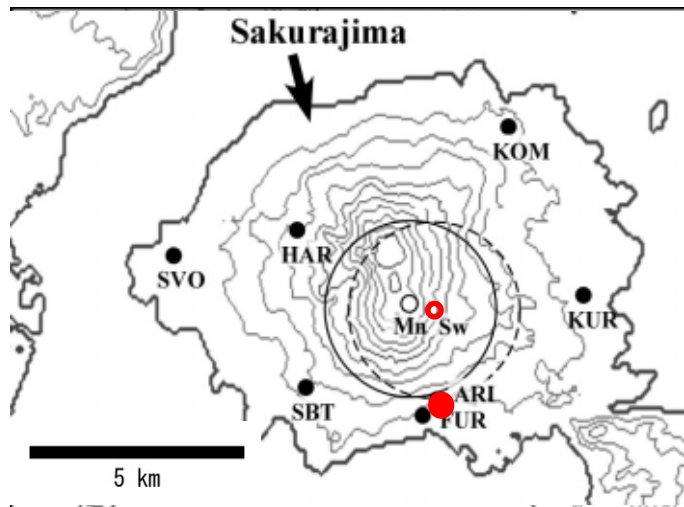


火山灰連続採取による 火道浅部マグマの変動と噴火様式

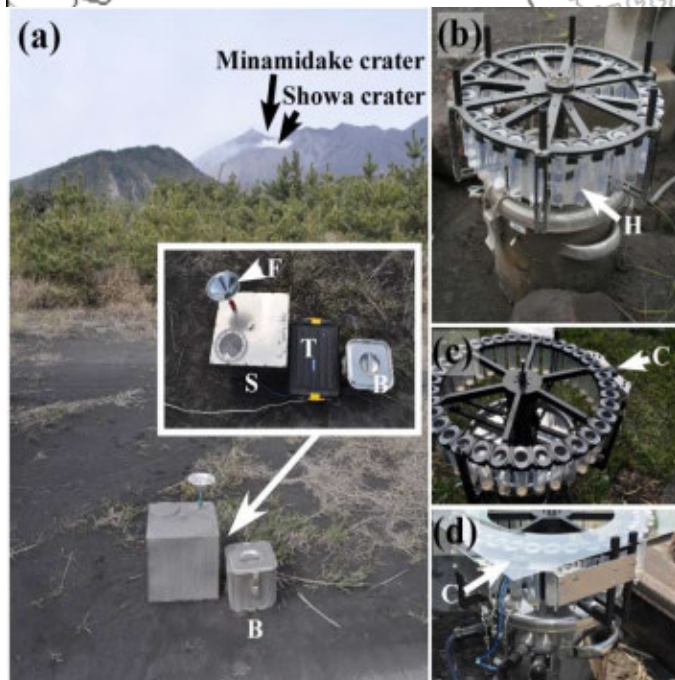
嶋野岳人(常葉大)

これまでの共同研究者: 西村太志(東北大理), 井口正人・味喜大介(京大防災研),
横尾亮彦(京大阿蘇), 三輪学央(防災科研), 安田敦(東大地震研)

Sakurajima: recent activity



Ash eruption at Showa crater



SATSUMA (old name of Kagoshima)

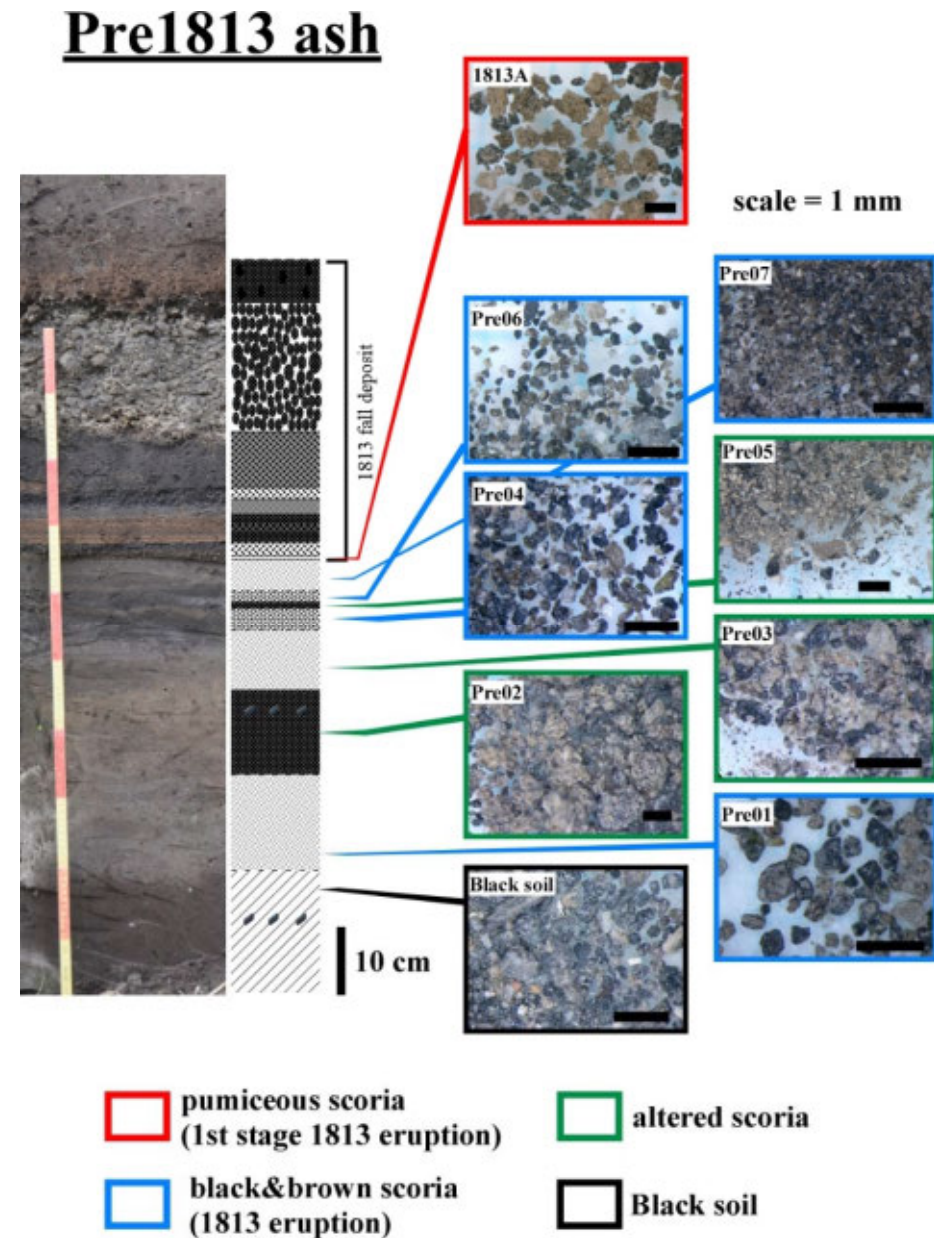
= Sampling Apparatus for Time Series Unmanned Monitoring of Ash

