

# マイクロライトサイズ分布と火山噴火の噴火様式の関係

*Relationship between microlite size distribution and eruptive style*

*Non-explosive eruption*



Unzen 1990–1995

太田氏撮影

*Explosive eruption*



St. Helens 1980

USGS photo

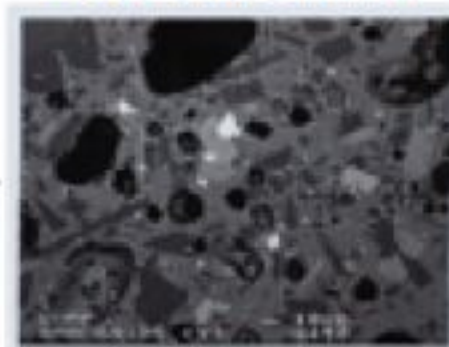


# マグマの上昇と噴火様式

## Eruption style

噴出物の情報

爆発的な噴火  
(軽石などの噴出)



脱ガスが不完全だと・・・

溢流型噴火  
(溶岩流の流出)

十分な脱ガス

火道内部の情報の推定  
噴火のダイナミクスの理解  
(物質科学研究)

Bubble

Crystal

連結をした気泡を通り  
脱ガス

結晶の成長  
(タイムスケールの情報  
を保持している)

気泡の成長・合体

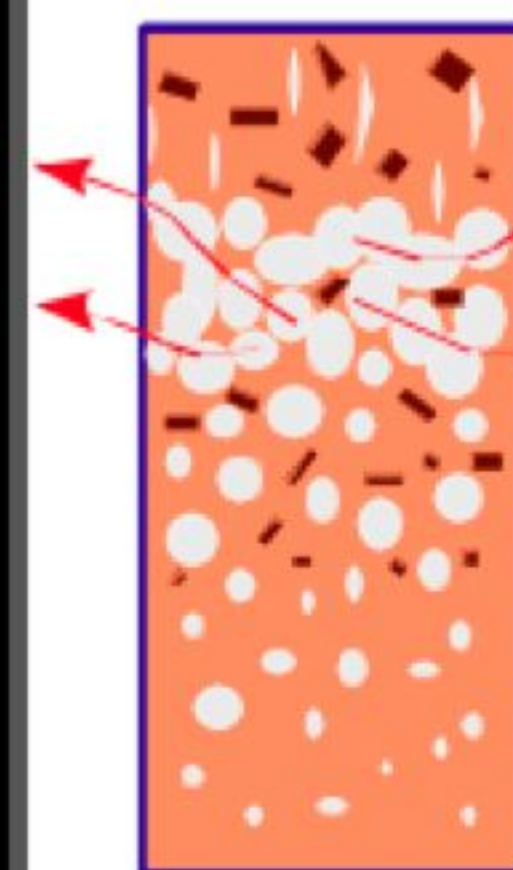
結晶化(核形成)

水の析出(発泡)  
→ liquidusの上昇

気泡の核形成

マグマ溜まり  
揮発性成分(H<sub>2</sub>O)

## 火道上昇時のマグマの相変化



### 脱ガス (気泡の分離)

気泡がマグマの系外へ抜ける  
→ 密度の増加

### 結晶化 (マイクロライト)

水の析出によるliquidusの上昇  
→ 密度, 粘性増加

### 発泡 (水の析出)

揮発性物質(H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>など)の析出  
→ Bulk密度の低下

### 発泡 (水の析出)

Bulk密度の低下→浮力の上昇  
粘性の増加(特に地表付近で桁で増加)  
Hess and Dingwell (1996)

### 結晶化 (マイクロライトの晶出)

Bulk密度の増加 + 粘性の増加: 気泡成長を律速  
潜熱の効果: 結晶化に伴いマグマの温度が上昇

Blundy et al. (2007)

### 脱ガス (気泡の分離)

Bulk密度の増加→浮力の低下  
気泡を介したマグマの浸透率→Permeable flow

Rheology of magma in the conduit:  
相変化 (crystal, melt, gas), 物性 (density, viscosity)

発泡・結晶化・脱ガスのタイミングが重要!!

# これまでの研究

## ~火道中のマグマの流動素過程~

### 発泡過程

水の溶解度と圧力依存性: 噴出物の分析, inclusion

発泡実験: 気泡の核形成, 成長のカイネティクス

### 脱ガス過程

マグマの浸透率: 浸透率測定

減圧発泡実験: マグマ浸透率の変化

Saar and Manga, 1999; Takeuchi et al., 2005

剪断歪み実験: 気泡の形状効果による浸透率の変化

Okumura et al., 2007

単純な系を考える上では、ある程度予測することができる

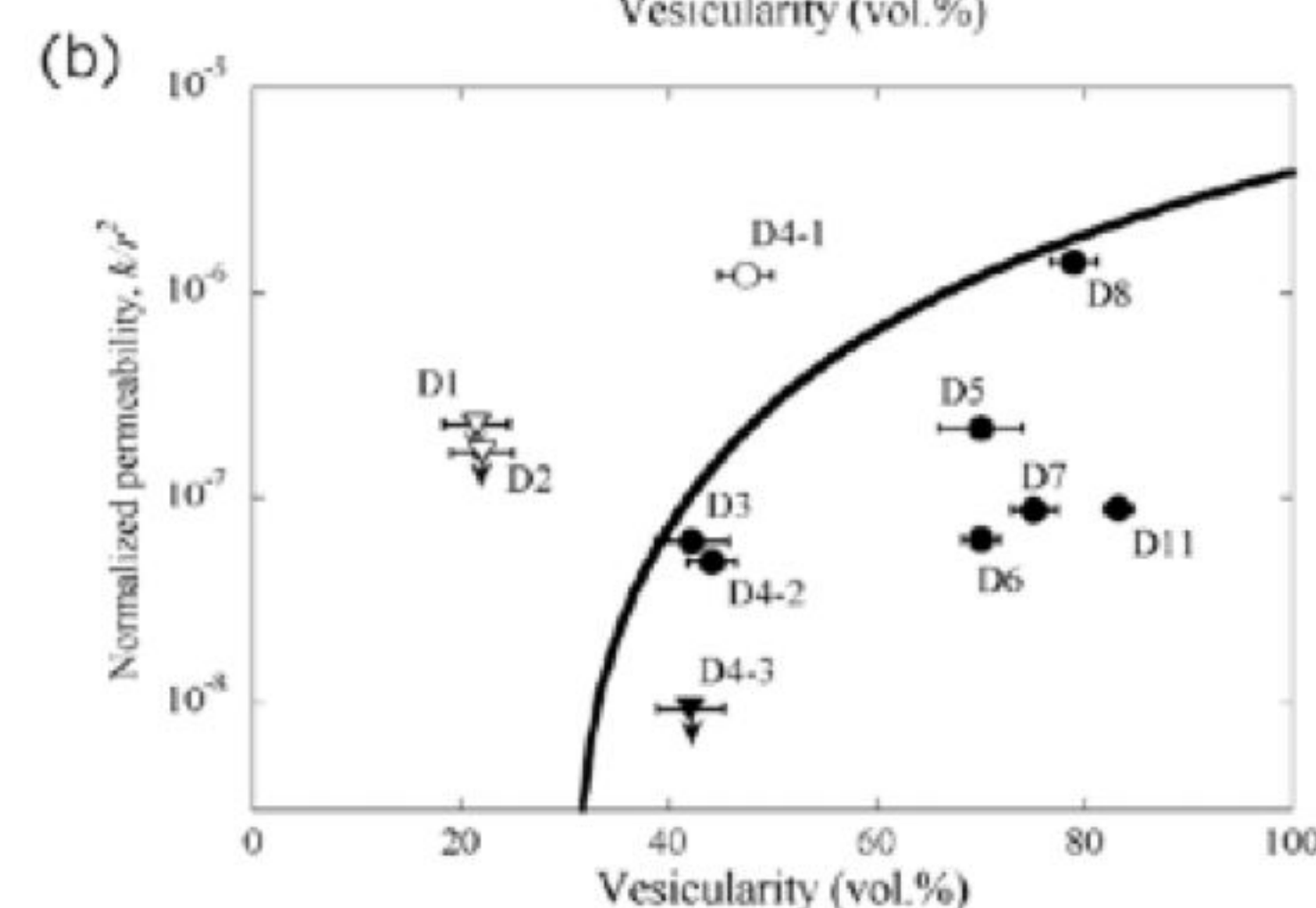
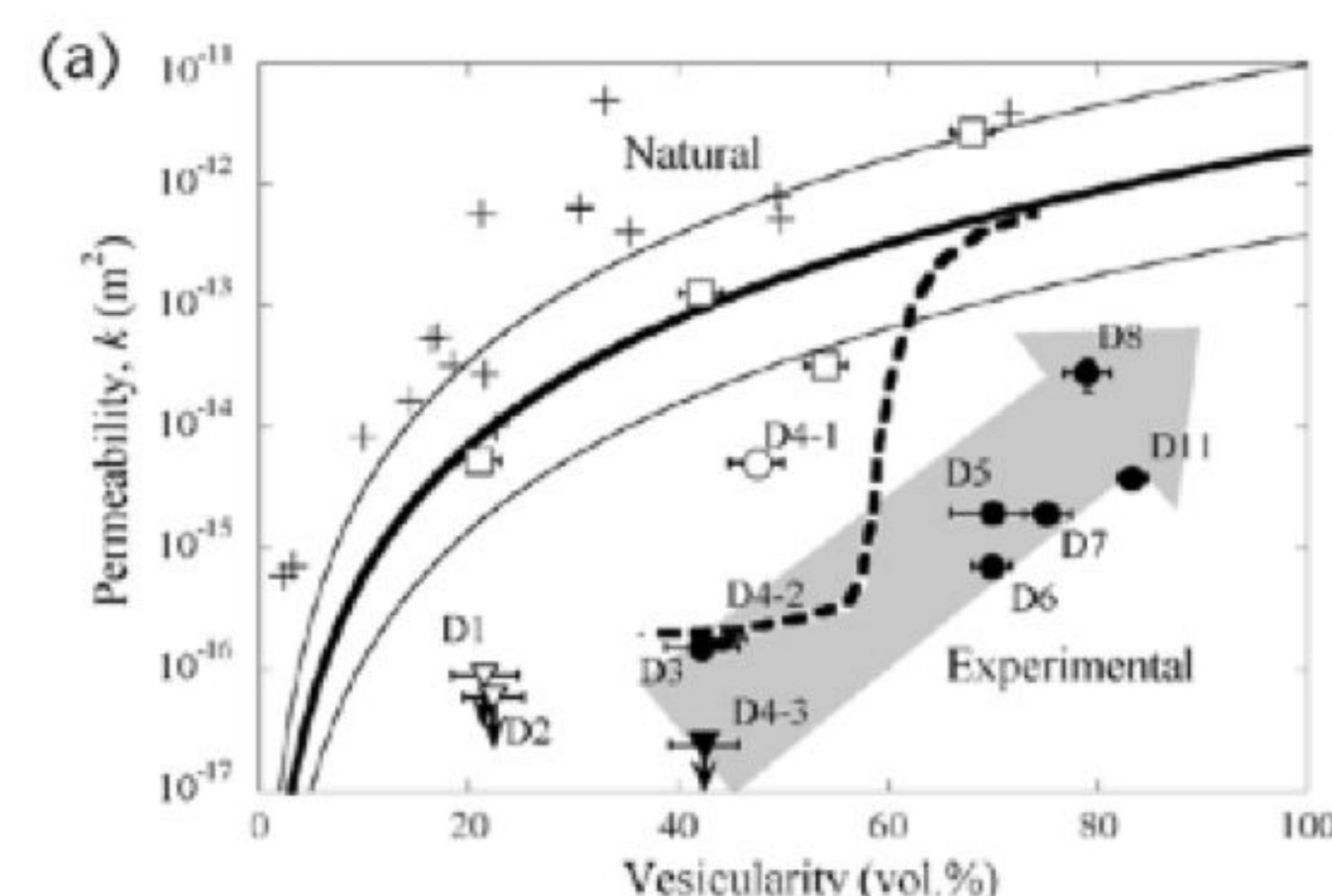
### 結晶化過程

