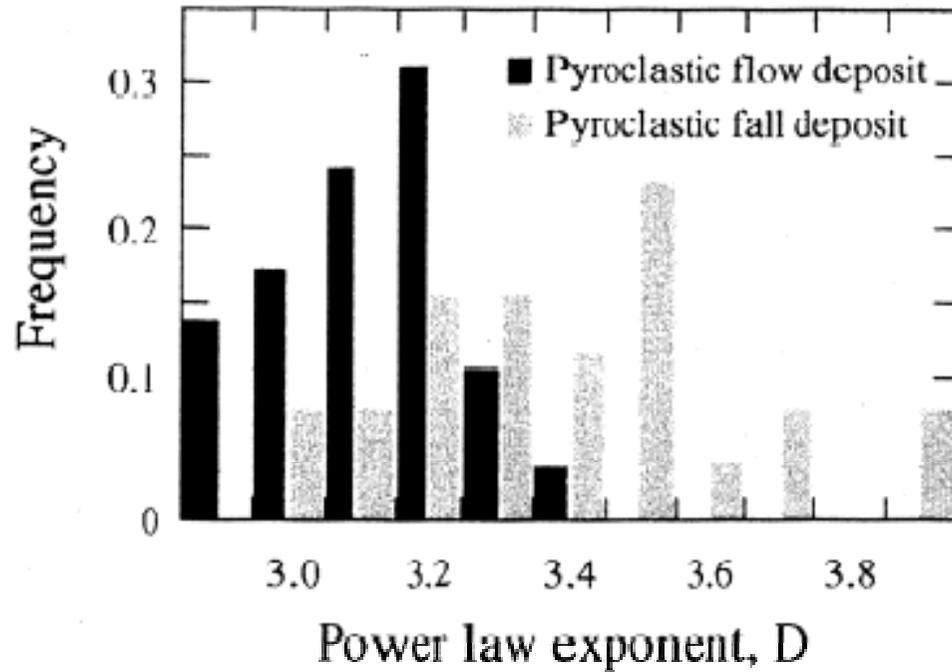


大隅降下軽石  
堆積物



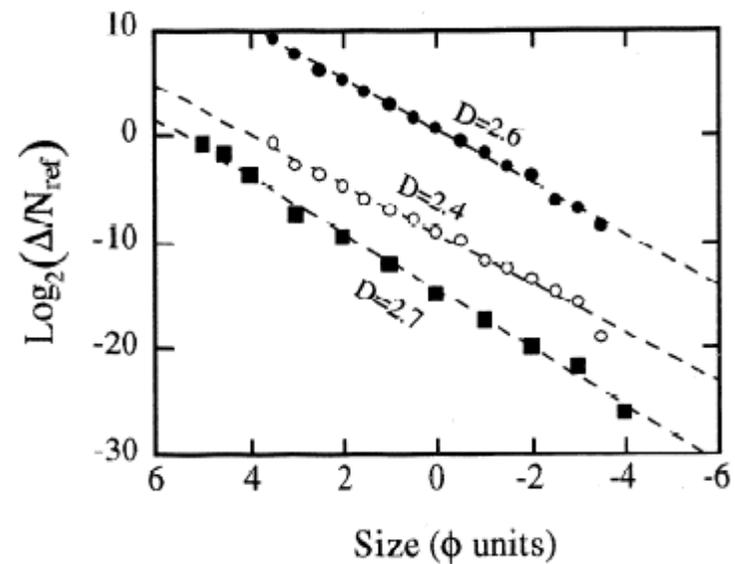
ふるいによる粒度分析から  
サイズ分布を求めると、冪分布  
を示す。上のデータは噴出物総量  
に対するサイズ分布を示す。  
(Kaminski & Jaupart, 1998)