目的

灰噴火とは？

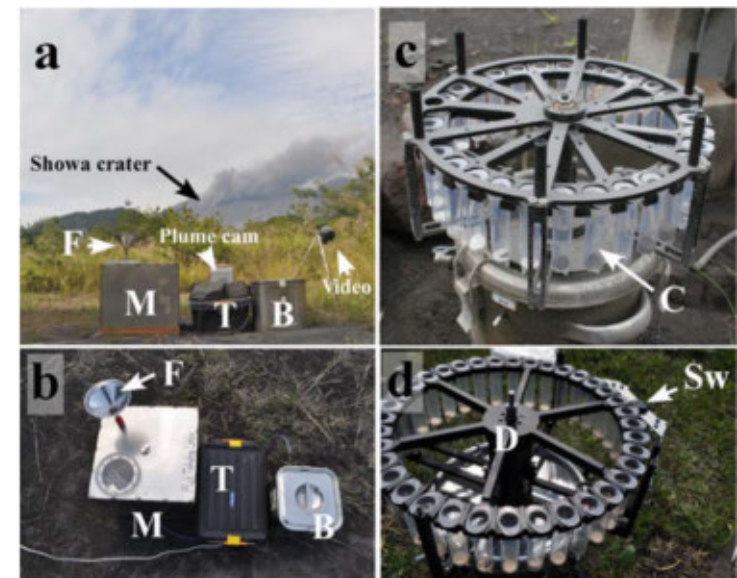
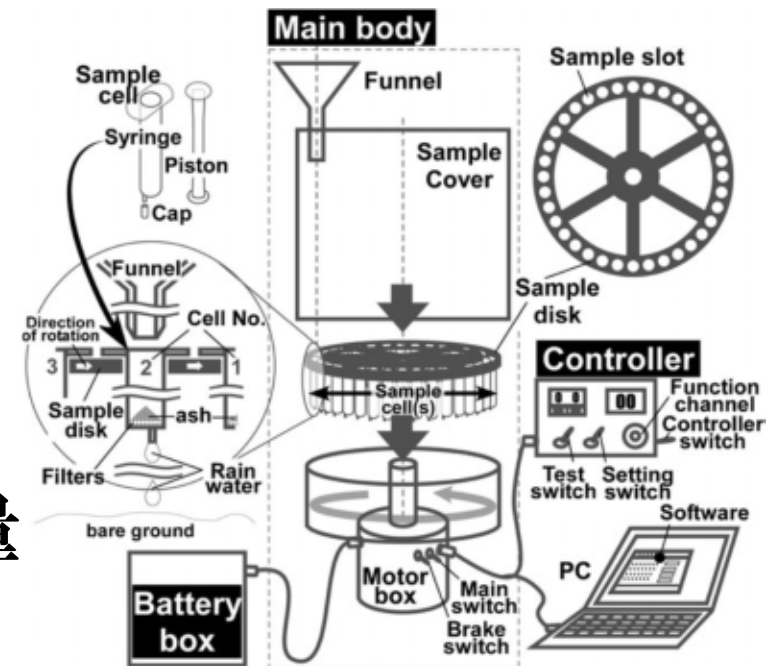
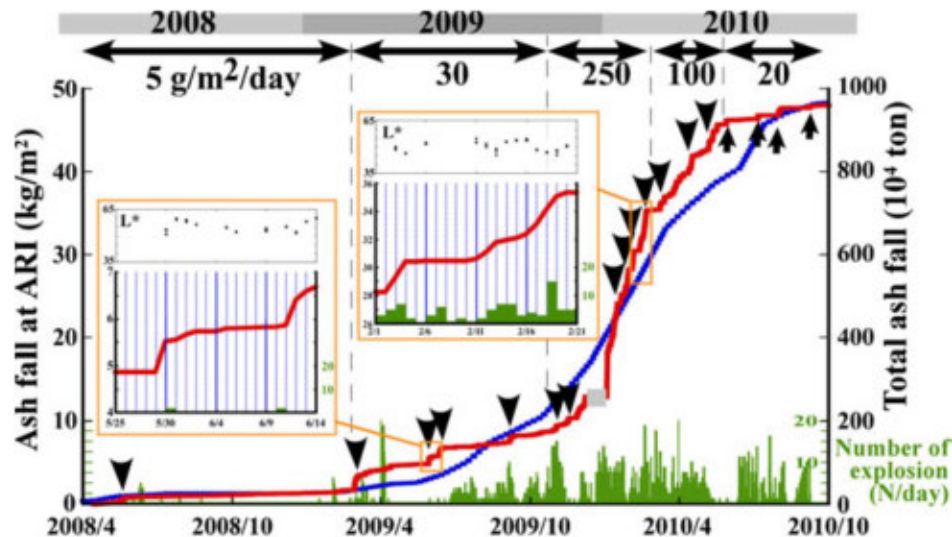
- 噴火推移の予測
 - ー 来るべき大噴火(文化噴火級)に備えて
 - ー 噴火の消長パターンの事例蓄積
 - ー 噴火様式とマグマの変化(発泡・脱ガス、結晶化)
 - ー マグマ供給の消長

→時間分解能を変えて連続観測を行う手法



火山灰連続採取

- 有村で毎日採取 (2008年2月～)
 - 欠測<連続約30日/年を維持
 - 黒神では隔日で採取 (2011年4月～)
- 有村での降灰量と月別総降灰量
 - 1地点降灰量(赤線)にもかかわらず、総量(青線)と整合的変動↓



Shimano et al. (2013) Bull Volcanol, 75: 773.