鉱物の化学組成: 温度, 圧力等の推定

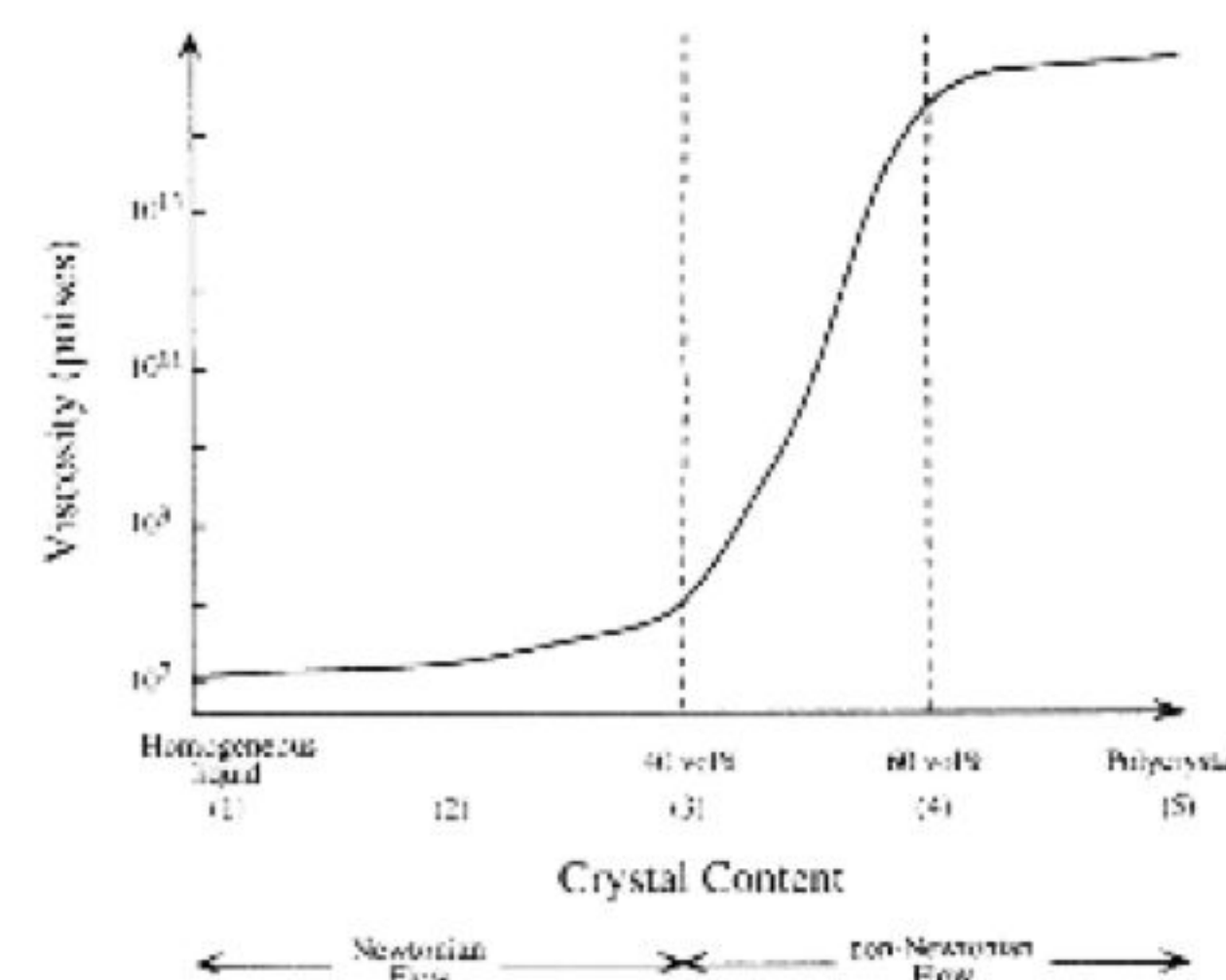
結晶化実験: 結晶の核形成, 成長のカイネティクス

結晶化がマグマ上昇時のどのタイミングでどの程度生じるかについてはわかっていない

→検討する必要がある



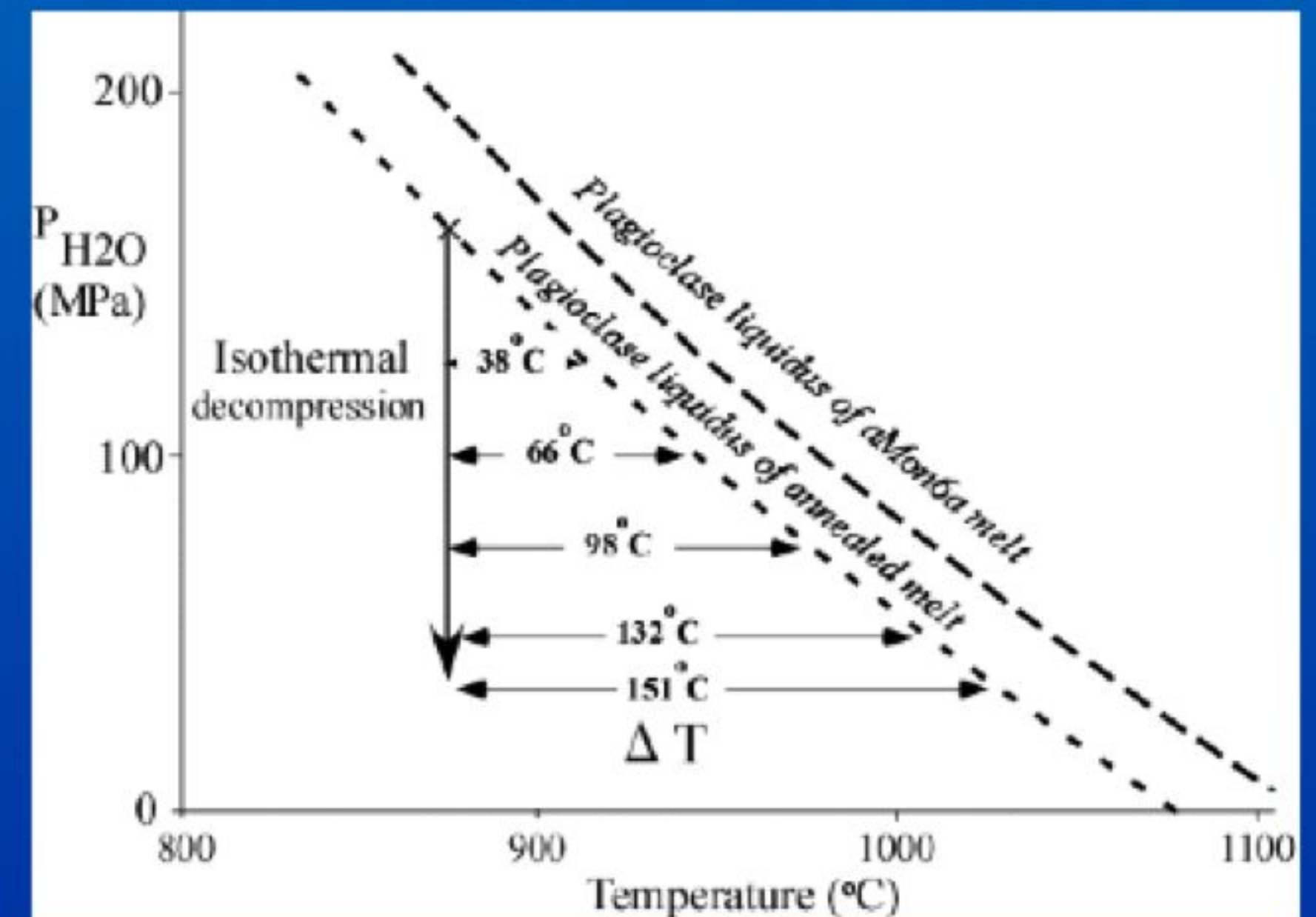
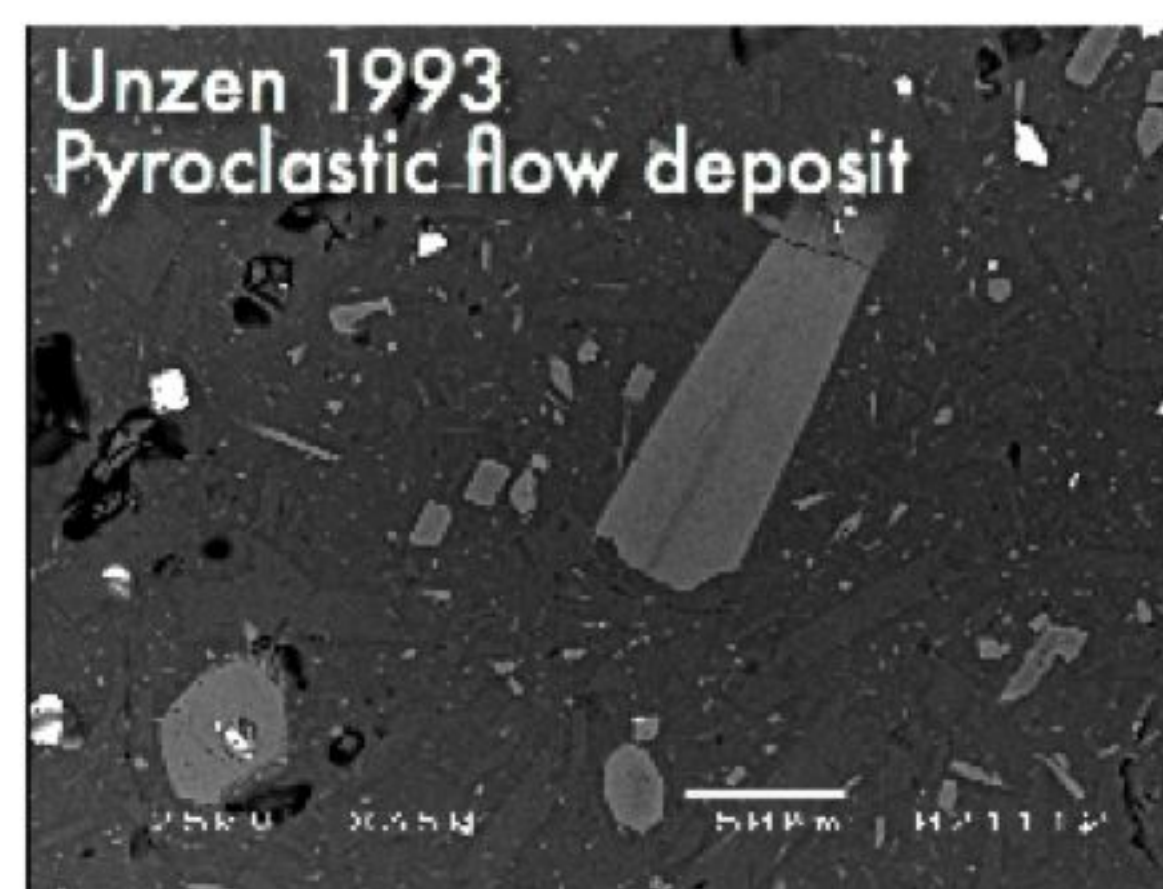
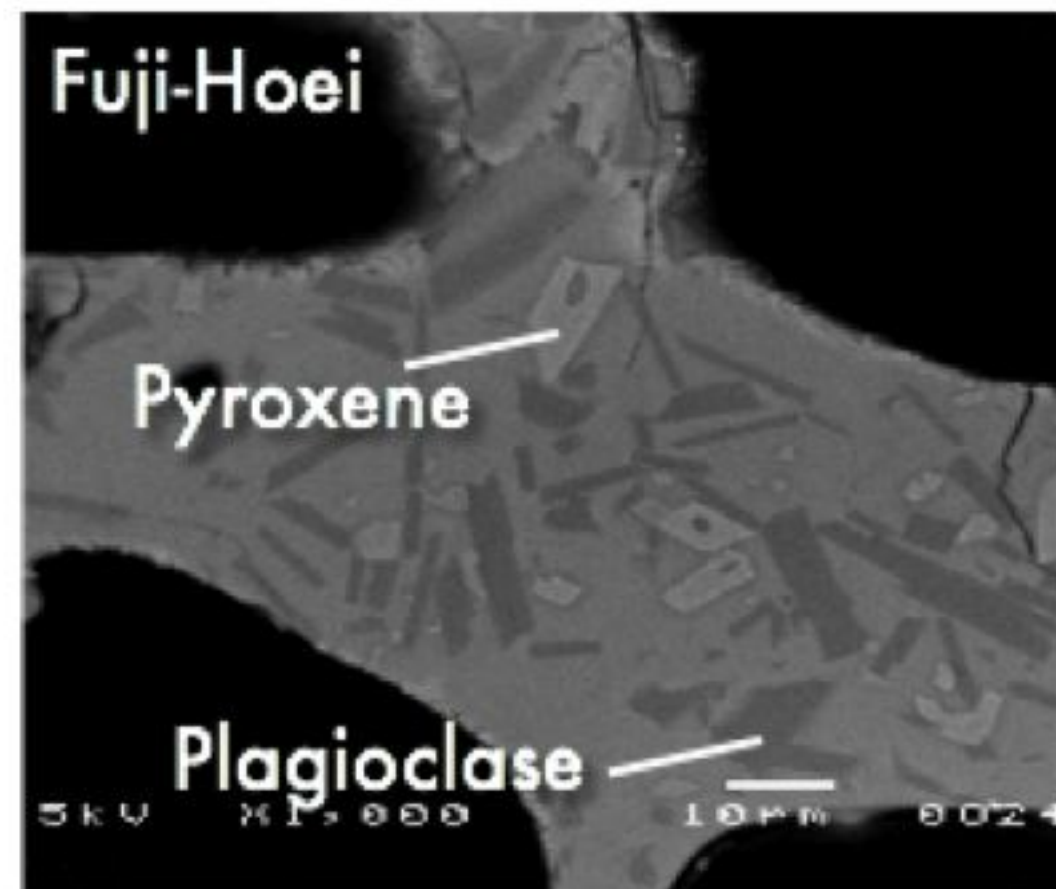
Takeuchi et al., 2005



Lejeune and Richet, 1995

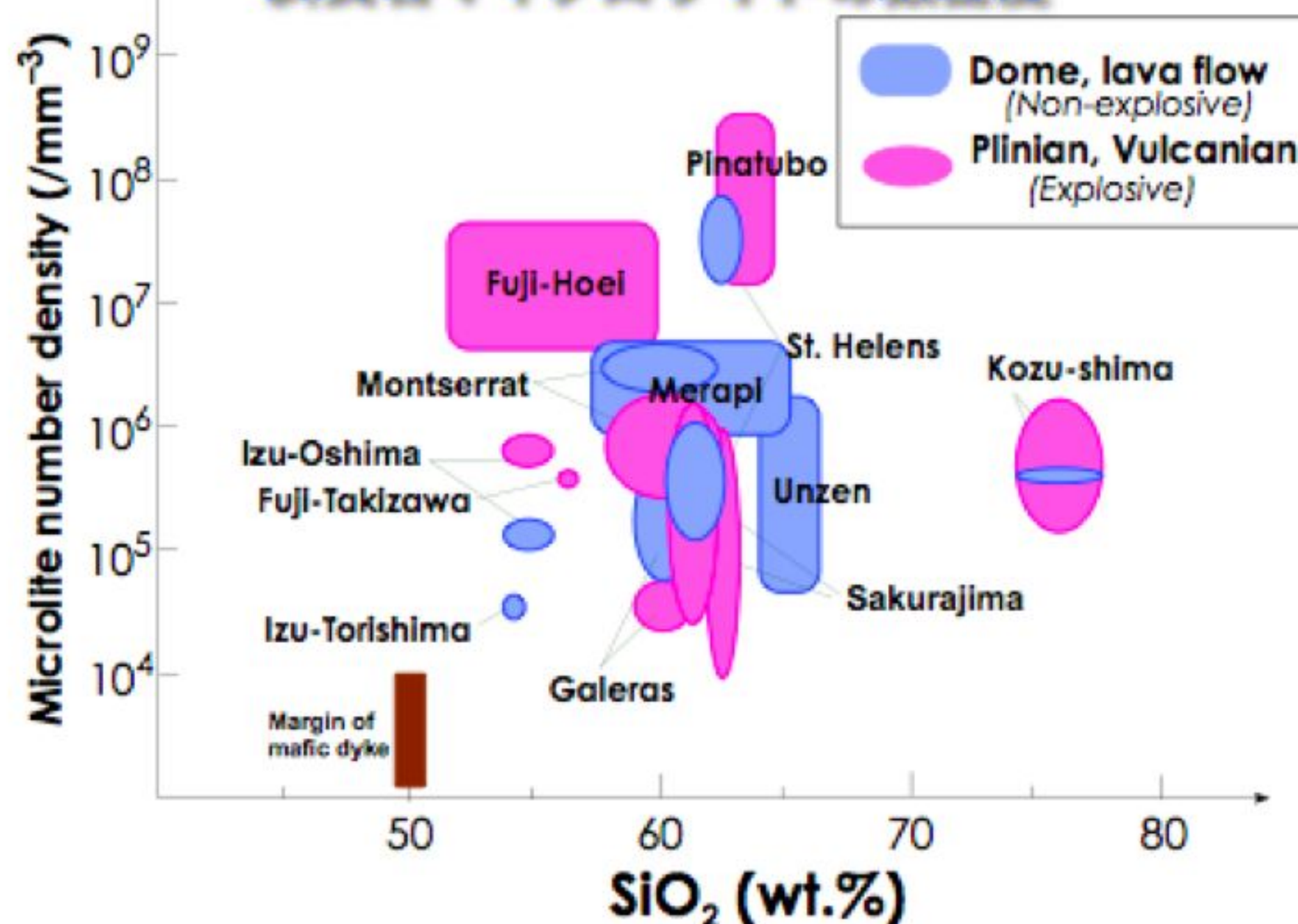
# マイクロライトと噴火のダイナミクス

マイクロライト 数 $\mu\text{m}$ から数10 $\mu\text{m}$ 程度の微結晶  
実効的過冷却によって生じる



Liquidusと実際のマグマの温度差=過冷却度( $\Delta T$ )

## 斜長石マイクロライトの数密度



減圧結晶化と冷却結晶化で生じるマイクロライトの違い

減圧結晶化で生成するマイクロライト:  
爆発的な数密度を持つ  $10^4\text{-}8 / \text{mm}^3$  程度  
→冷却結晶化に伴う数密度の数に比べて桁違いに大きい

# マイクロライトサイズ分布

マイクロライト組織の情報:  
結晶サイズ分布を用いる

横軸: 結晶サイズ

→結晶成長の時間変化を示す(右から左側へかけて時間が経過)