# 火砕流堆積物と降下火砕物の違い

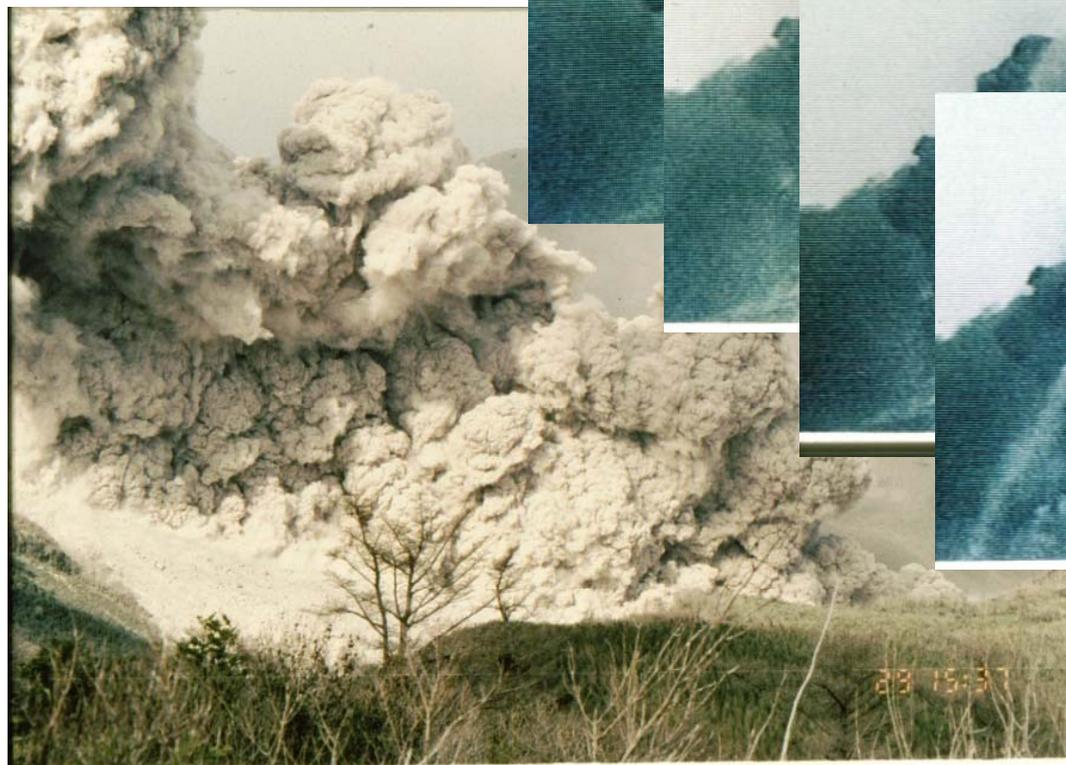


降下火砕物の冪の値(3-4)は火砕流堆積物の値(2.8-3.4)より大きく、破砕が進行している。

単純な一回の破砕実験では、サイズ分布の冪の値は3以下である。