時間変化の実態解明

- 時間スケールの違い

1. 超長期変動（噴火史）・・・数十年以上

- ① 大規模噴火の推移

- ② 小規模噴火の推移→大規模噴火への進展

- 噴火履歴情報の蓄積（従来の地質調査）

2. 中長期変動・・・数日～十数年

- ① 自動火山灰採取システムの運用

- ② 化学組成の追跡，結晶度等の追跡

- ③ 地殻変動データとの比較

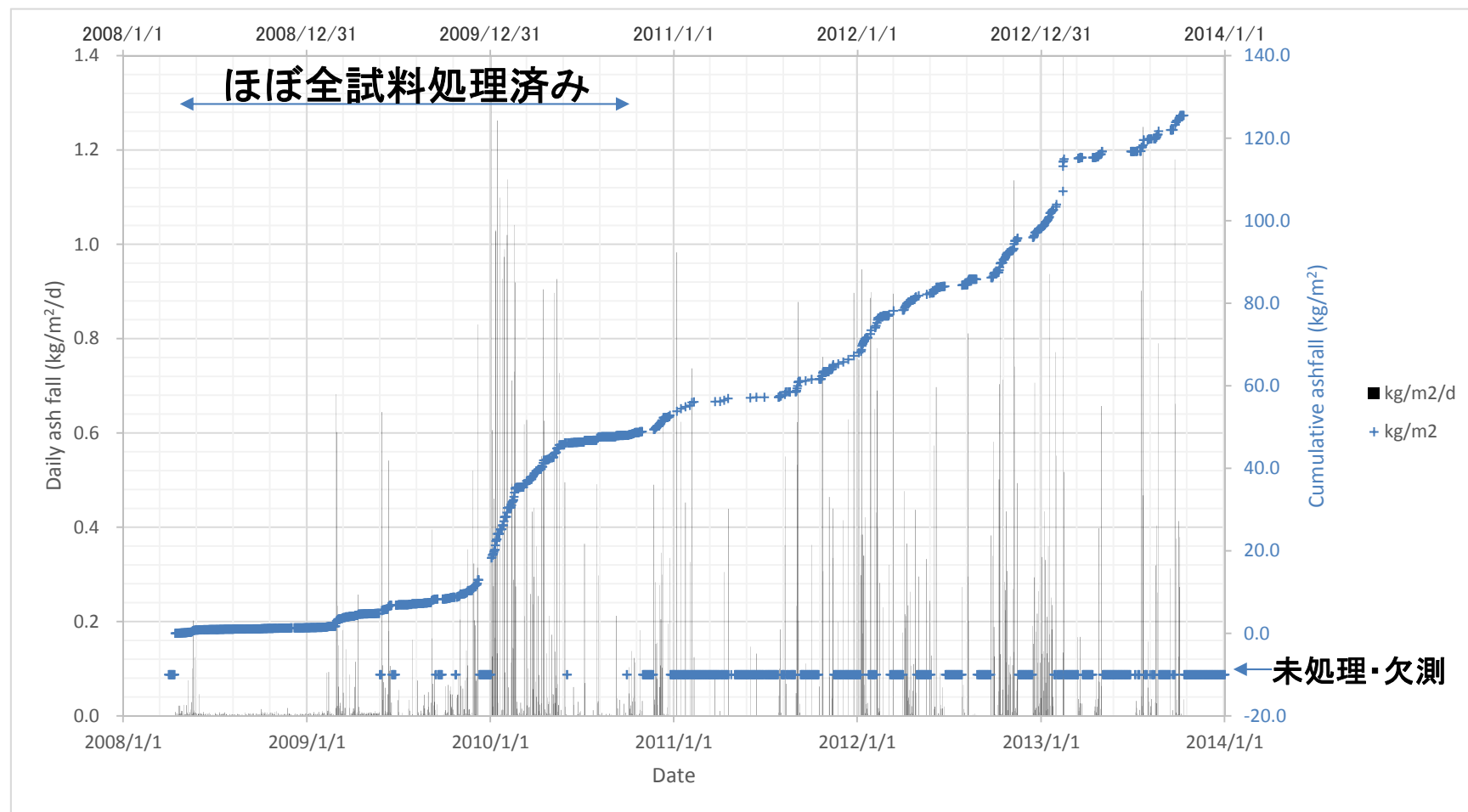
- マグマ供給系の変動パターンの解明

3. 短期変動・・・数分～数日

- ① 個別噴火の解析

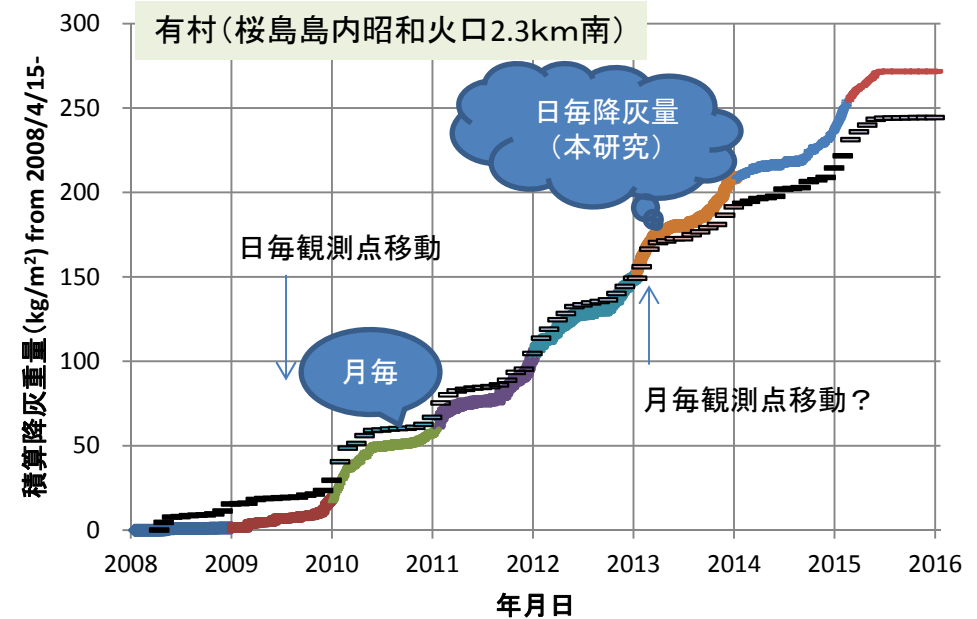
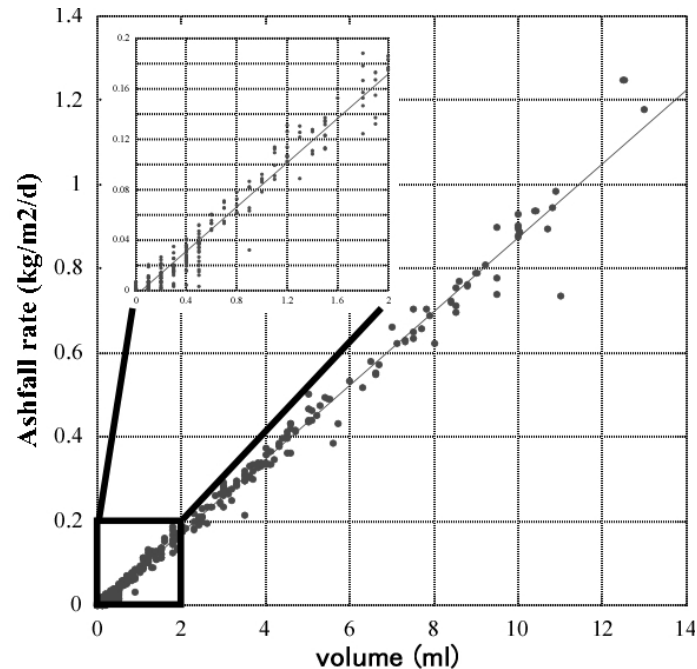
- 火道浅部過程の解明

これまでの収集・処理状況（有村）



なかなか現象に追いつかない

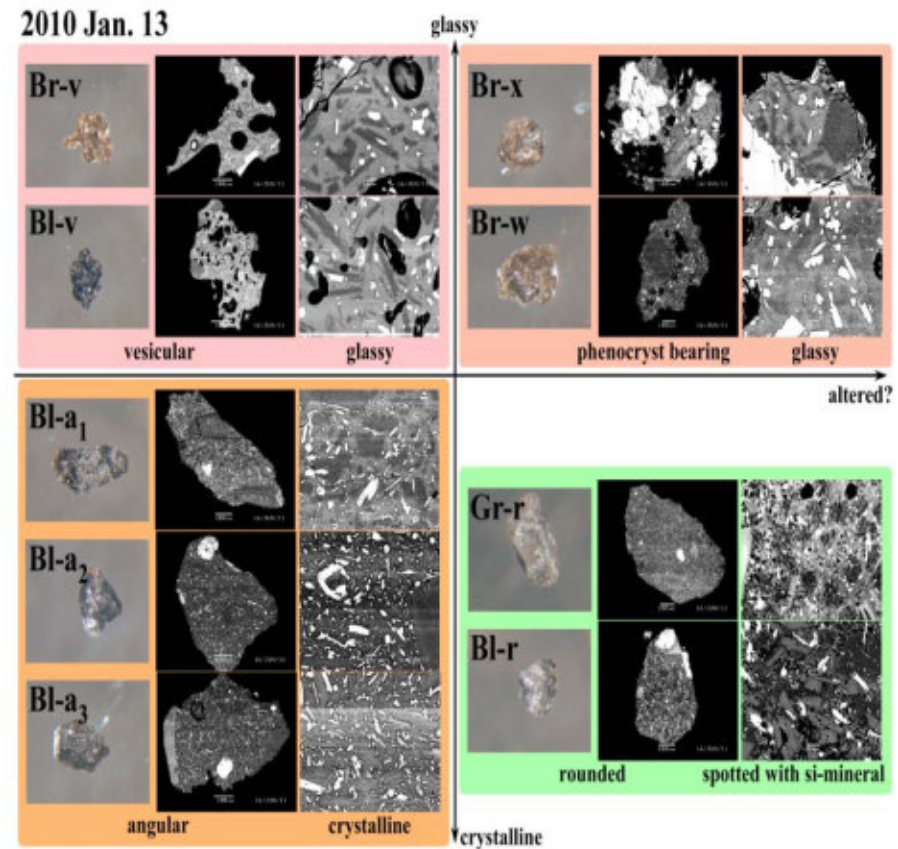
試料体積-重量則による日毎降灰量の迅速見積



- 降雨時も可. 試料取得可. 降雨なければ付着物質測定も可.
- 日毎データ=毎月1回収, 指定容器に回収. 乾燥重量測定(経験則密度1.55g/cm³; 左上図).
- 日毎データ欠測時は積算値は取得可(採取口の閉塞量はわかるため)
- 月毎・日毎観測値の変化傾向一致.
- 絶対量は観測点の局所環境依存か.
- 約100m程度であればほぼ一致(2009年後半~2013年初め頃)
- 2009年末~2015年6月: 季節変動はあるが, 概ね一定の降灰率