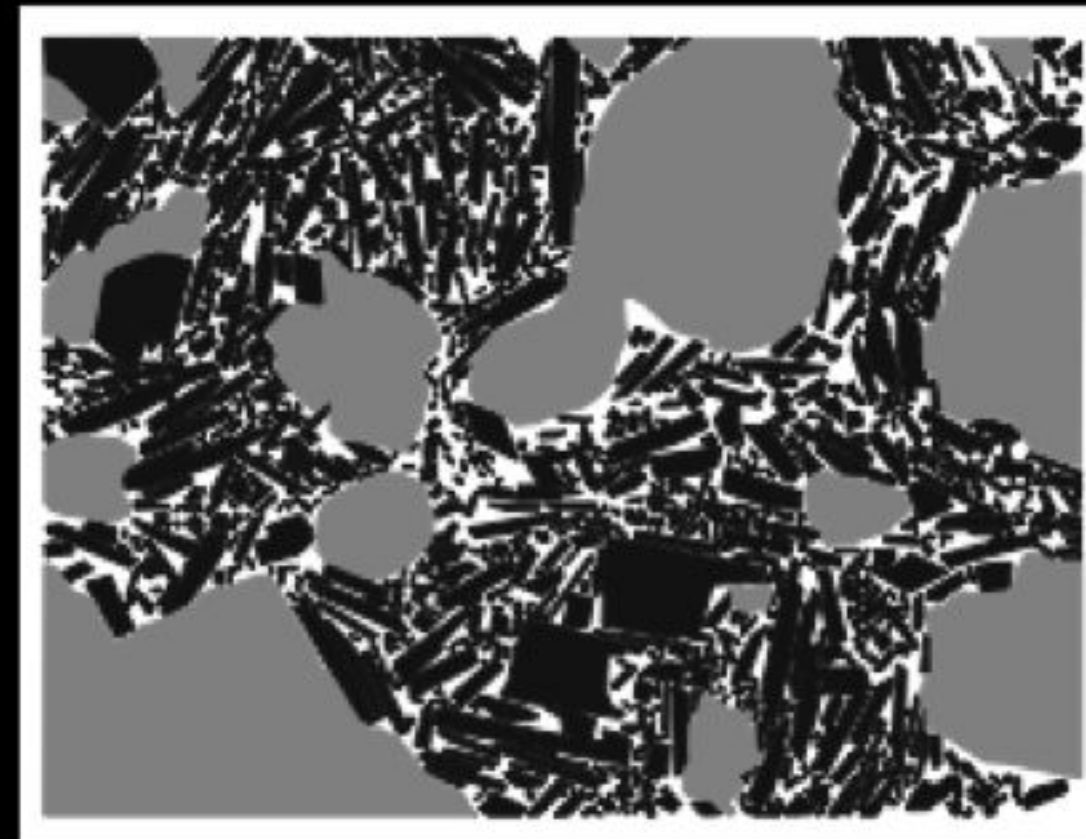
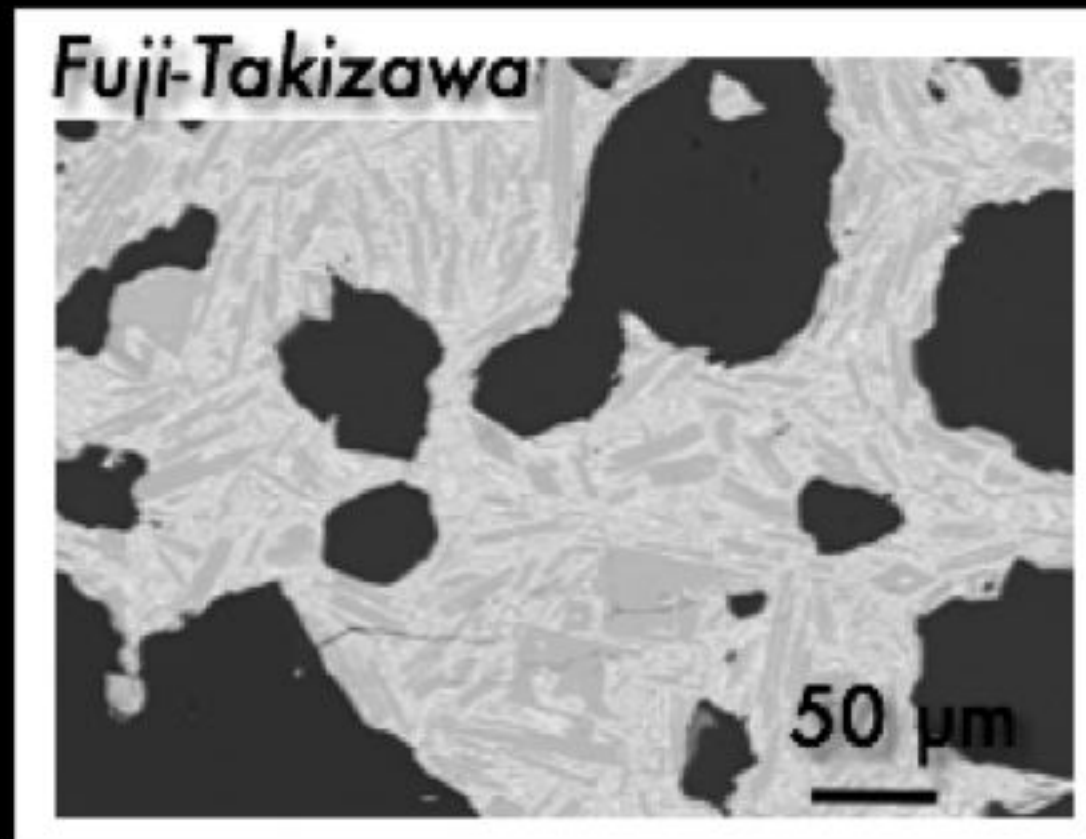
縦軸: population density (数密度をサイズ間隔で割ったもの)

→各サイズ(時間)ごとの核形成過程の情報を出す。

火道中の結晶化のhistoryを探ることができる

## 画像解析:

2次元画像を取得し, 結晶を各々囲む(マニュアル)→NIH imageで2次元データを取得後, 3次元データに変換 (Stereology)



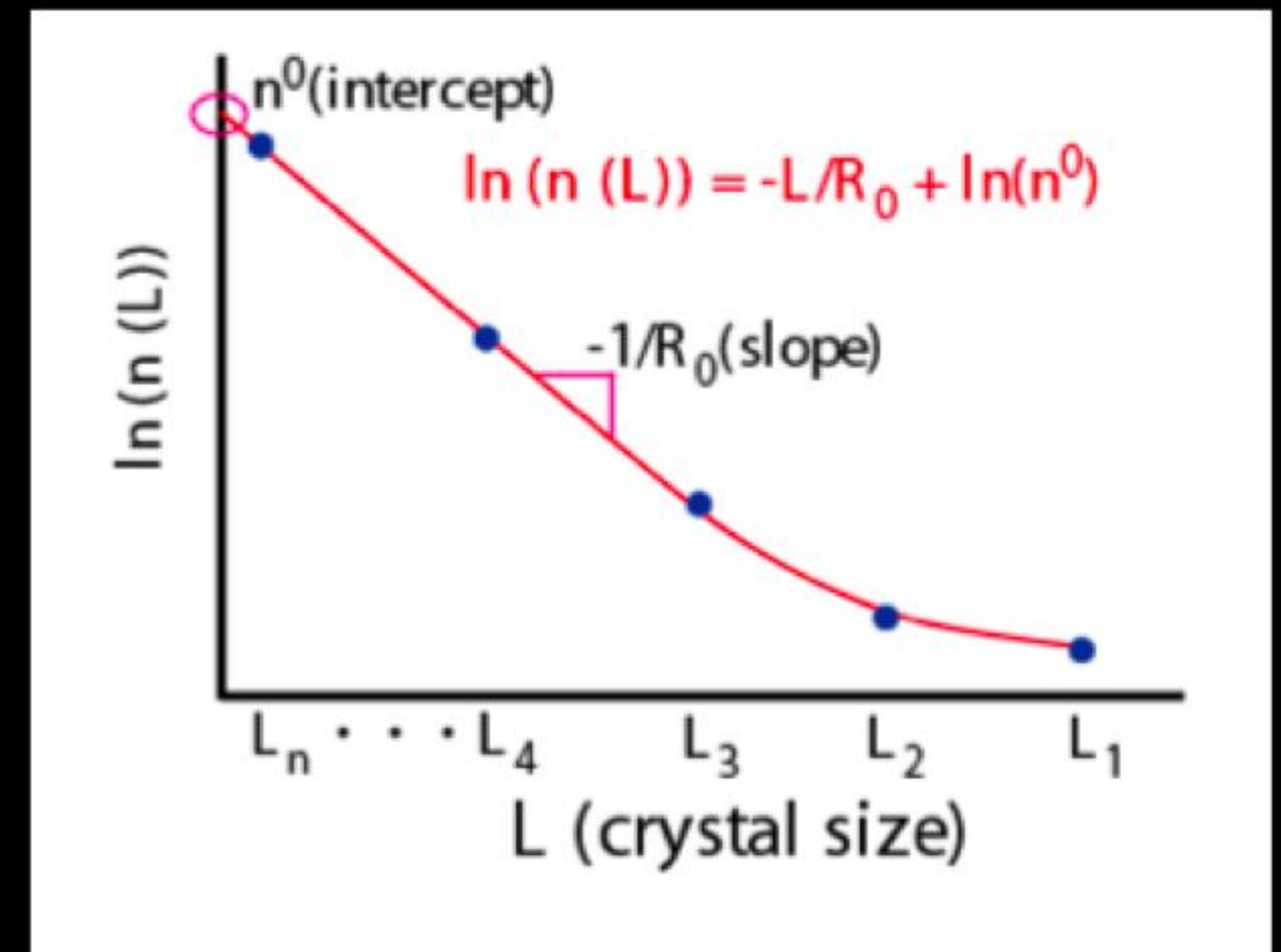
切片: 核密度 $n_0$   
傾き:  $-1/R_0$  (slope)  
数密度: サイズ分布を積分  
結晶量: 2次元画像 (NIH image)

データ取得

## 対象火山:

10火山, 21噴火: 雲仙1991-1995, 三宅2000, 桜島昭和lava, 伊豆大島1986, 富士宝永, 滝沢火砕流, 伊豆鳥島, 神津島, 北海道駒ヶ岳, Galeras, Karymsky,

文献: 7火山, 9噴火; 桜島大正pumice, lava, 浅間2004 bomb, Pinatubo, Merapi, Montserrat, St. Helens, Kilauea...