# 雲仙岳崩落型火碎流 1991—1995



# 崩落型火砕流のサイズ分布

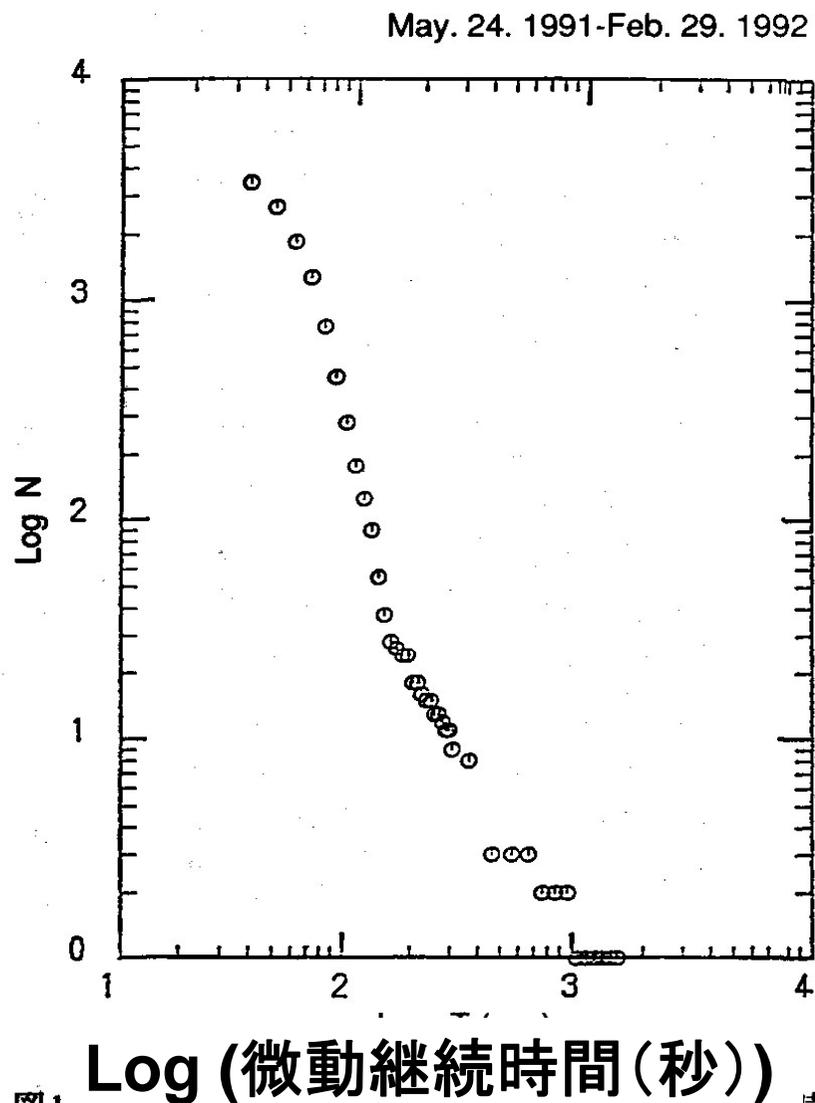
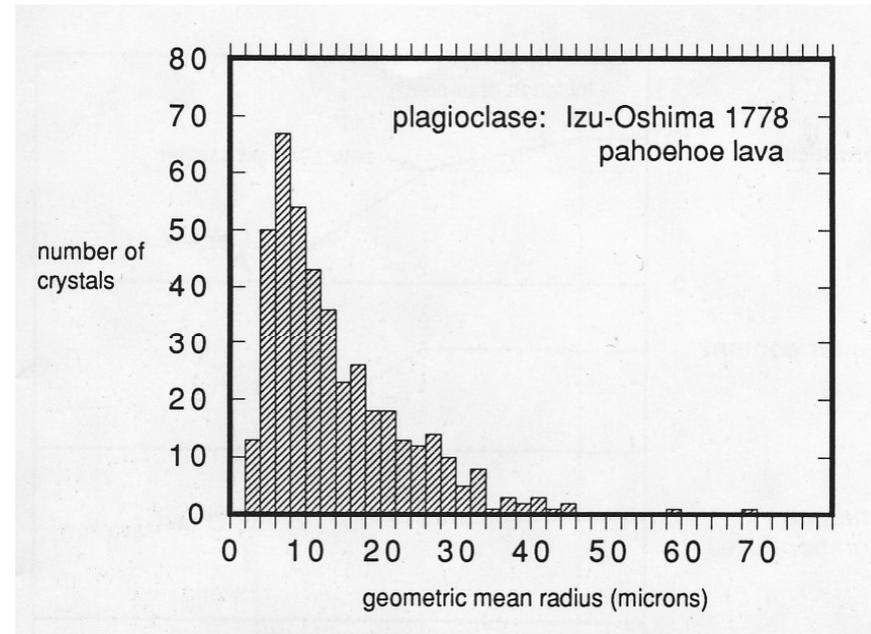


図1

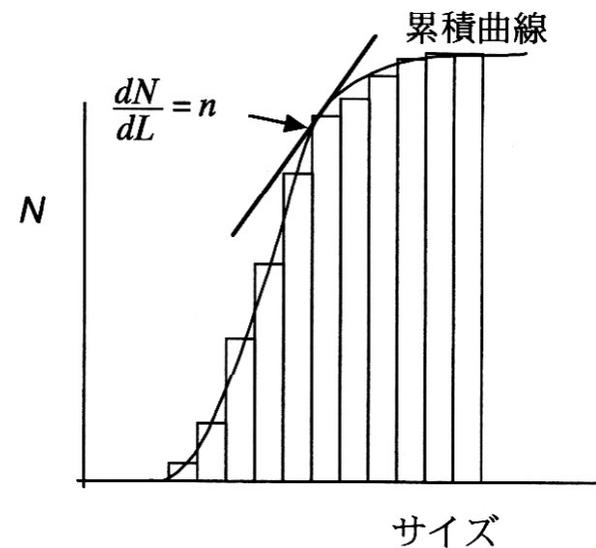
間の積算頻度分布 (気象庁による).