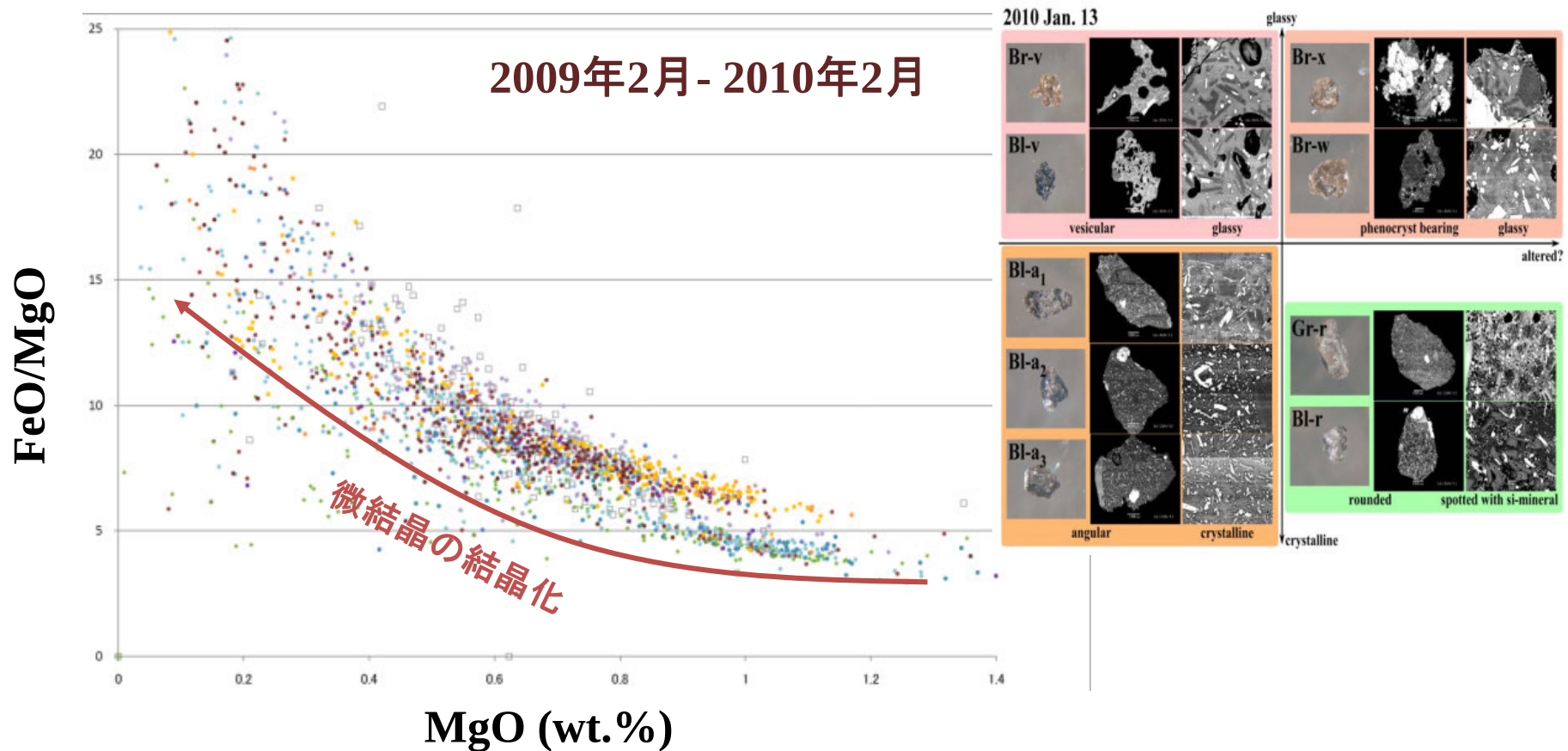
分析手順

- 時間分解能＝1日
- 全試料を分析
- 粒子分類をしない
- 粒径分離をしない



1. 石基ガラス組成の分析(各試料20粒子測定)
2. 分光測色計による色の定量化(各試料3回測定)

石基ガラス組成まとめ



- 2つの変化トレンド (いずれも石基結晶化による)
 - 2009年9月末～現在: 高FeO/MgO 火山灰が卓越
 - 2009年2月～9月半ば: 低FeO/MgO 火山灰が卓越

観測値と石基ガラス組成の時系列変化

● 石基ガラス組成

- 結晶度による組成バリエーション大
- きれいな相関はないが
- 系統的な変化として...