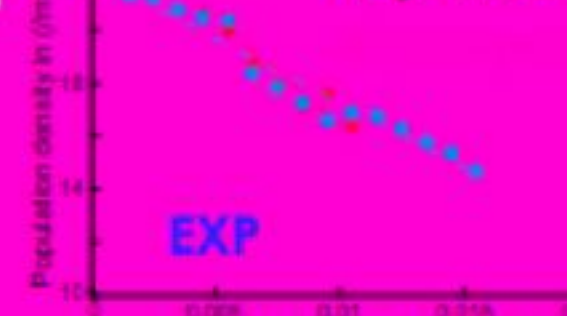


# 結晶サイズ分布と化学組成, 噴火様式の関係

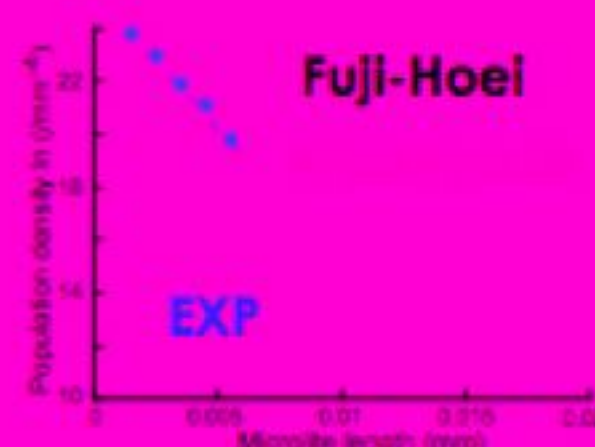
Eruptive style

Explosive

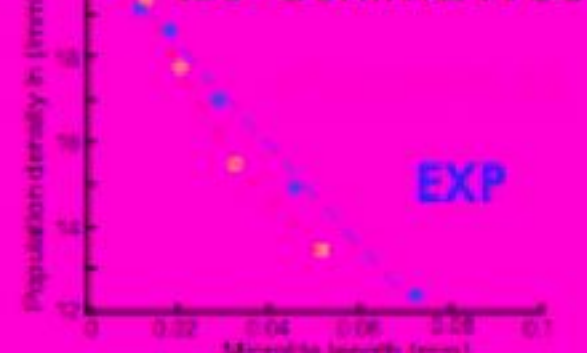
Fuji-Hoei



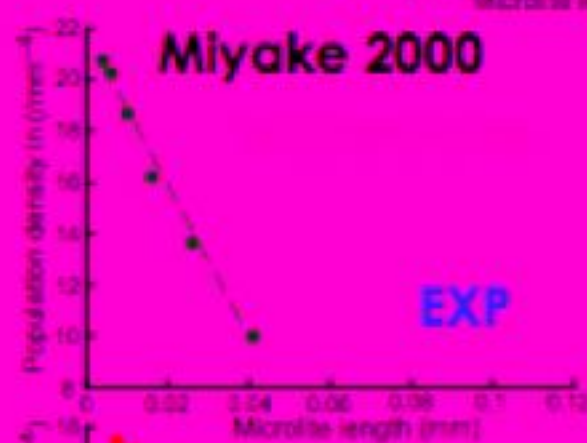
Fuji-Hoei



Izu-Oshima1986



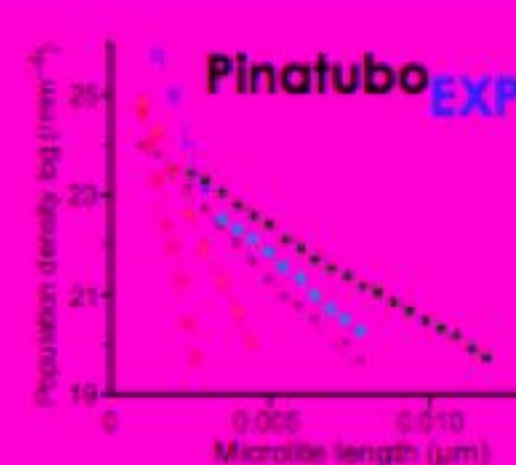
Miyake 2000



Fuji-Takizawa

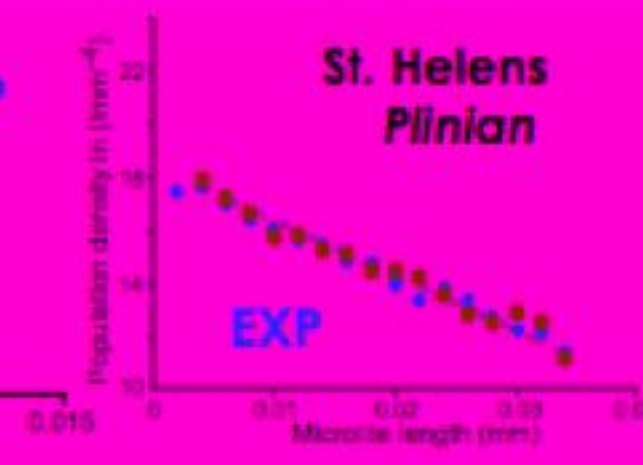


Pinatubo



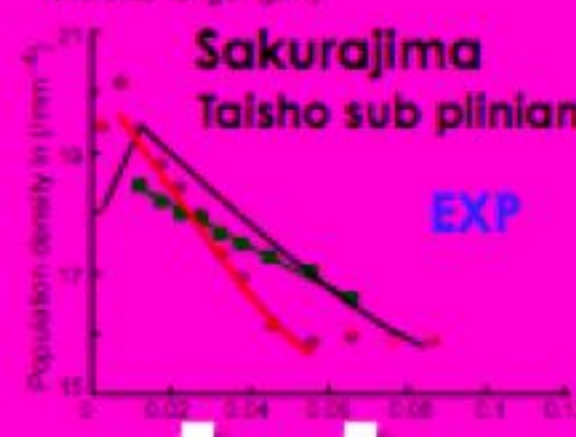
St. Helens

Plinian



Sakurajima

Taisho sub plinian

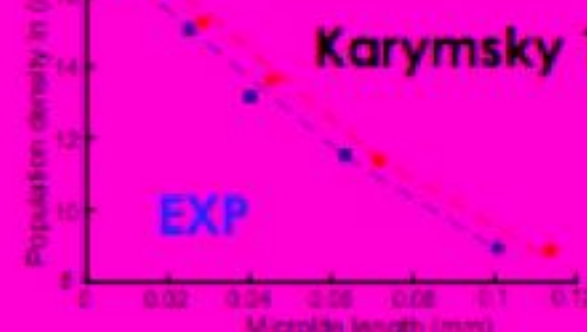


Kozu-shima



Exponential law

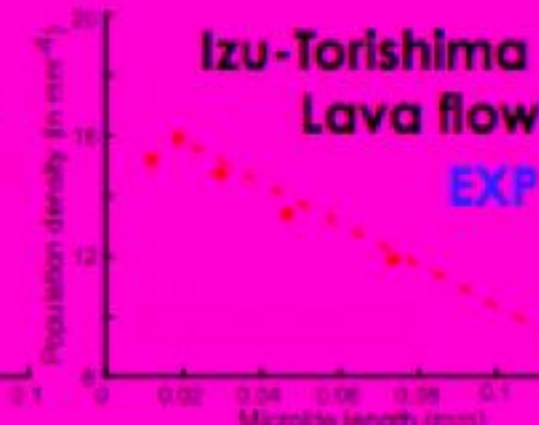
Karymsky 1996



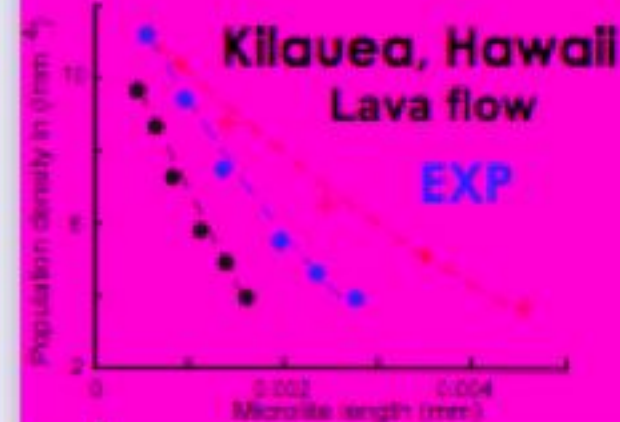
Izu-Oshima  
Lava flow A



Izu-Torishima  
Lava flow



Kilauea, Hawaii  
Lava flow

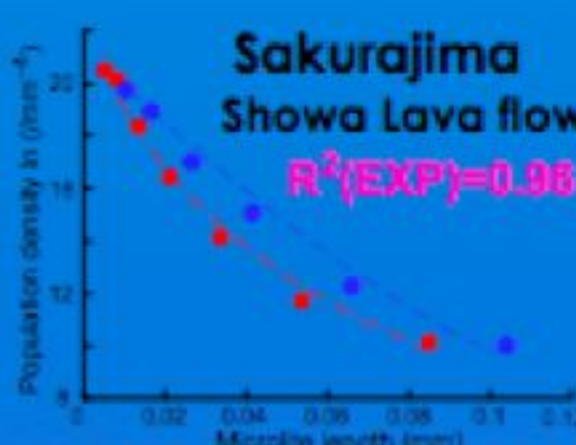


Power law

Sakurajima

Showa Lava flow

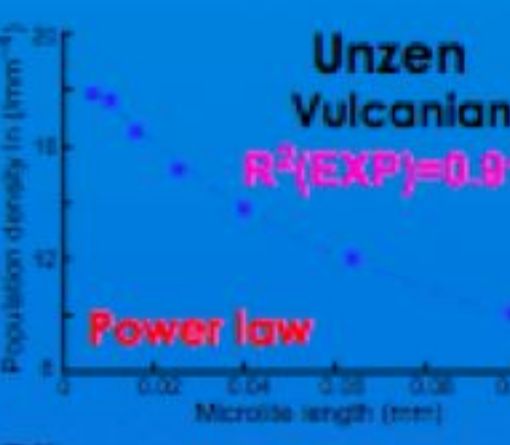
$R^2(\text{EXP})=0.98$



Unzen

Vulcanian

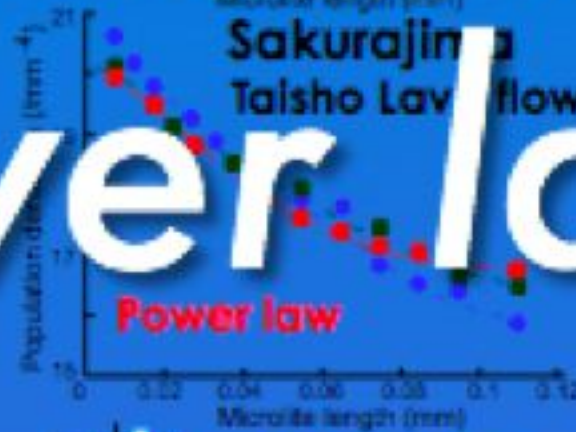
$R^2(\text{EXP})=0.91$



Sakurajima

Taisho Lava flow

$R^2(\text{EXP})=0.99$



Unzen

Dome collapse

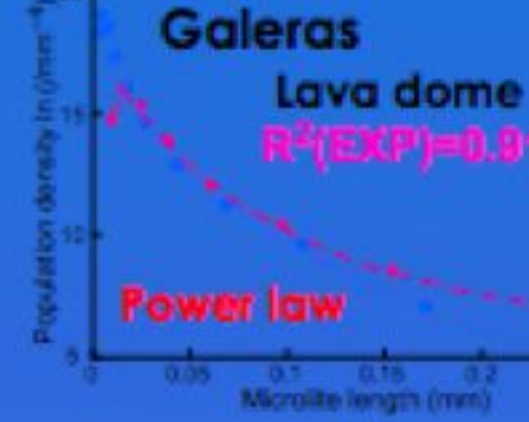
$R^2(\text{EXP})=0.99$



Galeras

Lava dome

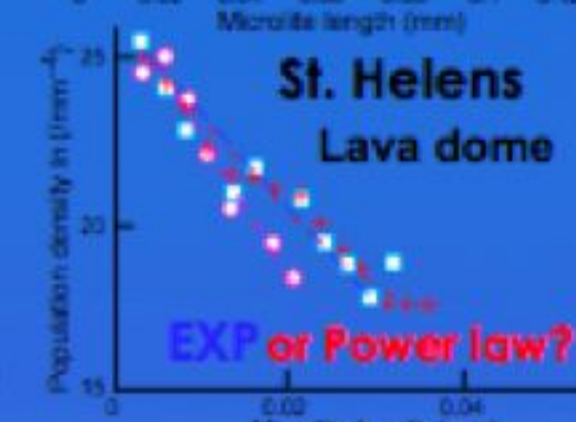
$R^2(\text{EXP})=0.91$



St. Helens

Lava dome

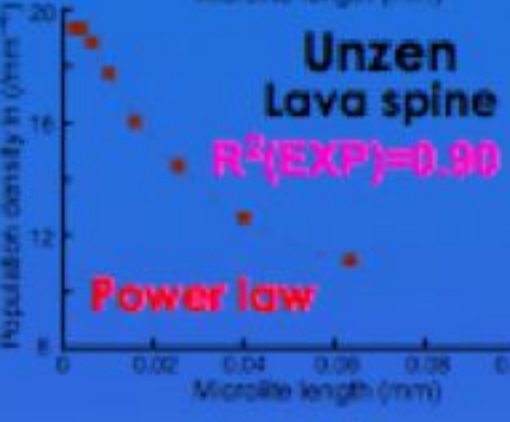
$R^2(\text{EXP})=0.90$