# 結晶サイズ分布

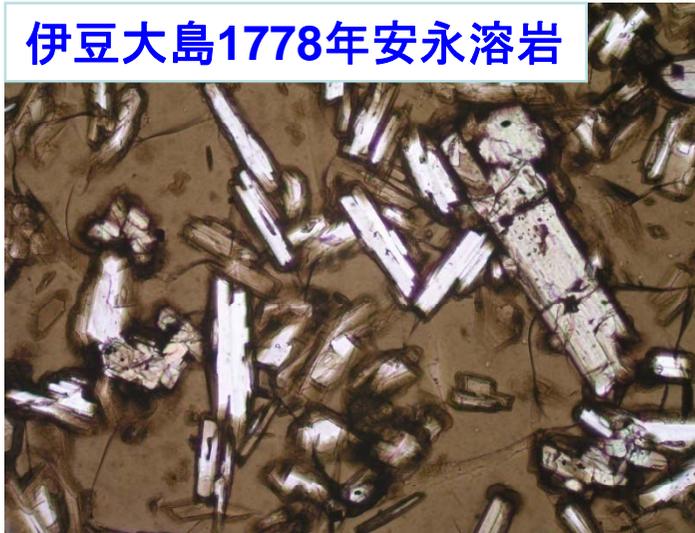


1. 2Dでの斜長石、輝石の見かけサイズ計測
2. 2Dサイズクラス頻度分布
3. 2D⇒3Dへの変換、補正
4. 3Dでの数密度 ( $m^{-4}$ ) - サイズの表示

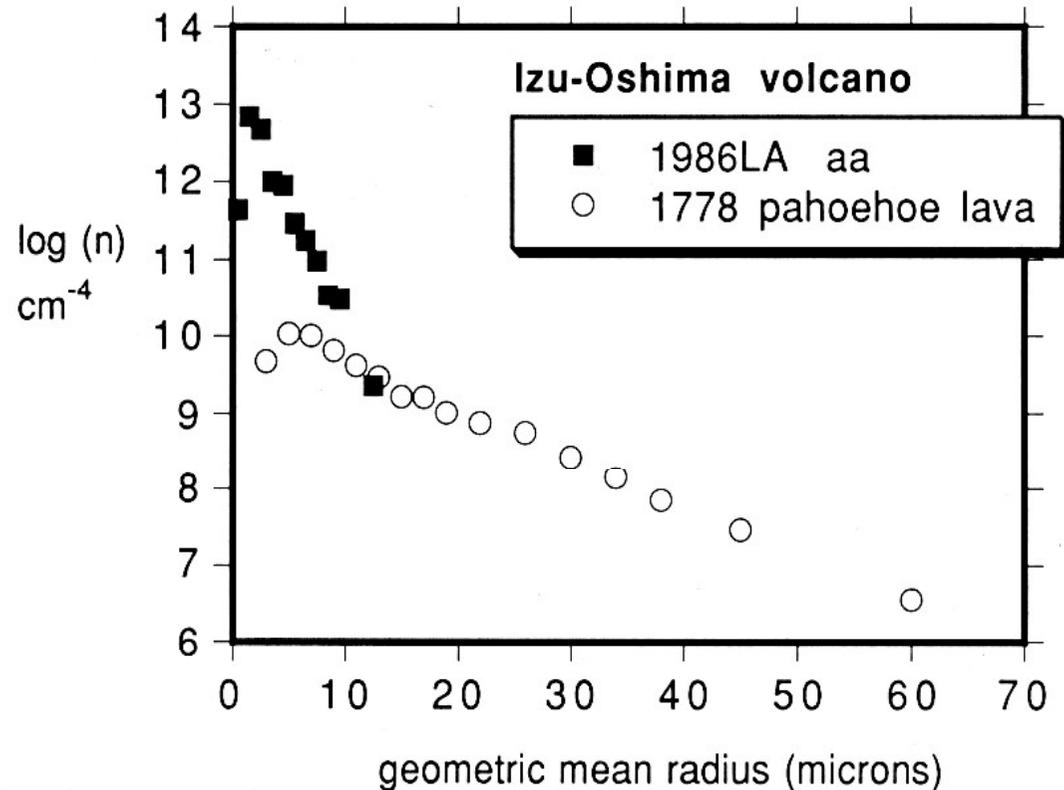


# 伊豆大島溶岩の結晶サイズ分布

伊豆大島1778年安永溶岩



伊豆大島1986年溶岩



結晶サイズ分布 (Crystal Size Distribution) は指数分布になることが多い。多数のモデルがある。結晶核生成、結晶成長

## まとめ

- 火山体サイズは対数正規分布をとる傾向があるが、火山生成機構によって分布は異なる
- 火山噴火サイズ分布は全体として冪分布をとるが、個々の火山での噴火サイズはある程度特徴的なサイズが認められる。
- 爆発的噴火の火砕物総量は冪分布を示す。
- 崩落型火砕流では大きいものは冪分布を示す。
- 結晶サイズ分布(CSD)は指数分布を示す。
- サイズ分布を検討することは、生成機構についての新たな視点を与える。