▪ FeO/MgO 上限値変動

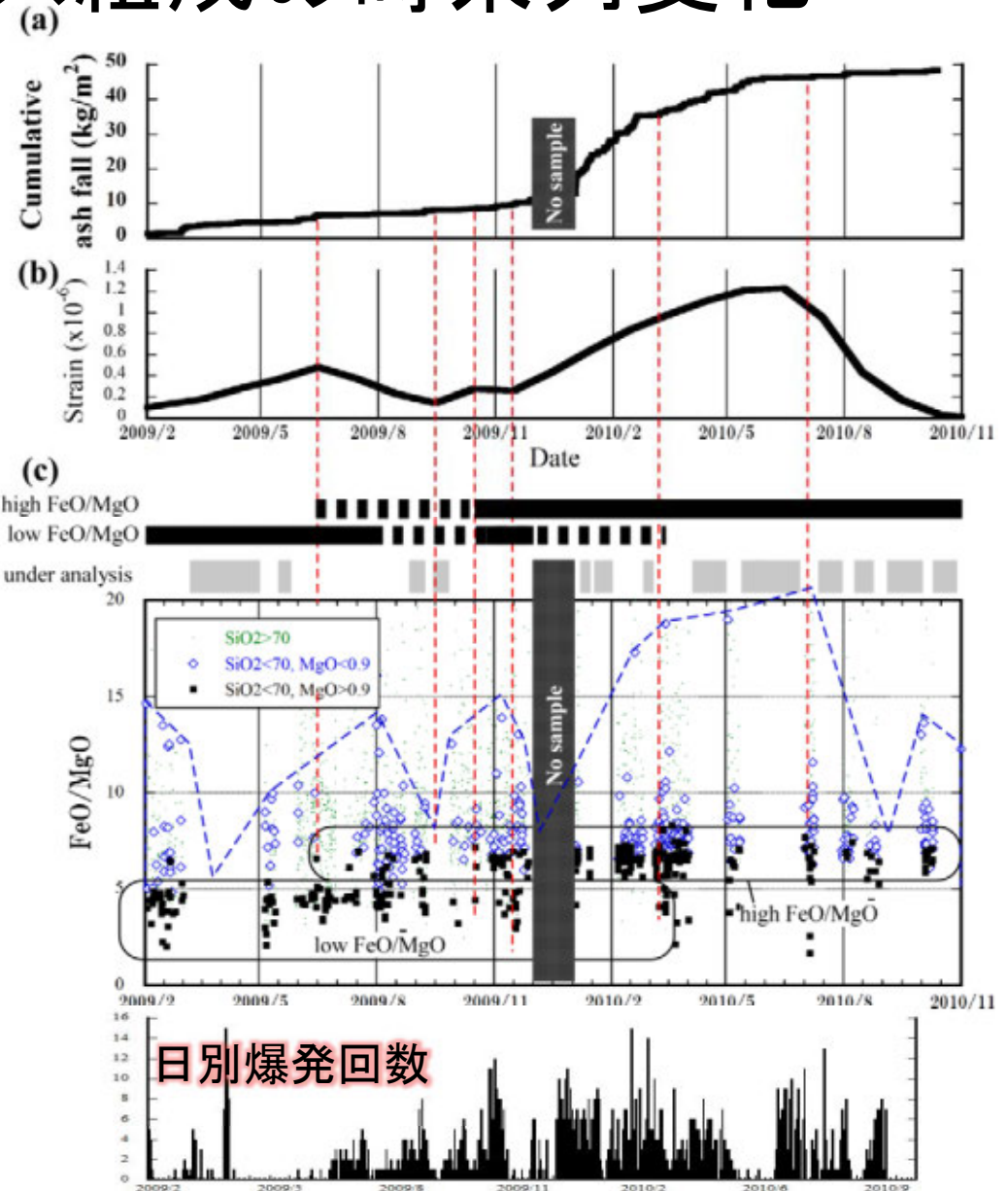
→ 爆発回数と連動？

既存マグマの結晶化進行

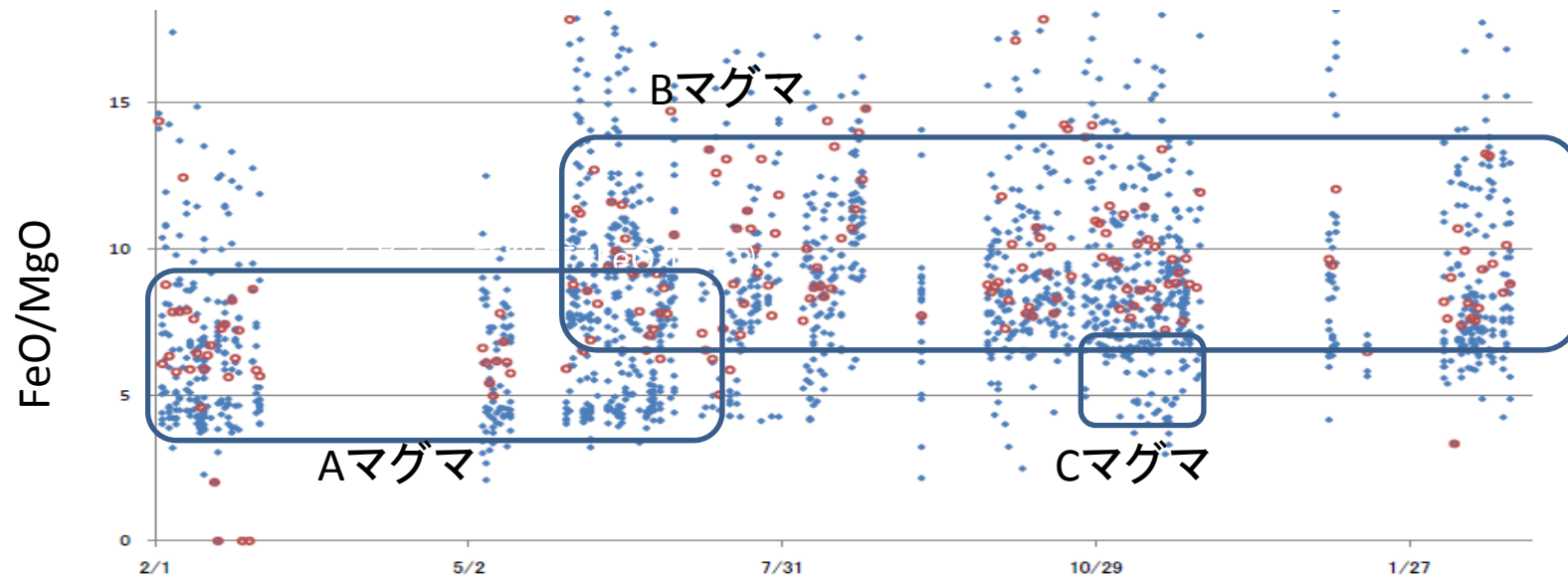
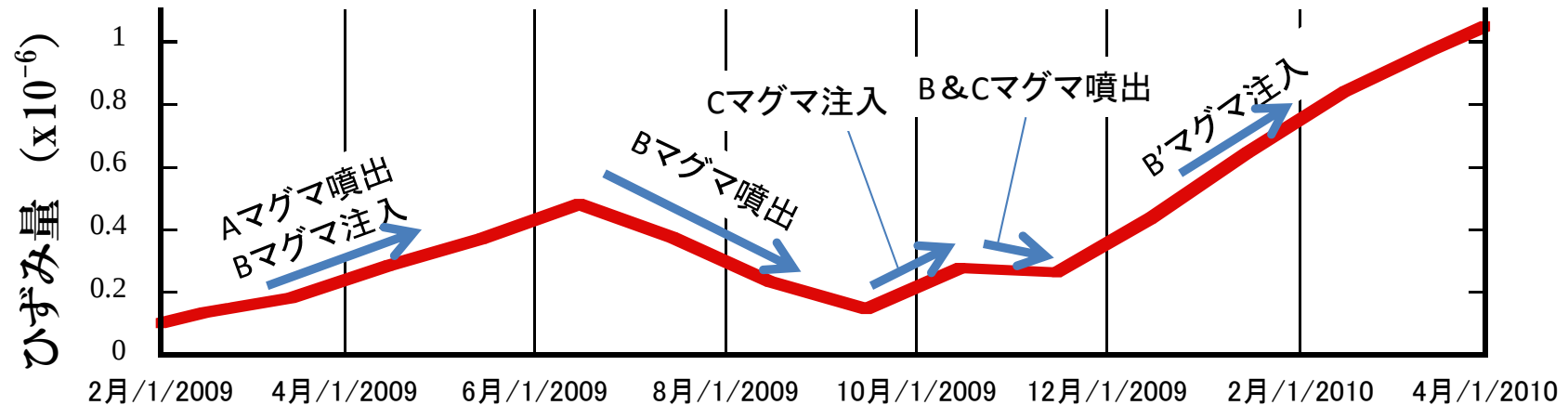
▪ FeO/MgO 下限値変動

→ ひずみ量増減と前後して変化

新規マグマの繰り返し
注入

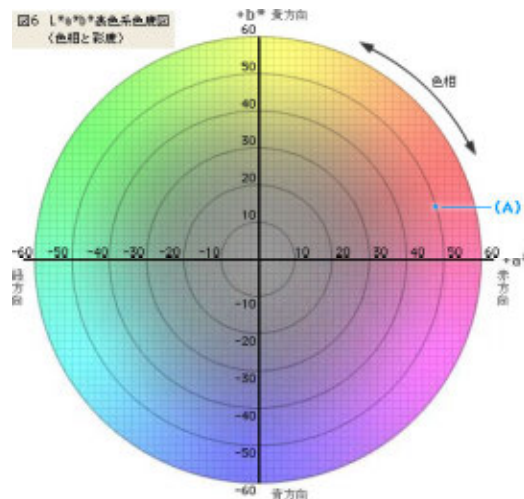
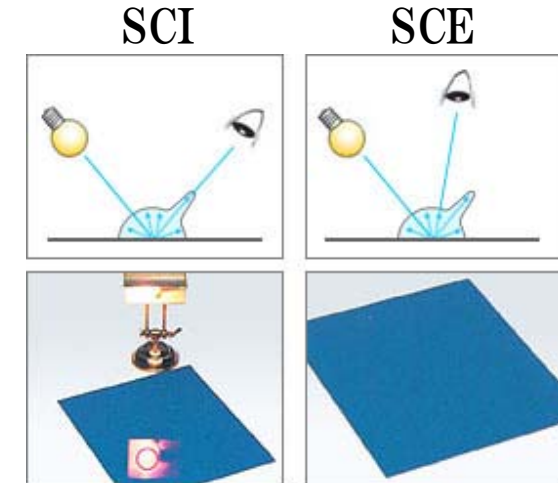
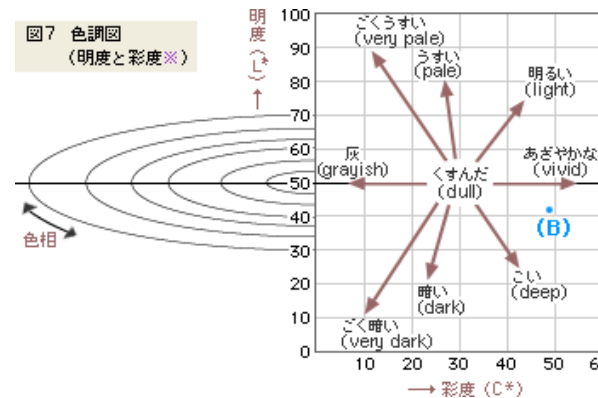
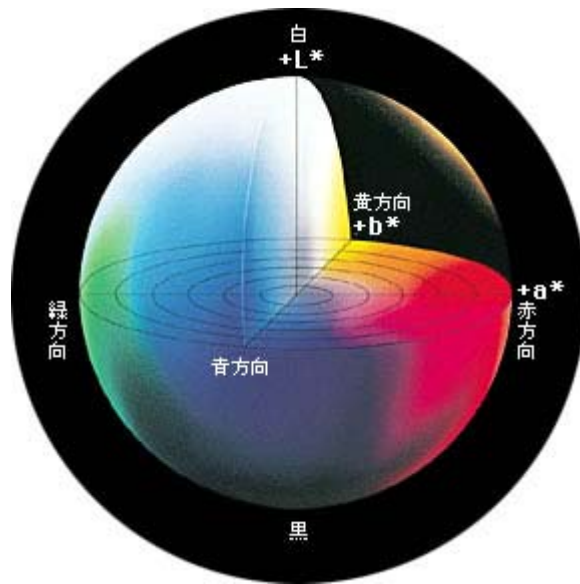