Unzen

Lava spine

$R^2(\text{EXP})=0.90$



Kozu-shima

Lava dome

$R^2(\text{EXP})=0.92$



Non-Explosive

55

60

65<

SiO<sub>2</sub>

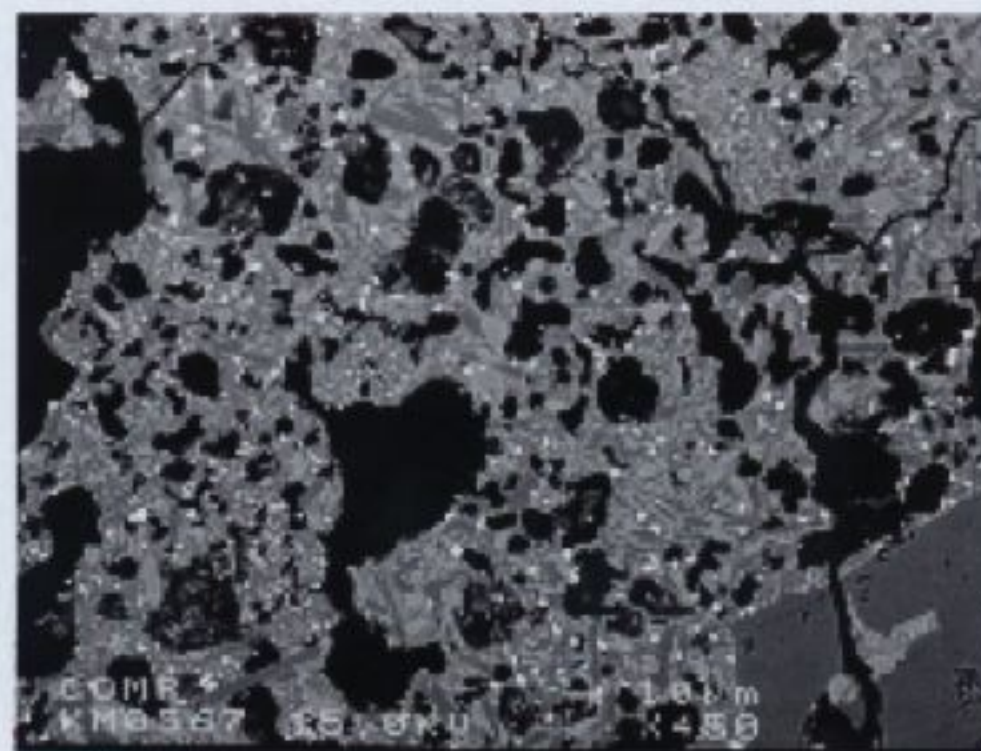
# Exponential law

Exponential law → 爆発的噴火, 非爆発的噴火でもたまに認められる  
核形成が一回だと考えられている

2つのタイプに分けられる

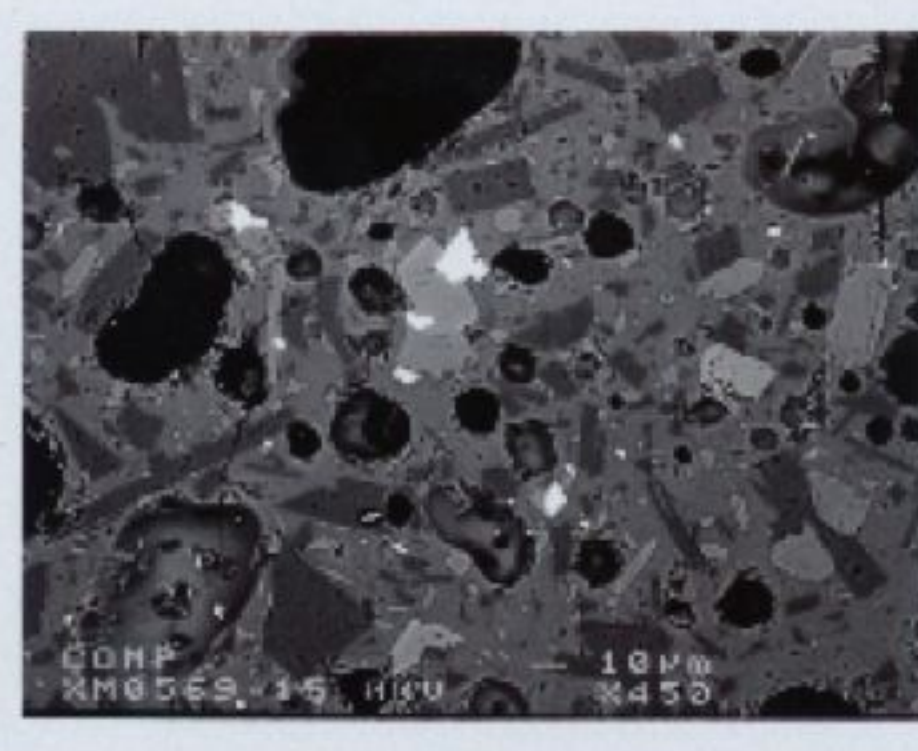
Fine type

Miyake 2000



Coarse type

Karymsky 1996



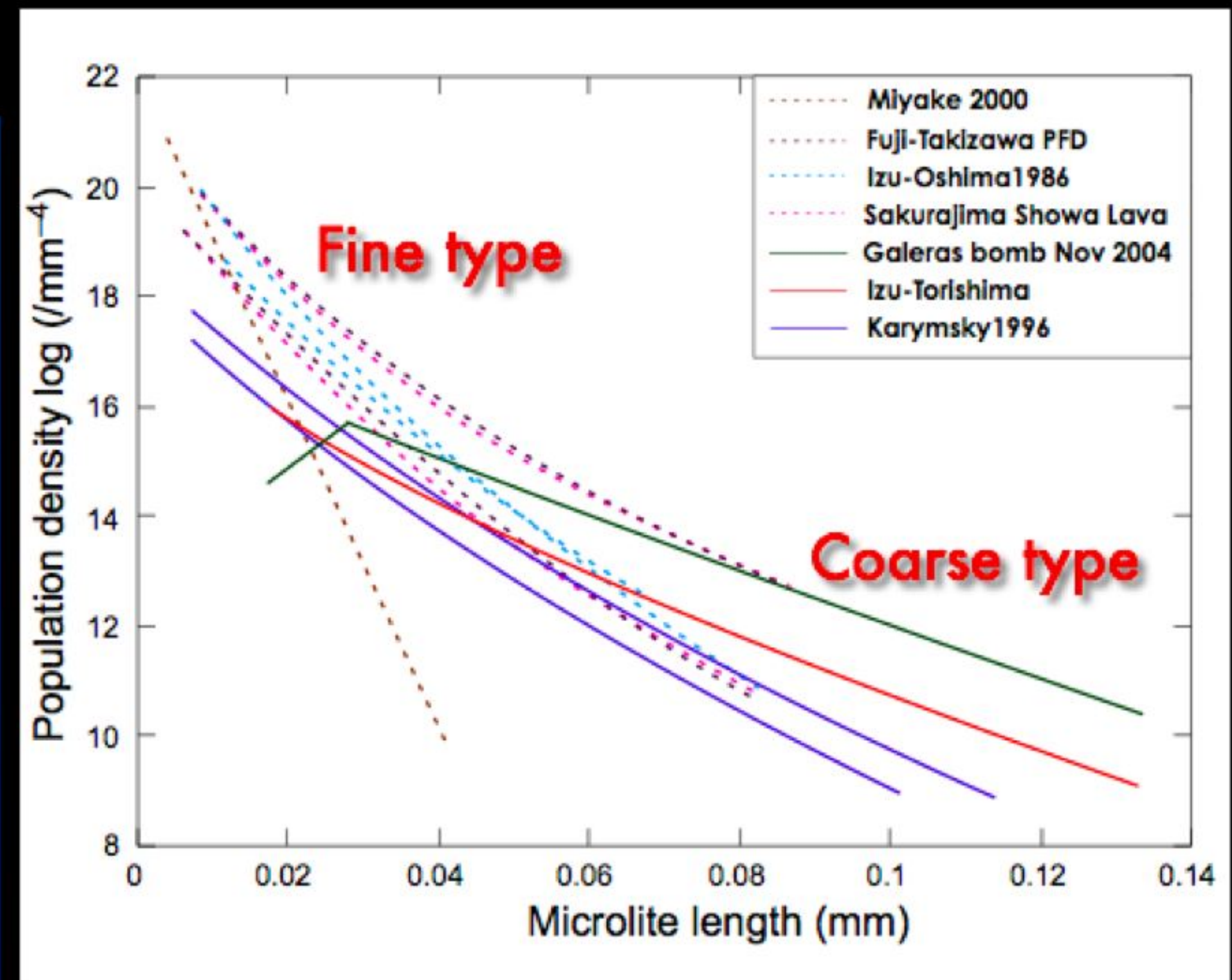
・ 数密度が高い

Coarse type

・ 数密度が低い

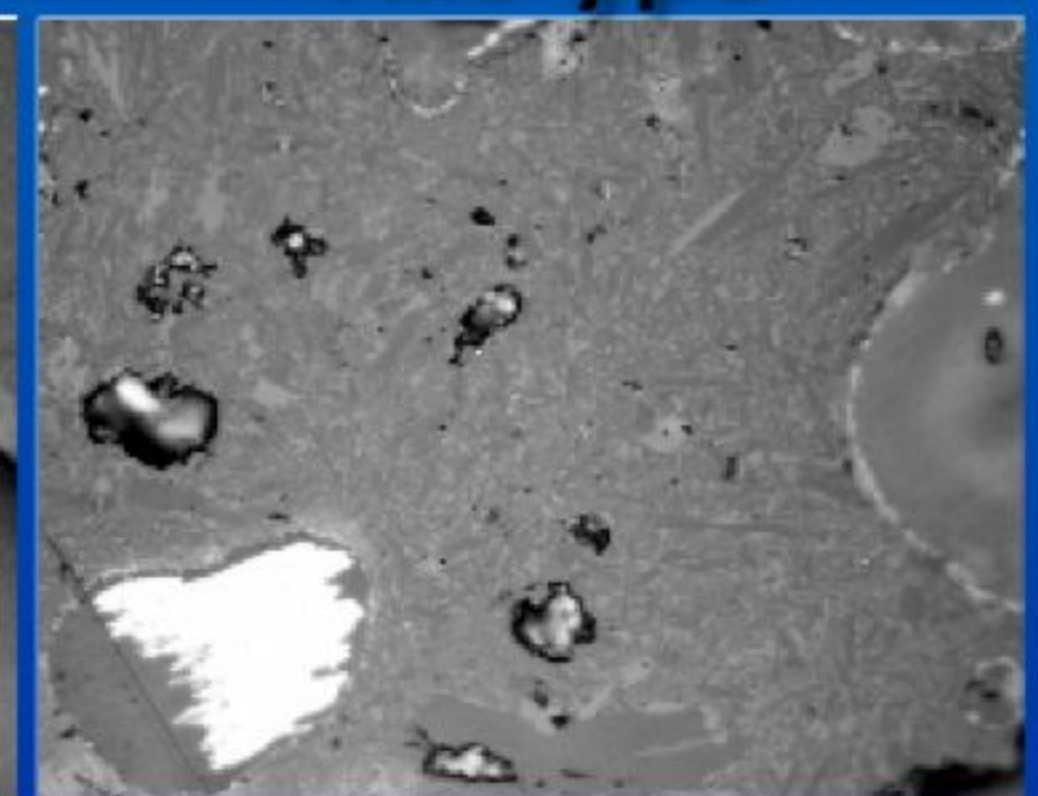
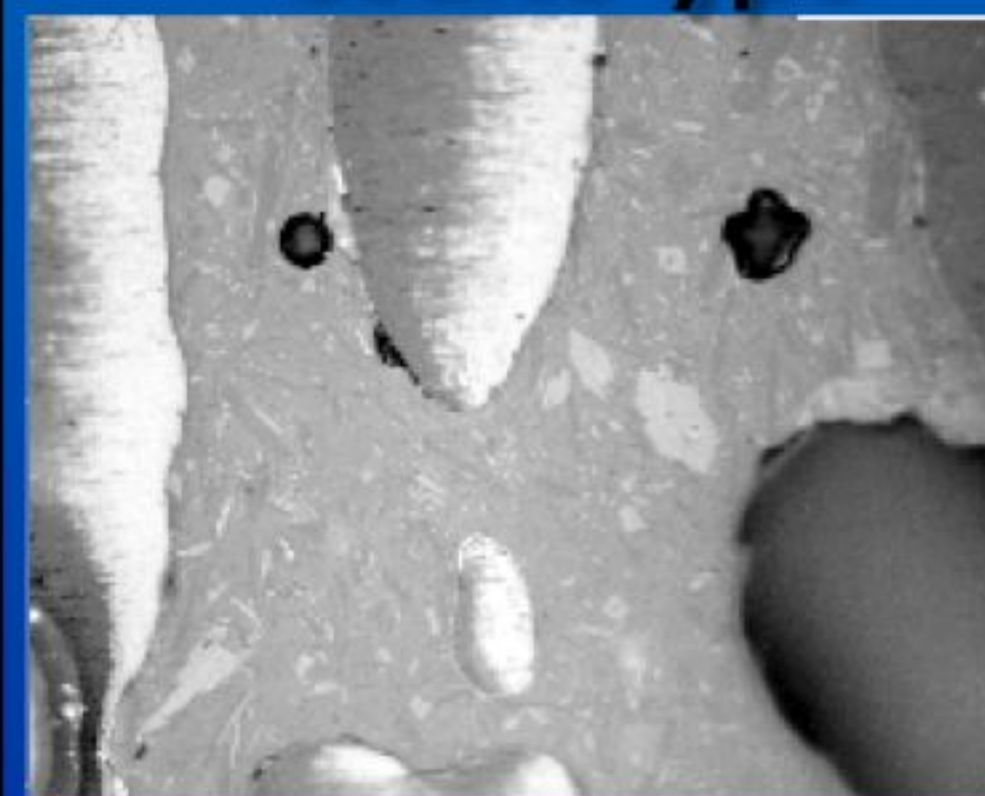
同一噴火中でもfine, coarse typeが認められることがある  
(Basaltの噴火に限る)

Fuji Hoei, Izu-Oshimaなど



Coarse type

Fine type

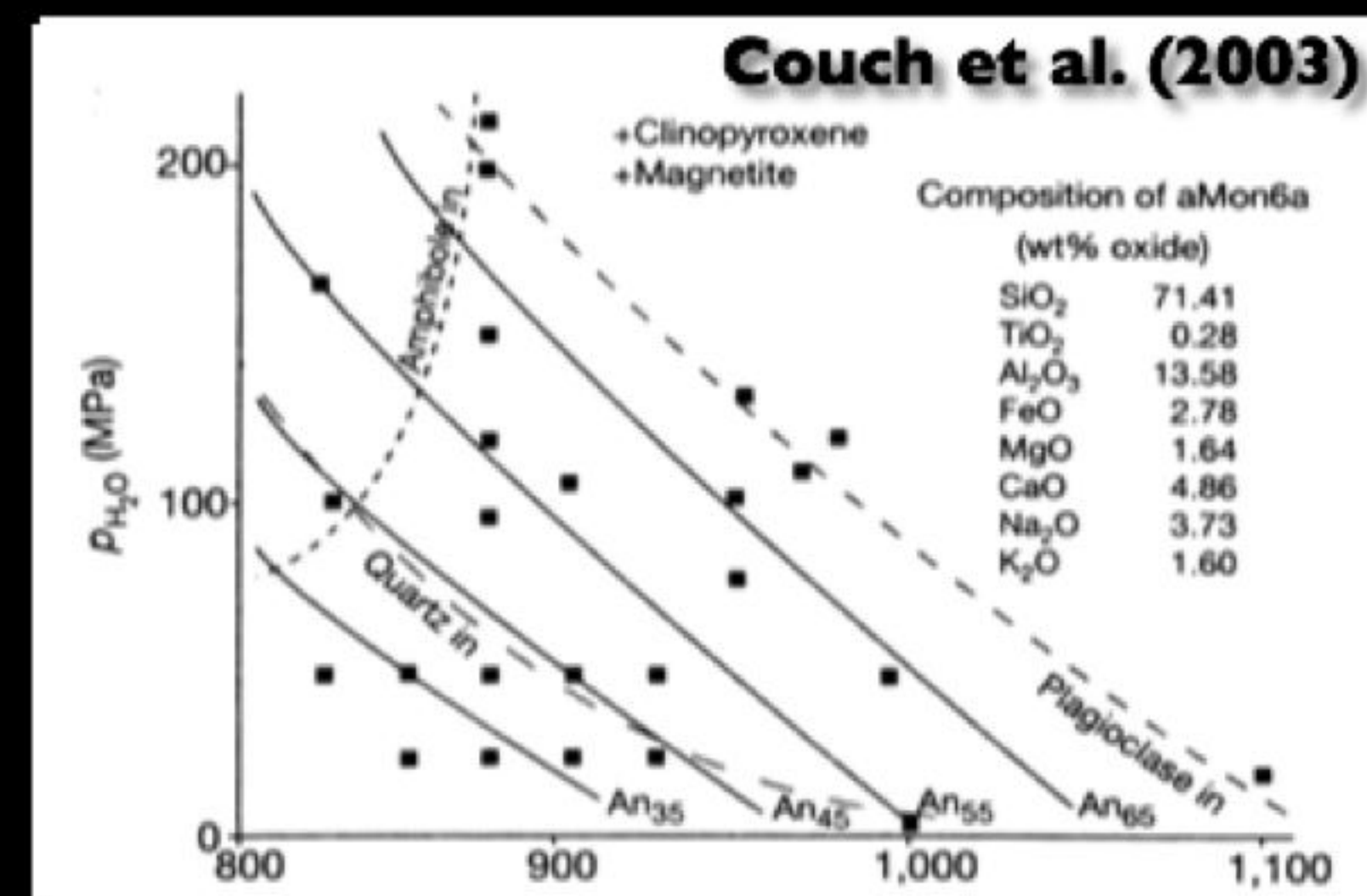


Izu-Oshima 1986

## 化学組成による違い (Fine typeとCoarse type)

斜長石マイクロライトのAn (Ca/Ca+Na)  
温度, 飽和水蒸気圧力( $P_{H_2O}$ )に依存する

温度・組成がわかればおよその圧力(深さ)がわかる



### Fine type

組成幅が広い

サイズが大きいものに比べて小さいサイズの結晶の方がAn量が低い

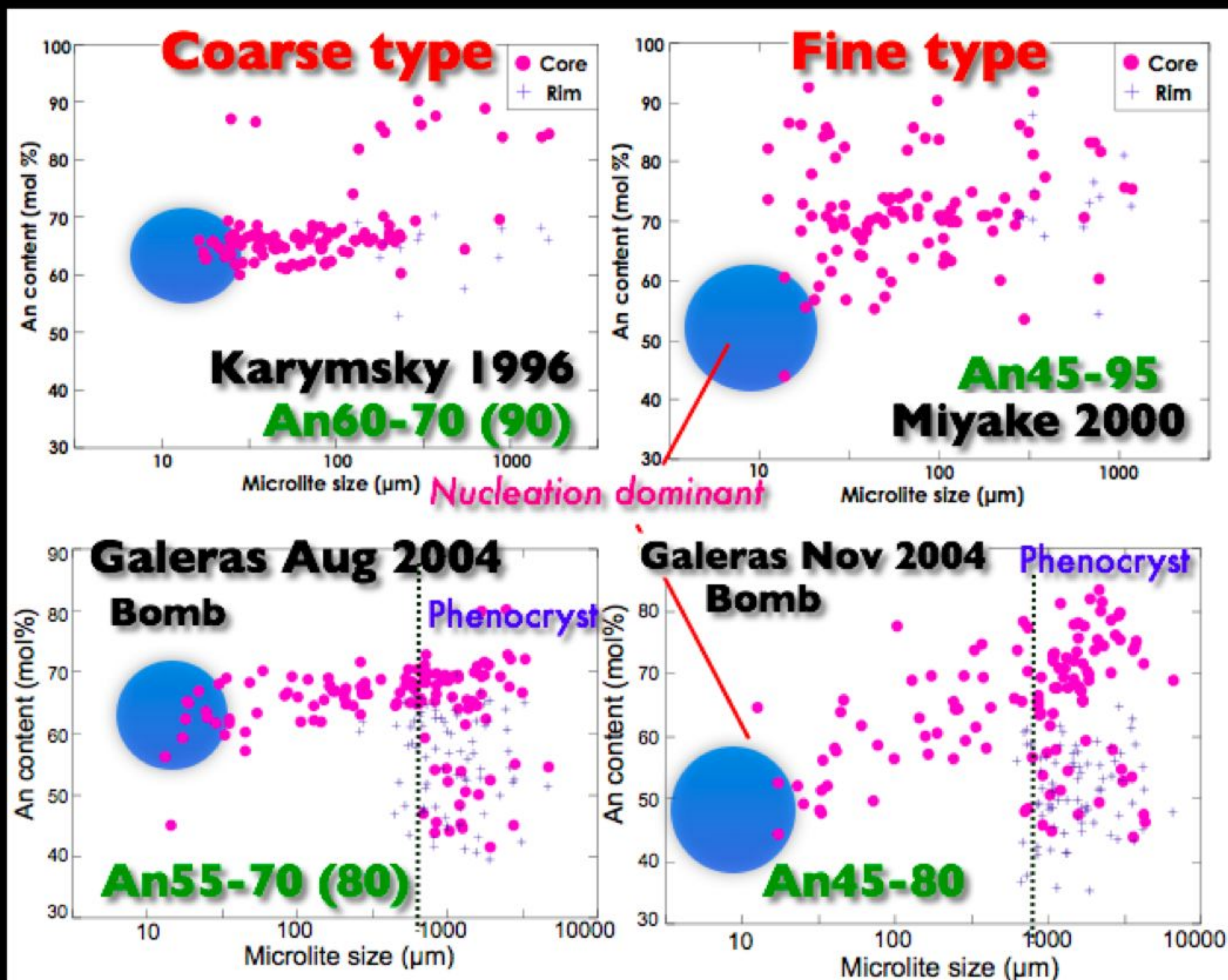
→ 浅い場所で結晶化している

### Coarse type

組成幅が狭い (Constant)

サイズに関わらずAn量が一定

→ 深い場所で一斉に結晶化した?



# 減圧結晶化実験

**核形成速度:** 指数的に増加

**成長速度:** 指数的に増加, 過冷却度が  
増加するとrateが下がる→釣り鐘型

サイズ分布が指数分布を示す (1回の核形成イベントだと...)

**組成, 温度依存性:**

Nucleation and growth rates 若干変化する

**Growth rate**

過冷却度の依存性はあるが、組成の効果も大きい

**Nucleation rate**

組成の効果よりも過冷却度の効果の方が大きい。

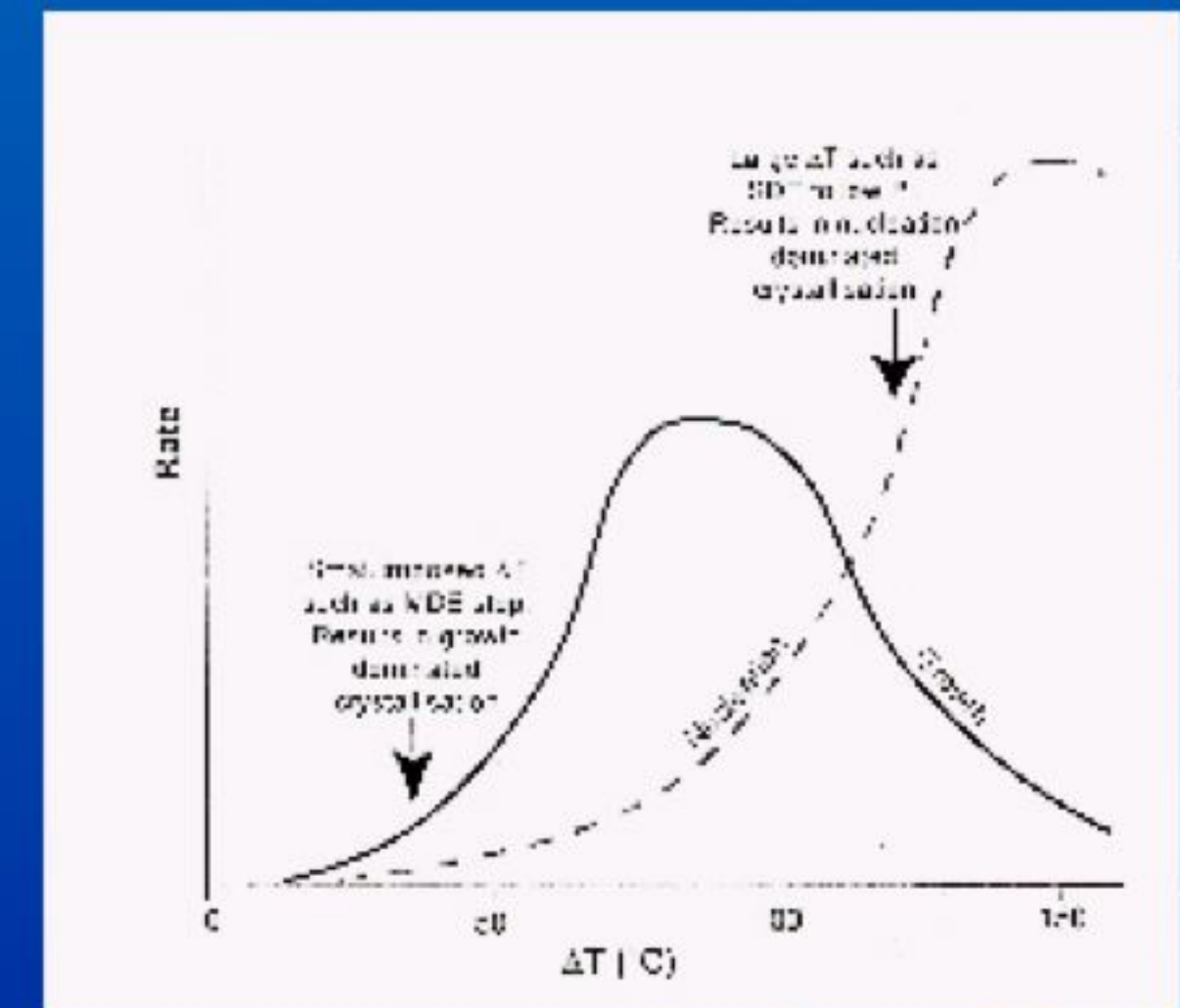
→ rateが桁で変化する!!

**Fine typeとCoarse typeの数密度の違い**

過冷却度が異なる → 結晶化深度の違いを反映している

過冷却度高い→浅い場所での結晶化→数密度が高い

過冷却度低い→深い場所での結晶化→数密度が低い



Couch et al. (2003)

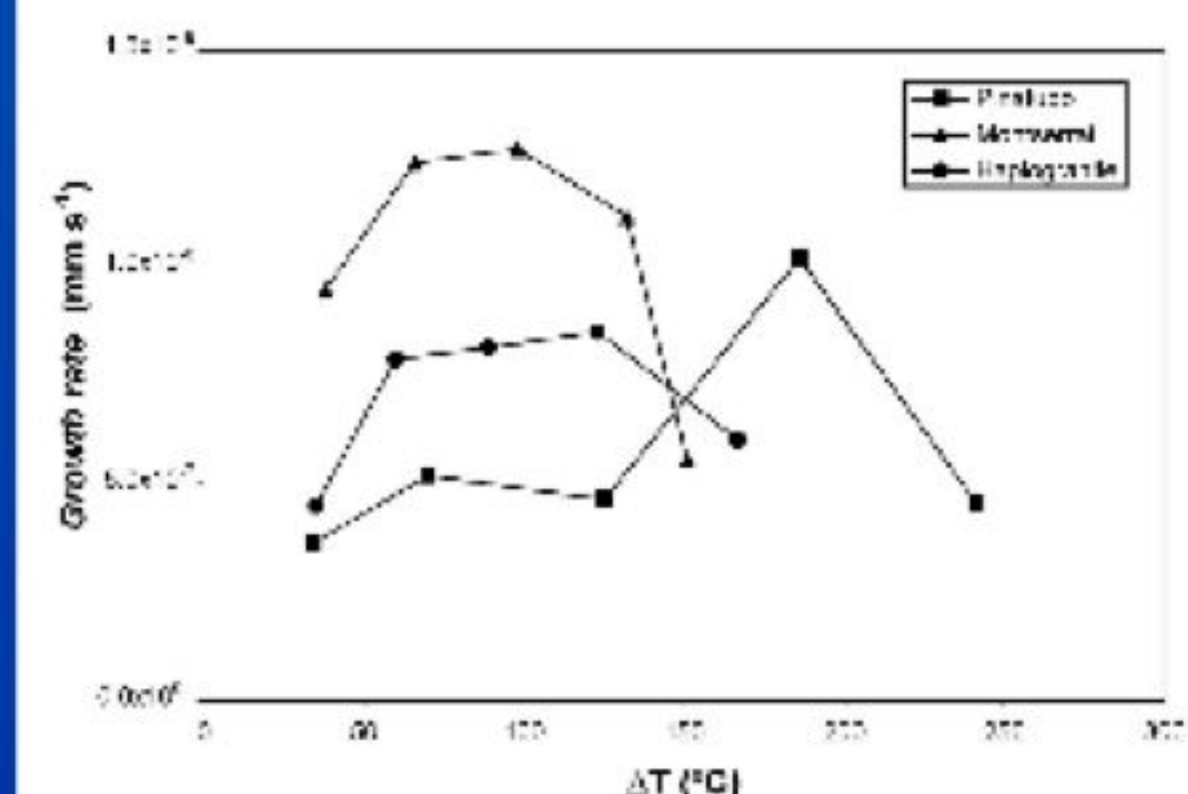
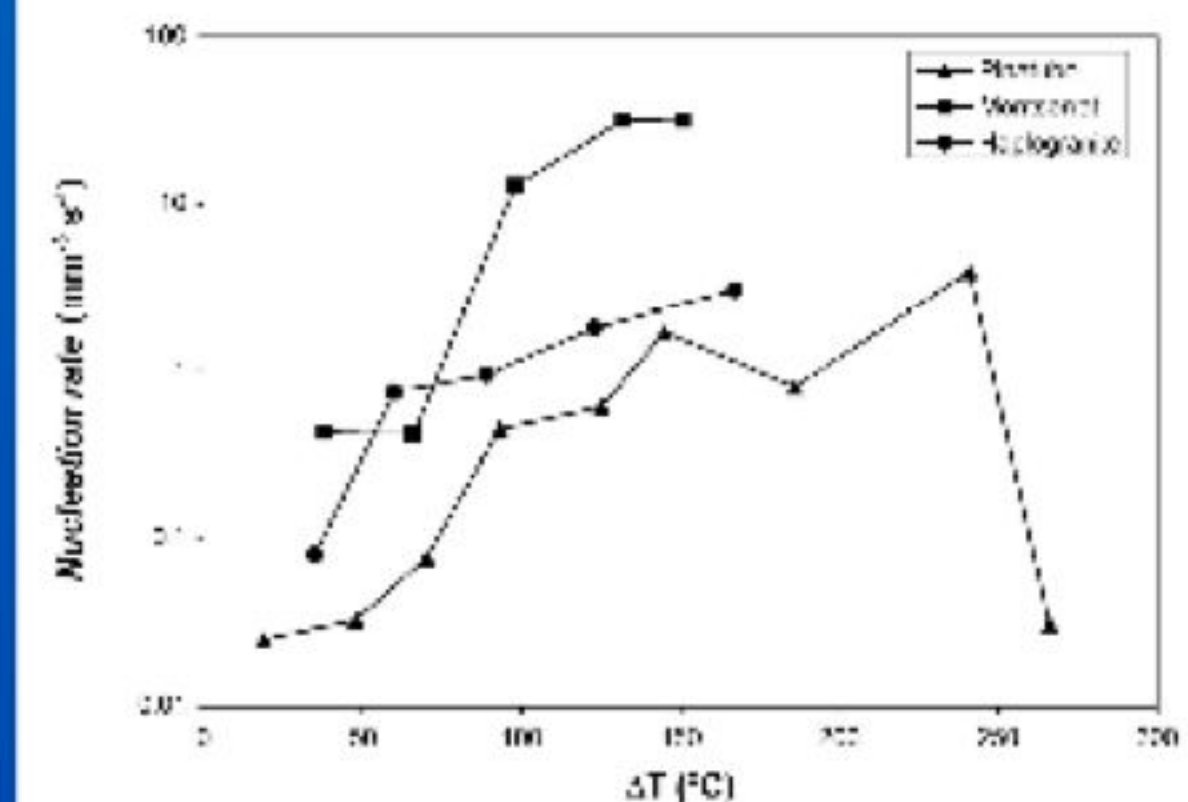
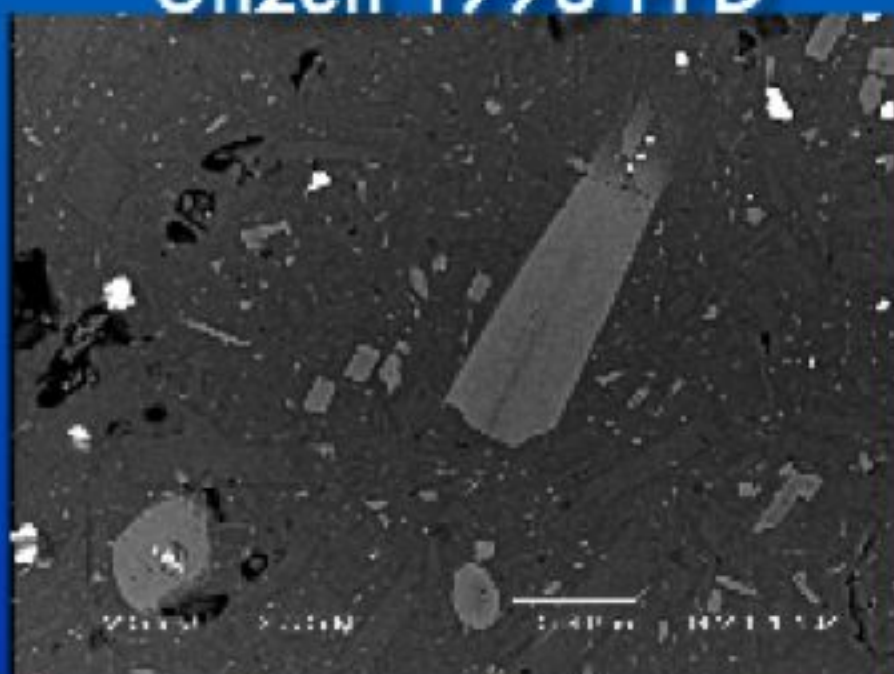


FIGURE 18. Comparison of maximum nucleation and growth rates for several experimental studies. Data for Pinatubo (78 wt%  $\text{SiO}_2$ ) from Hammer and Rutherford (2002) and Monserat (71 wt%  $\text{SiO}_2$ ) from Couch et al. (2003b).

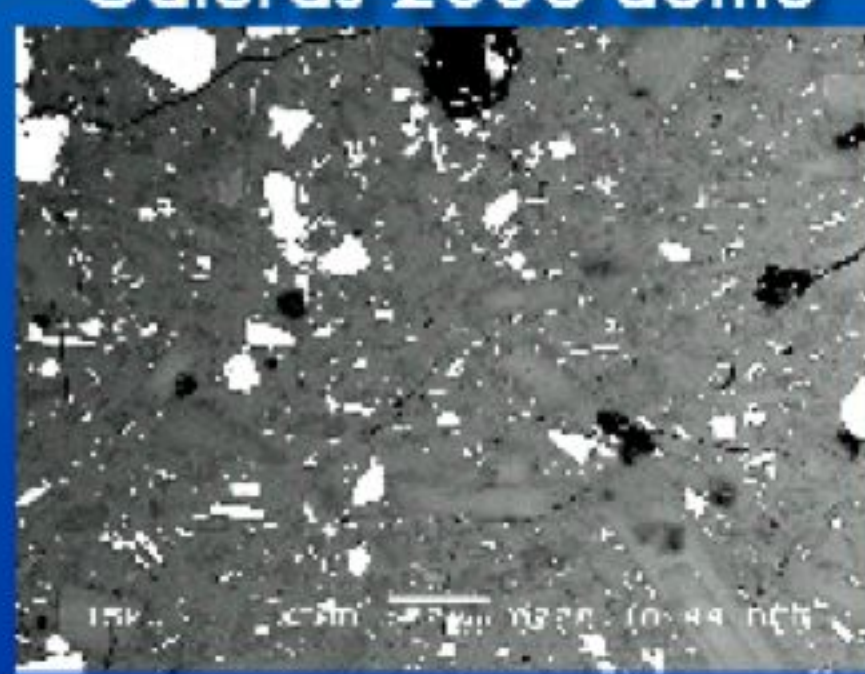
Couch (2003)

# Power law type (Fractal type)

Unzen 1993 PFD



Galeras 2006 dome



fractal組織を示す

**Power law**→非爆発的のみ観察される

化学組成による違い(斜長石のAn量)