ひずみ量と石基ガラス組成(低SiO₂側)の時系列変化



時間分解能を1日にしても、分解能週～月の場合と得られる結果があまり変わらない

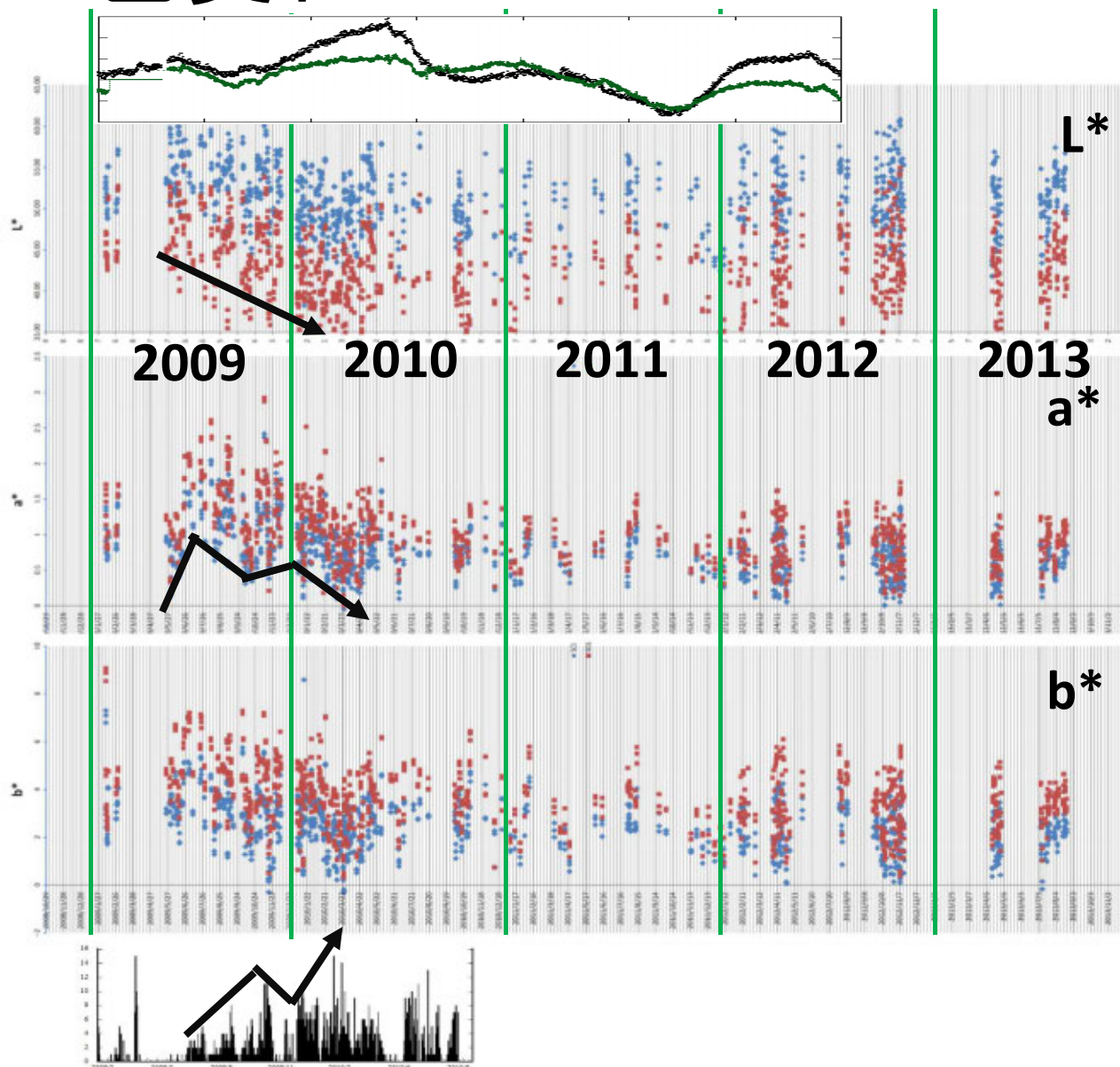
分光測色計による色測定



- 色を定量化 ($L^*a^*b^*$ 表色系; CIE1976)
 - 中嶋ほか(1993)
 - 火山灰→宮城・東宮(2001), 山野井ほか(2007)
- 測色方式
 - 正反射光含む (SCI)
 - 正反射光除去 (SCE)

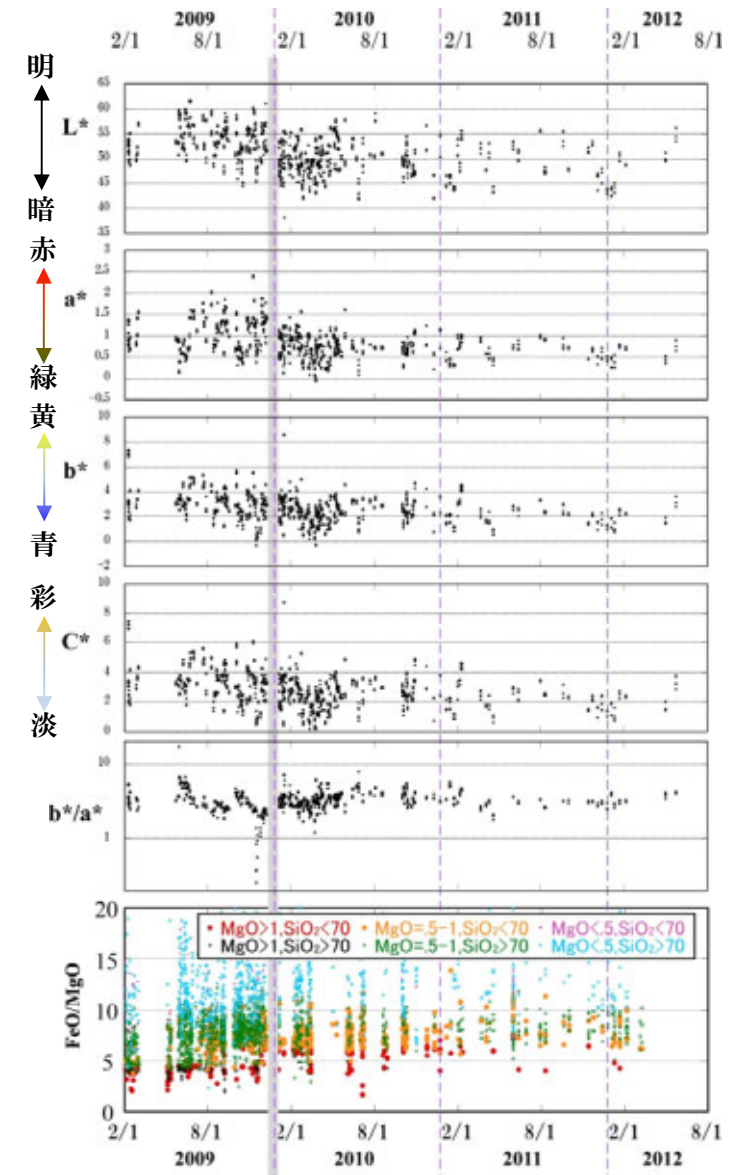
Bulk火山灰の色変化

- 活発化
 - 暗色化.
 - 彩度増加のち低下
- 活動度と関係？



火山灰分析データ

- ガラス組成連続変化(～2012年3月)
 - 2010年秋迄, ほぼ全日別試料測定
2009年8月頃～: FeO^*/MgO 比が異なるマグマ検出
→ 新たなマグマの貫入示唆
 - 2010年秋以降, >2-3試料/月で分析
2011年以降, 夏頃から黒化? 顕著な変化ない?
(注: 2012年3月以降は測定中)
- 色変化
 - 乾燥済Bulk試料(粒径未区分試料)の測定
 - L^* は明度
 - a^* : 赤(+)-緑(-)
 - b^* : 黄(+)-青(-)
 - C^* は彩度(a^* , b^* の二乗平均)
 - 結果: 粒子構成を反映(次頁)
↑しかし, 粒径により多様な色呈することが明らか。
- 粒径毎の色構成
 - 粒径により大きく異なる

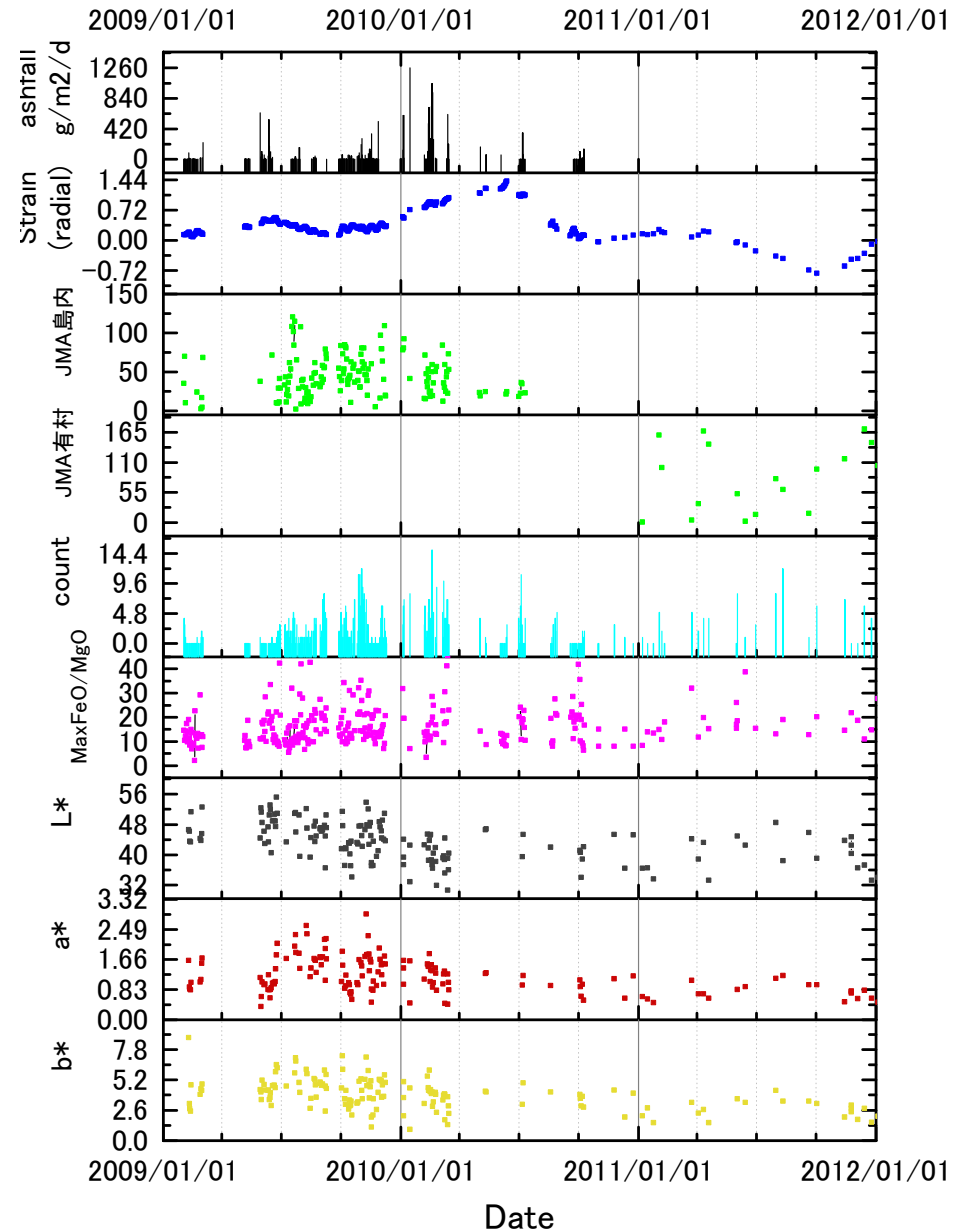


・上5つの図はBulk試料の色変化. 2009年夏頃から次第に L^* が低下, 続いて a^* , b^* が低下←黒色溶岩片粒子増に対応

・最下図はガラス中の FeO^*/MgO 比変化. シンボルの色は SiO_2 量や MgO 量の違いに対応. 2009年9月, 2010年6月頃に FeO^*/MgO の不連続変化が認められたが, その後は大きな変化はない。

各種データとの 比較

- 時系列方向の変化
- 必ずしも一対一に対応しない.
- 傾向は連動するものもありそう
- 今後統計的に解析
 - 十分なデータの整理



火山灰粒径による色相違・変化

- 粒径毎の色変化(4サイズに区分): $>1\text{mm}$, >500 , >250 , $<250\ \mu\text{m}$

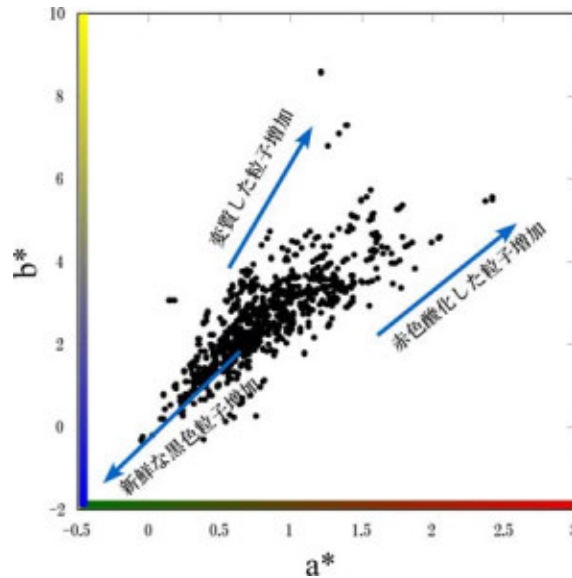
- 平均粒径小 $\rightarrow$ 径 $<250\ \mu\text{m}$ が全体色反映

- 平均粒径大 $\rightarrow$ 径 $>250\ \mu\text{m}$ が全体色反映

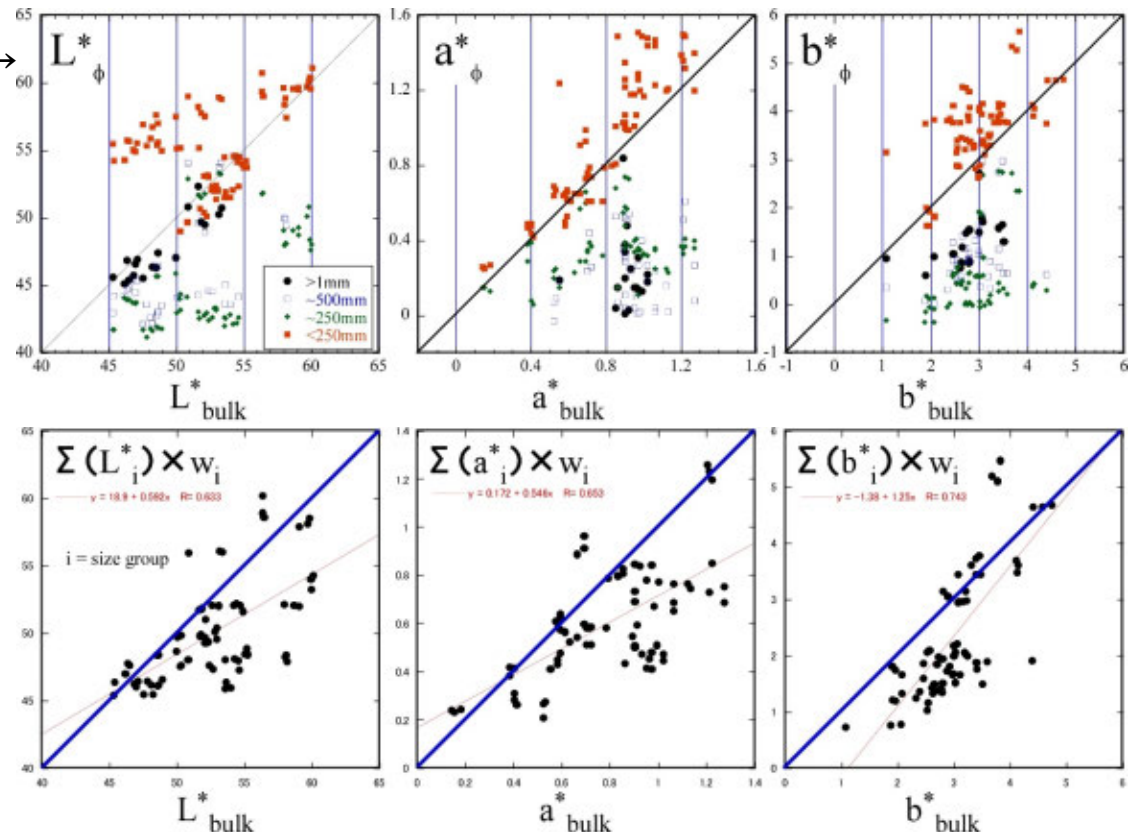
- (Bulk試料の $L^*a^*b^*$ 値) $\propto \Sigma$ (各粒径(重量比) $\times L^*a^*b^*$ 値)