組成幅が広い

サイズの減少と共に組成が連続的に変化している

**Fine type**と似ているが粗粒サイズの

数密度が異なる

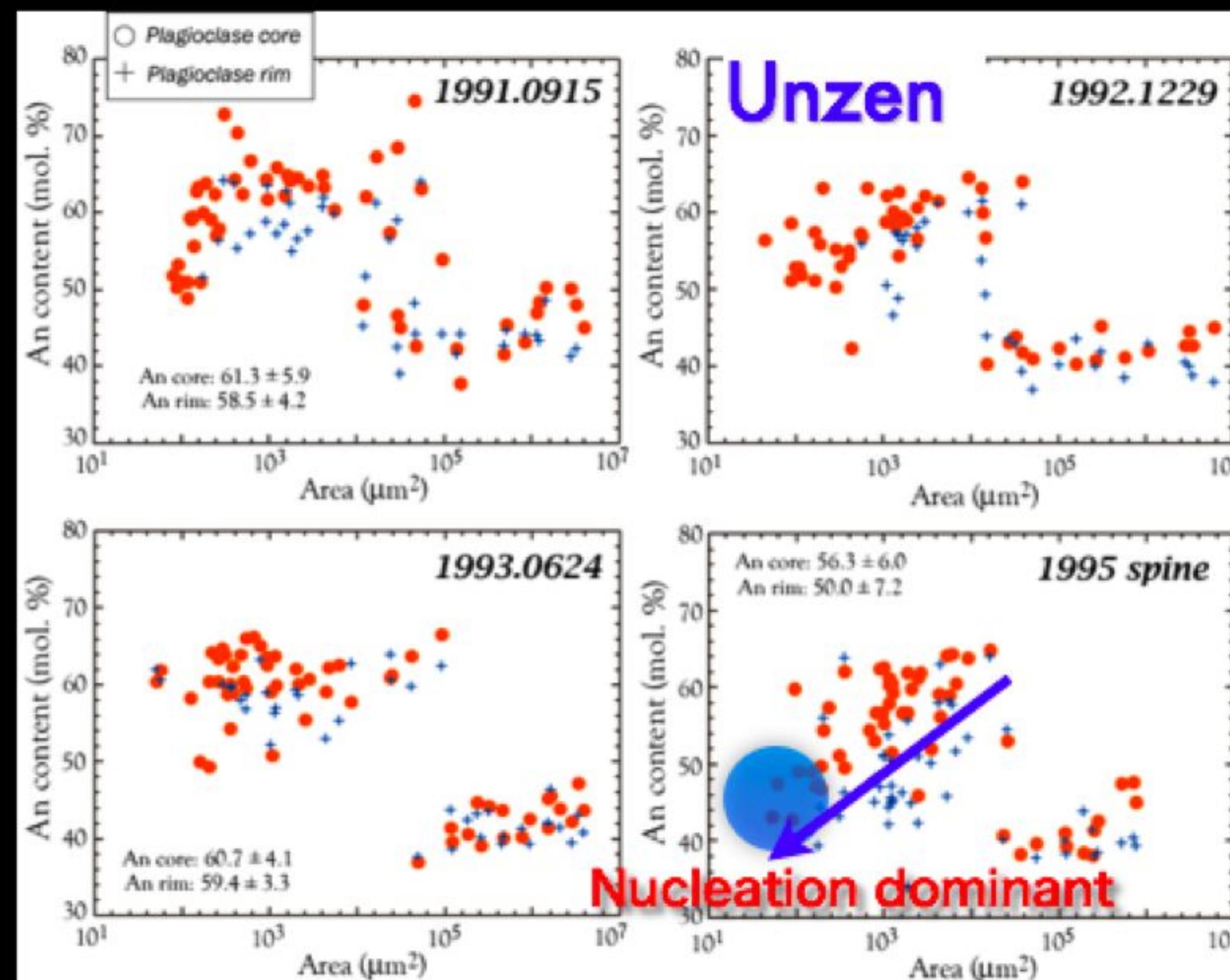
組成の連続性を見る限り核形成が継続して

いるように見える・・・

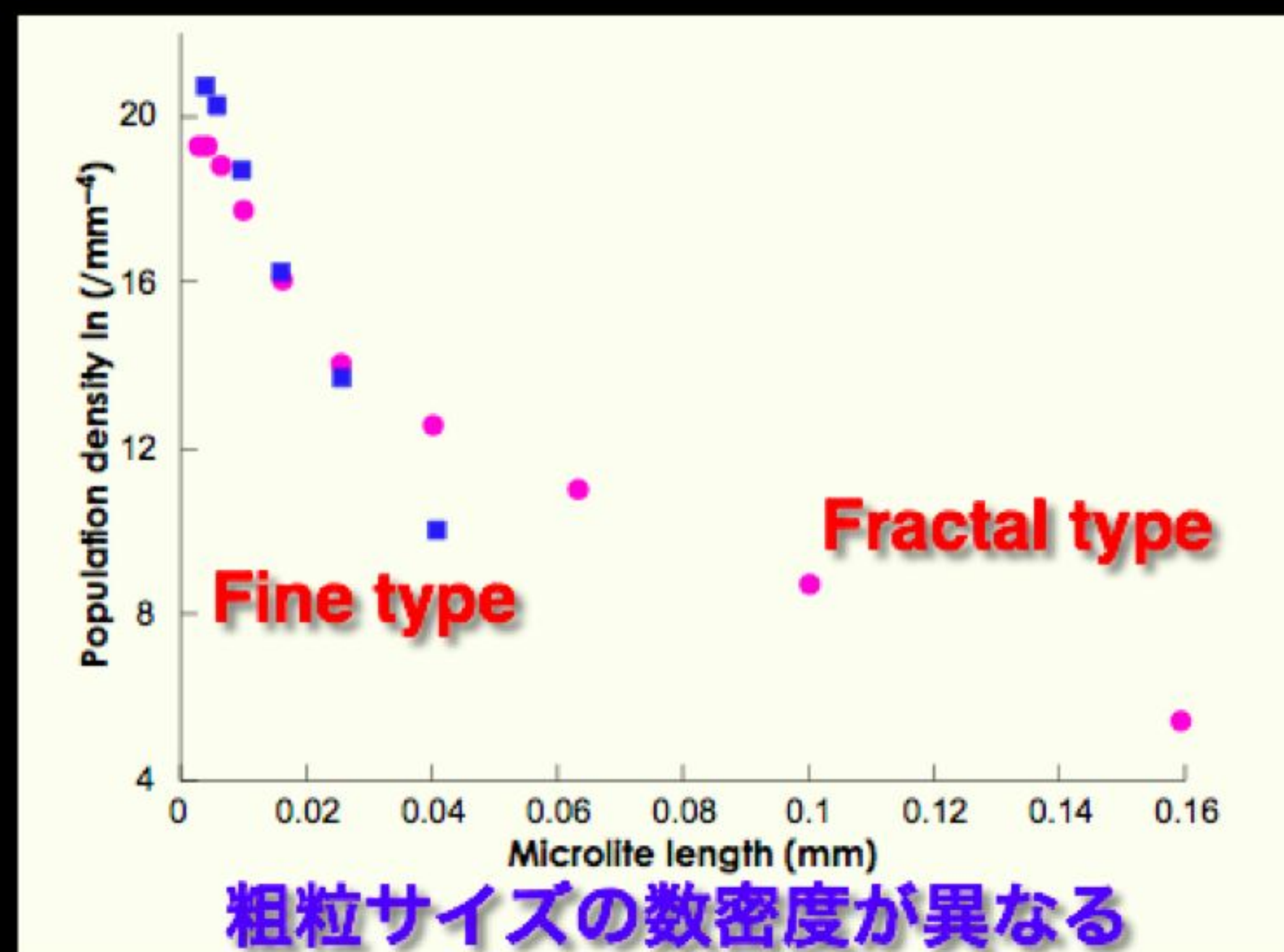
深い場所での結晶化 + 浅い場所での結晶化

- ・ 複数回の核形成イベント
- ・ size dependent growth

少なくとも深い場所と浅い場所での結晶化が  
両方ありそう



**Fine typeとFractal typeの違い**



## まとめ~マイクロライト結晶化と噴火様式の関係~

**Fine type**   **Coarse type**   **Fractal type**

爆発的噴火

非爆発的噴火

結晶化プロセスがそれぞれ異なる

どうして結晶化プロセスの違いが生じるか？  
なぜ噴火様式と相関があるのか？

・ マグマ溜まりの増圧過程

Mixing processの違い:

プリニー式噴火: white pumice, gray pumice

→均質に混ざっていない (St. Helens, Pinatubo, 十和田, 榛名)

**Fine type**

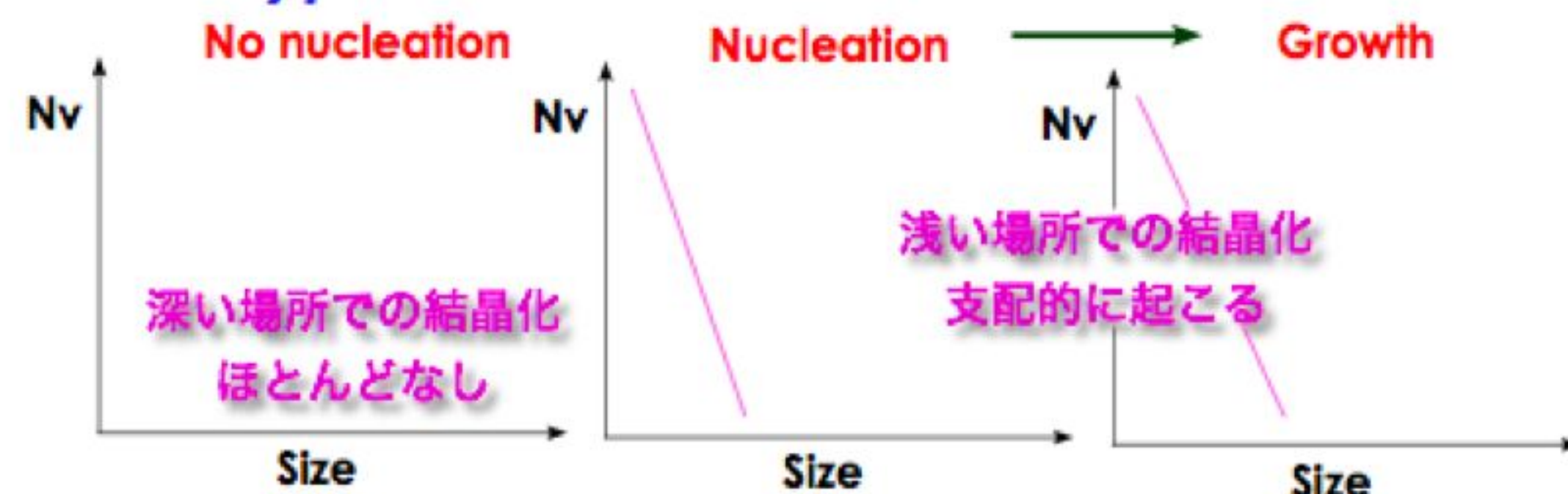
溶岩ドーム噴火:

micro scaleまで均質に混ざっている (Unzen, Montserrat, Galeras )

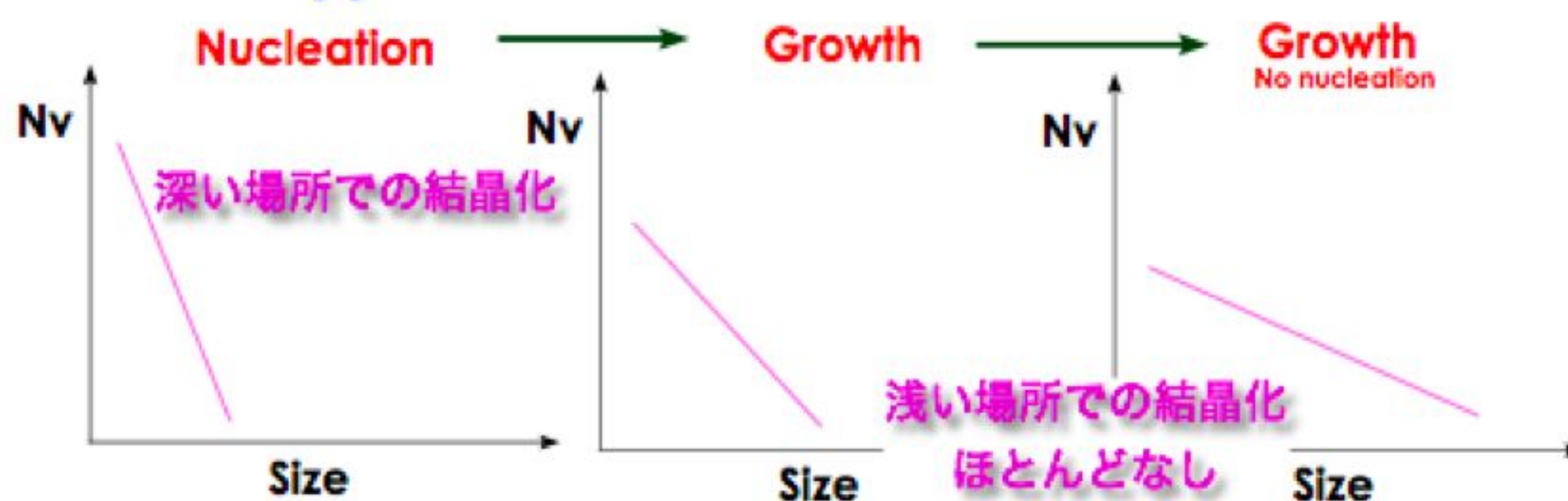
**Fractal type**

噴火の開始時が重要かもしれない

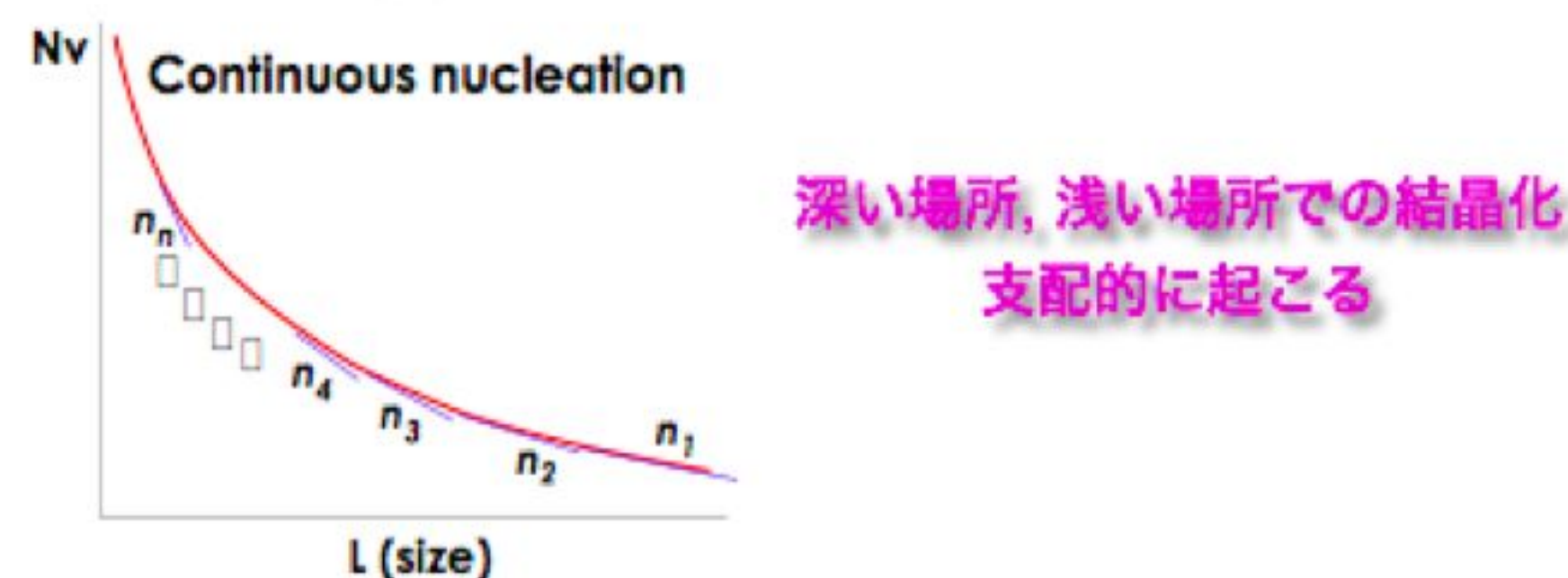
**Fine type**



**Coarse type**



**Fractal type**



# 火道流モデルとの関係

結晶化のパラメータをどう入れるか？

浅い場所での結晶化が噴火様式を本質的に支配していると考えられている

Melnik and Sparks (1999; 2005)

実際に浅い場所での結晶量はどの程度か？

10  $\mu\text{m}$ 以下の結晶量

**Fine type:**

Miyake (2000.0818): 22.5 (0.9) vol.%, 10  $\mu\text{m}$ 以下の結晶量 15.4 vol.%

Fuji Takizawa: 44.9 (12.7) vol.%, 10  $\mu\text{m}$ 以下の結晶量 6.6 vol.%

Sakurajima Showa: 19.0 vol.%, 10  $\mu\text{m}$ 以下の結晶量 7.8 vol.%

Izu-Oshima 1986: type A 16.8 vol.%, 10  $\mu\text{m}$ 以下の結晶量 1.7 vol.%

Izu-Oshima 1986: type B 13.6 vol.%, 10  $\mu\text{m}$ 以下の結晶量 7.5 vol.%

Sakurajima Taisyo pumice: 4.9 (5.3) vol.%

**Coarse type:**

浅い場所での結晶化はほとんどない!!

**Fractal type:**

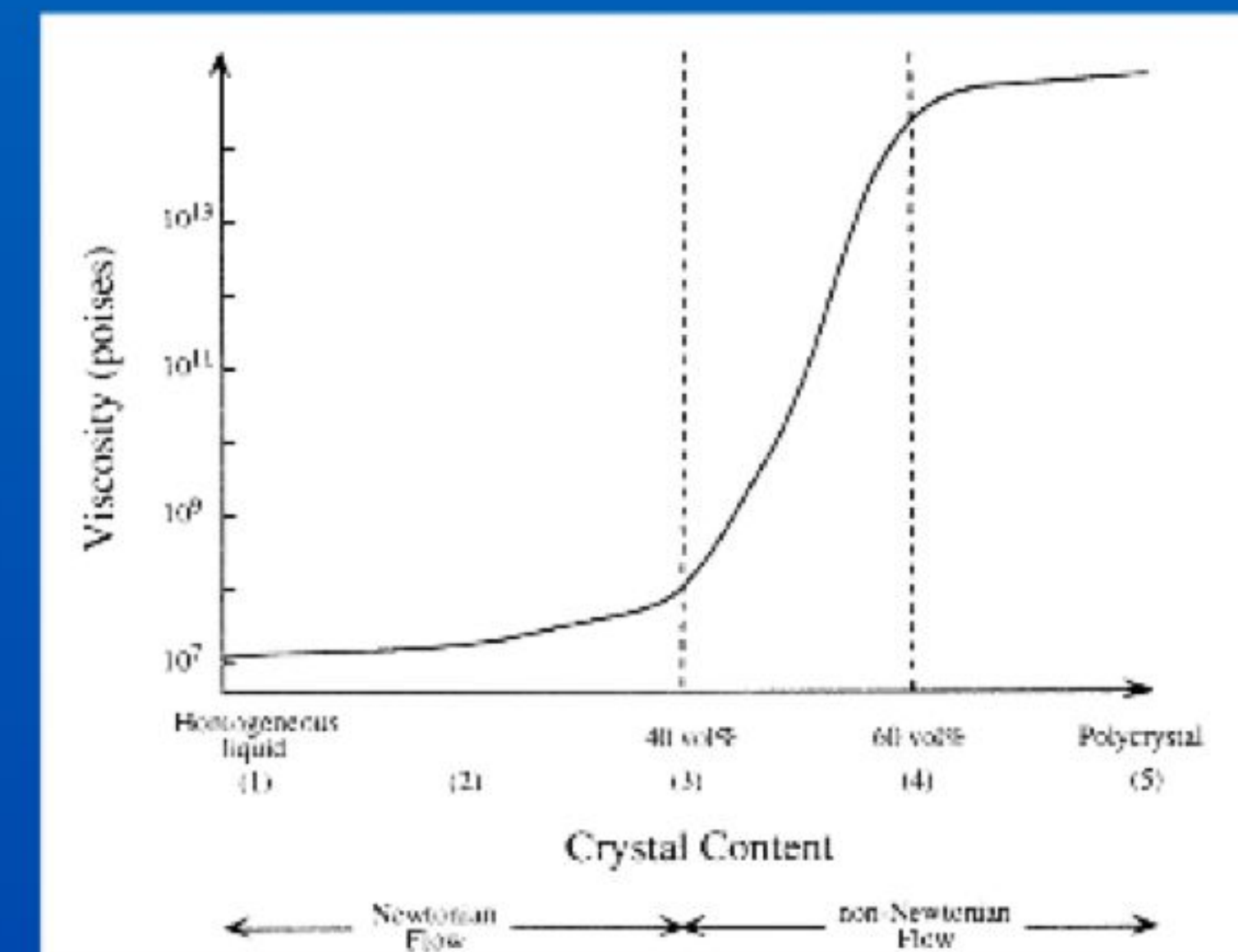
10  $\mu\text{m}$ 以下の結晶量 4.4 (3.6) vol.%

Unzen 1995 spine: 22-32 vol.%, 10  $\mu\text{m}$ 以下の結晶量 5.6 vol.%

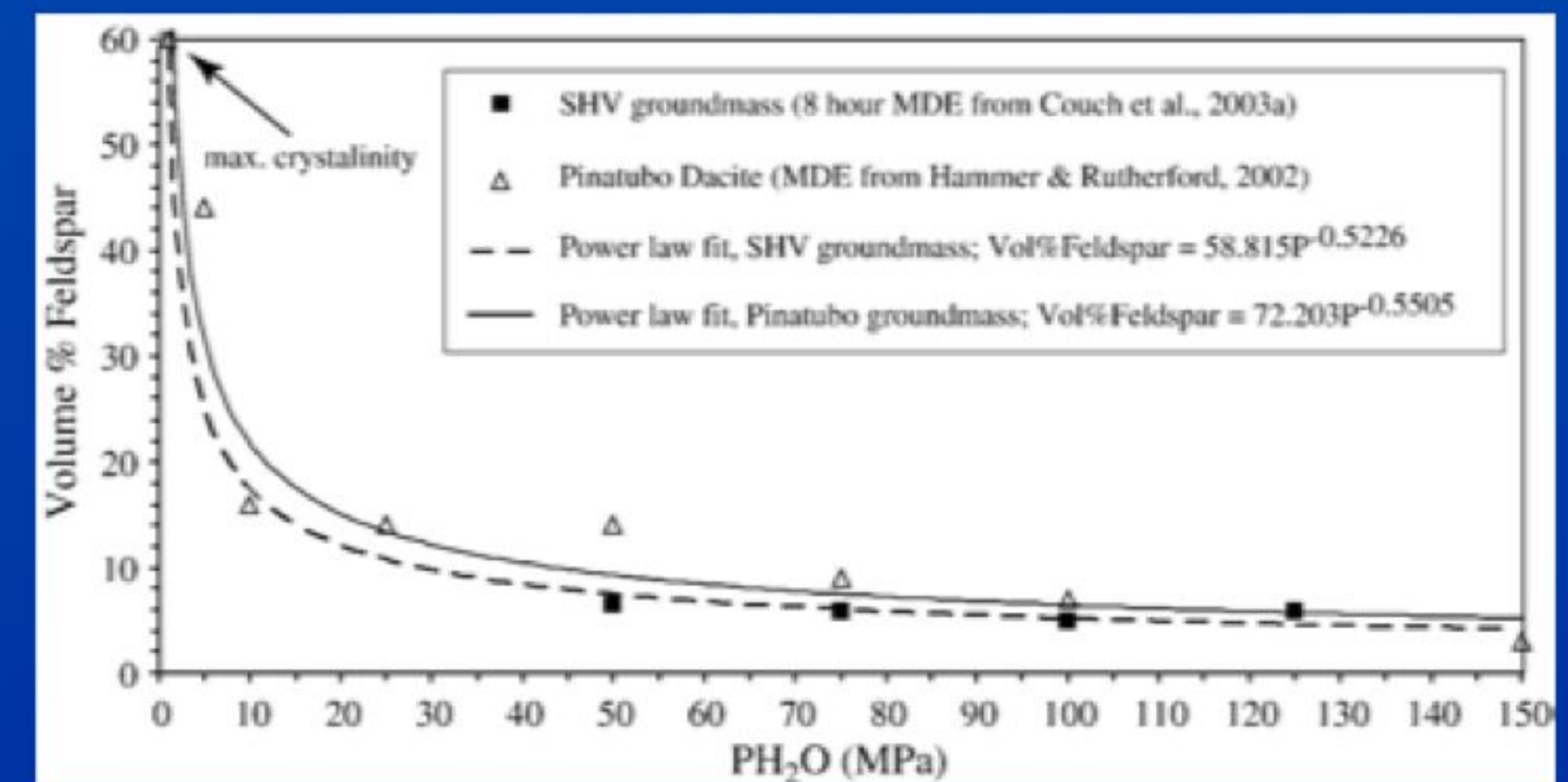
Galeras 2006 dome: 37.7 vol.%

浅い場所でのマイクロライト: 数密度は非常に高いがマイクロライトのサイズが細粒の為、結晶量としてはそれほど効かない!!

モデルを再検討する必要がある



Rejune and Richet (1995)



Hammer et al. (2002); Couch et al. (2003)

# Fractal typeの結晶化

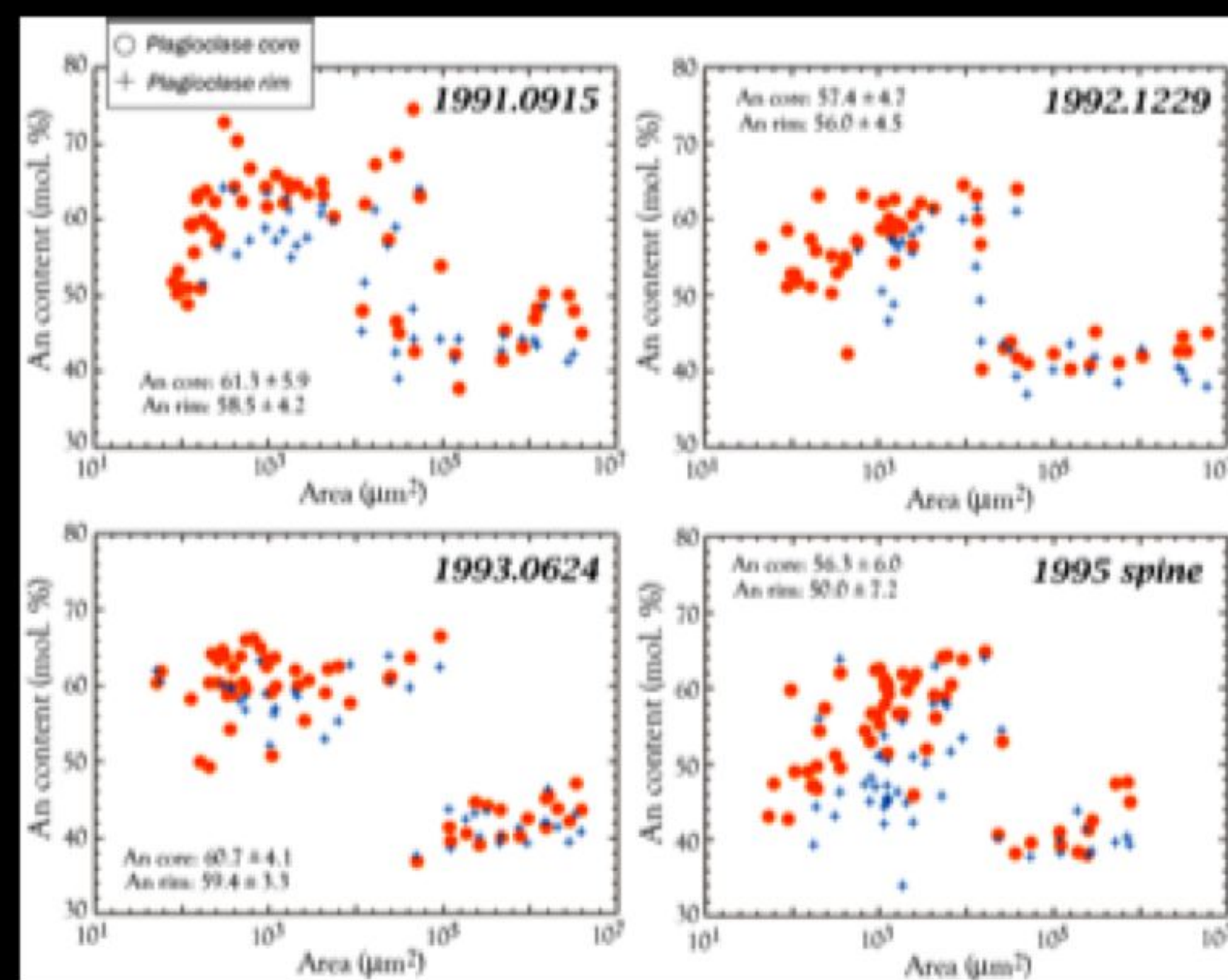
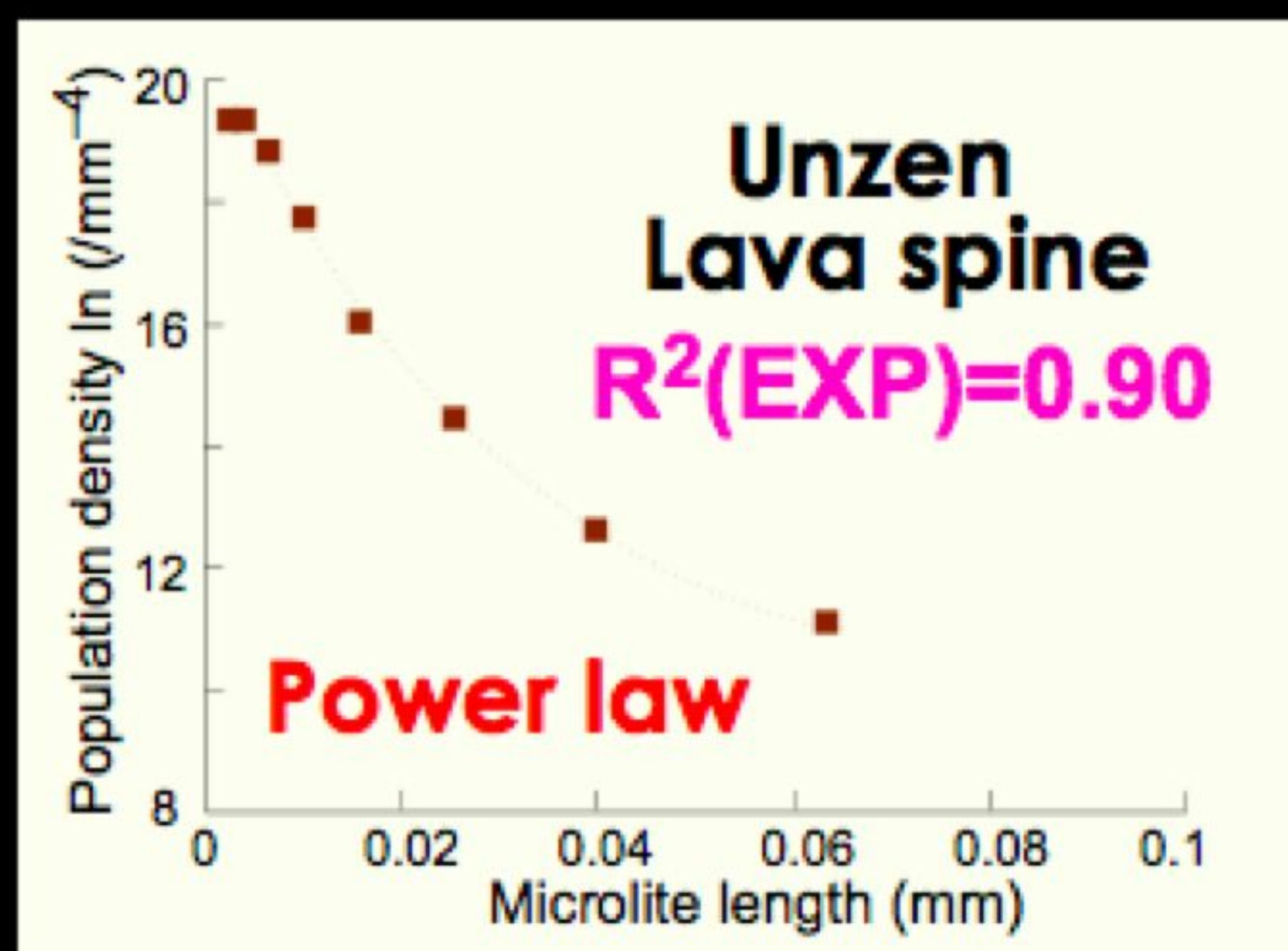
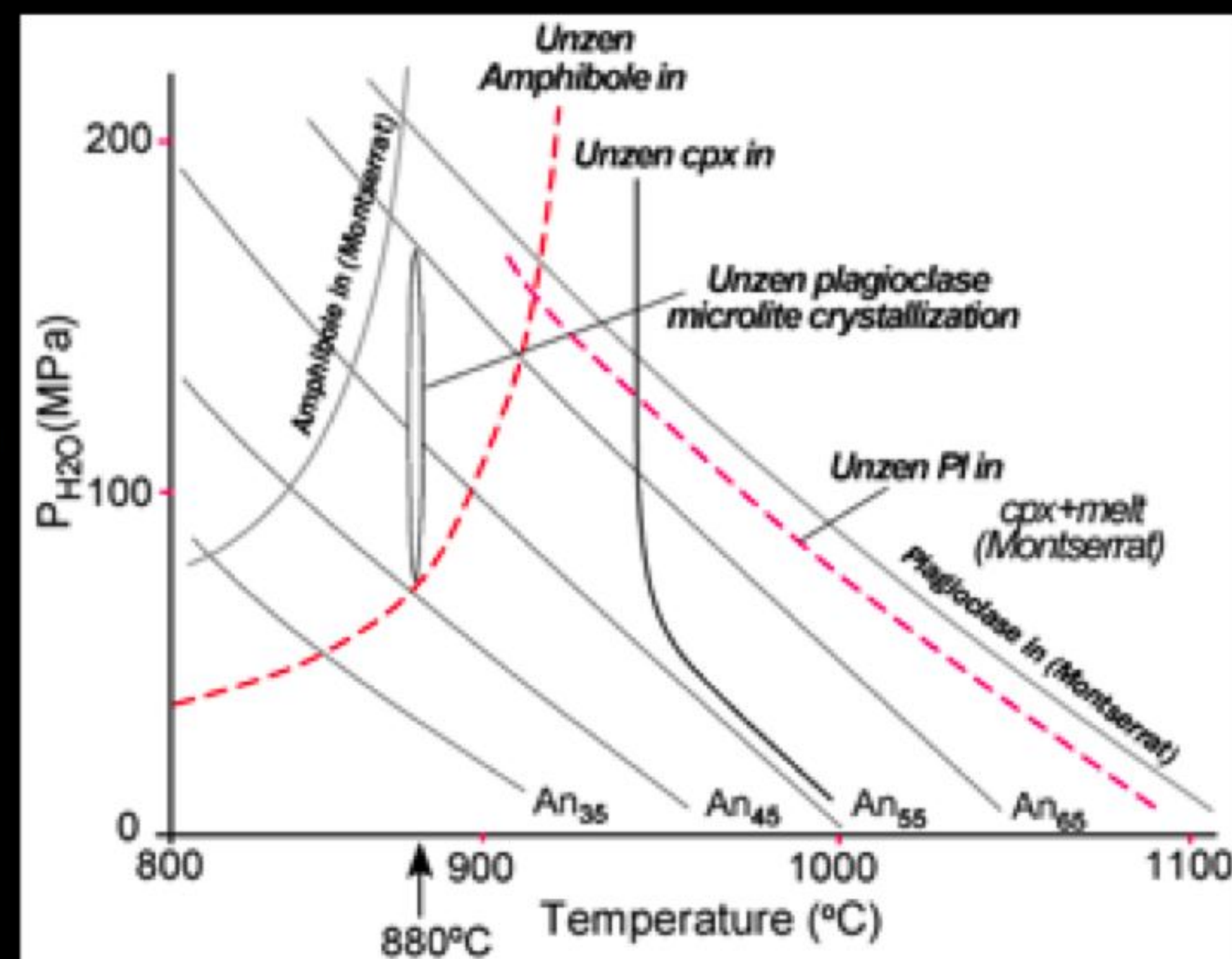
雲仙の場合で考えてみる

結晶化: 160–70 MPa

Unzen 1995 spine 結晶量: 22-32 vol.% + 斑晶 20-30 vol.%

10  $\mu\text{m}$ 以下の結晶量: 4.4 (3.6) vol.%

大半の結晶はすでに結晶化している。



## 平衡結晶化と減圧結晶化による組成の違い