↓ 単純な重ね合わせでは説明できない
が, 粒子構成をある程度推定可能?

黒斜線: Bulk試料色 = 各粒径色 $\rightarrow$



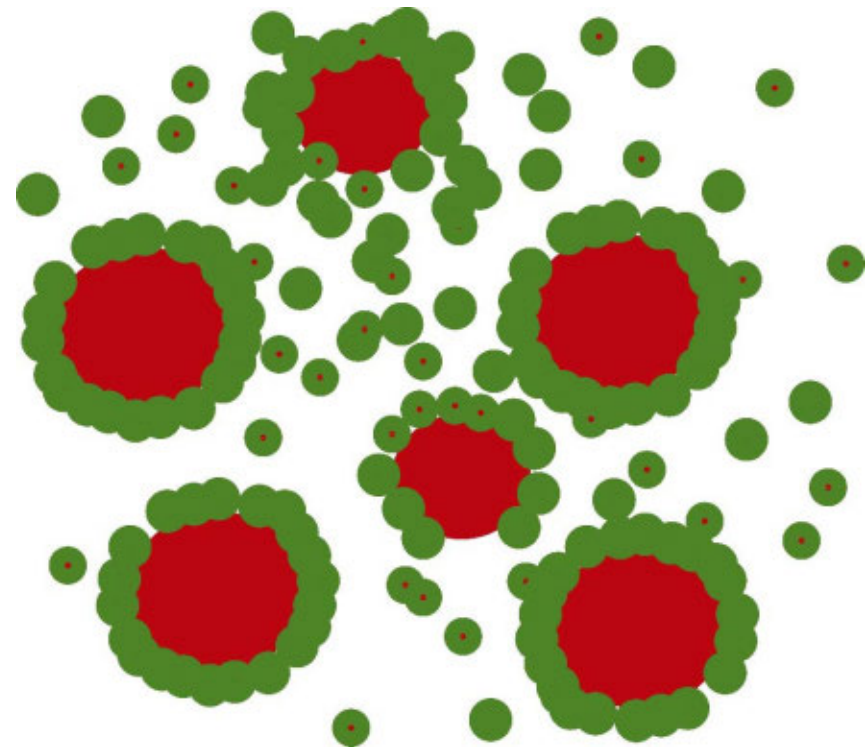
Bulk試料: 構成粒子の
比率変化反映



青線: Bulk試料色 = Σ (各粒径色 $\times$ 各粒径重量比)

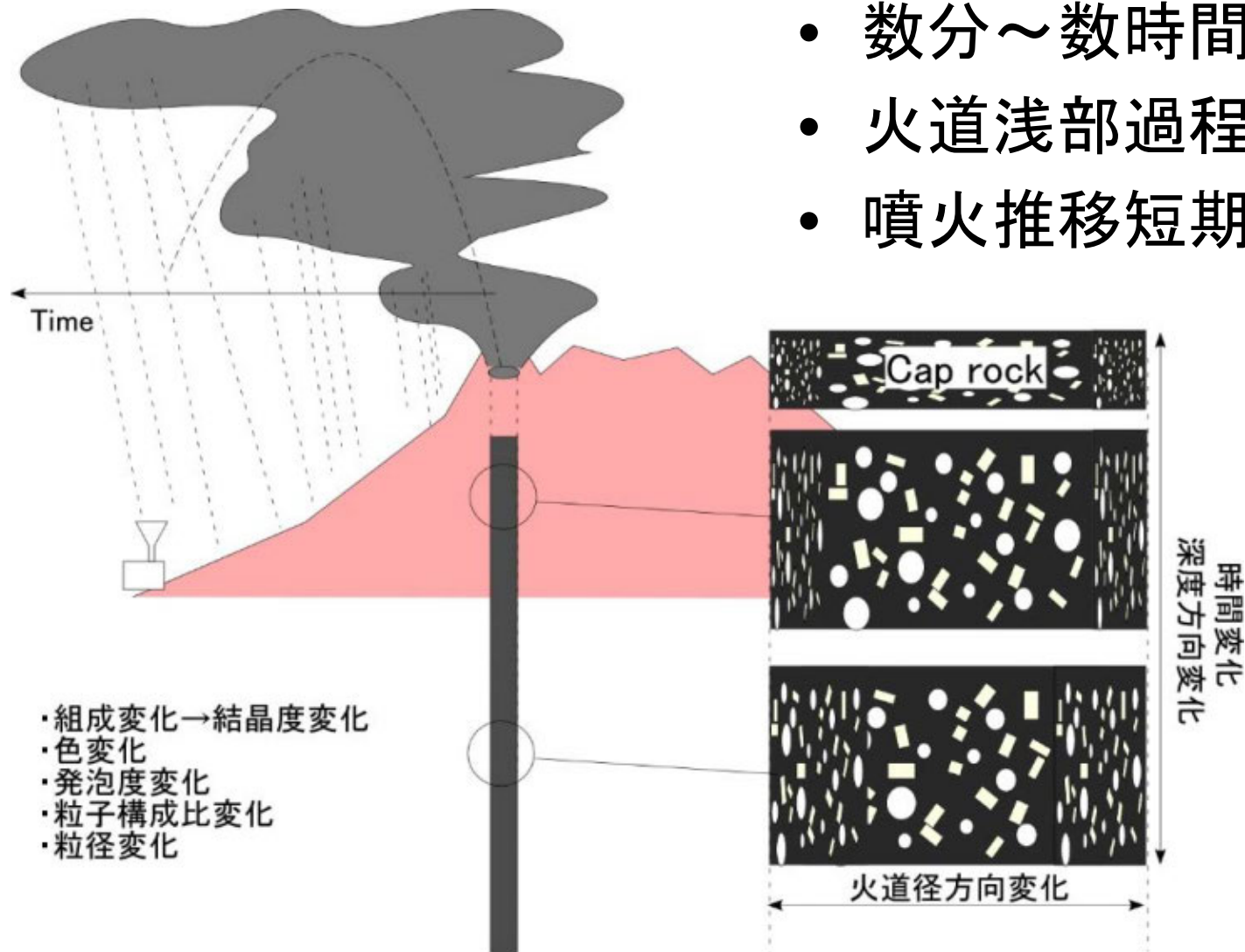
Bulk火山灰の色測定結果

- <250 μ m粒子:
系統的に**明度・彩度が高い**
BulkのL*a*b*値より**高い**
- >250 μ m粒子: 粒径大程,
L*, b*増加, a*変化小
BulkのL*a*b*値より**低い**
- 粒径毎の重量比 × 測色値
の合計値はBulk火山灰の
測色値を下回る.
→細粒火山灰が粗粒粒子を
覆っている状態反映



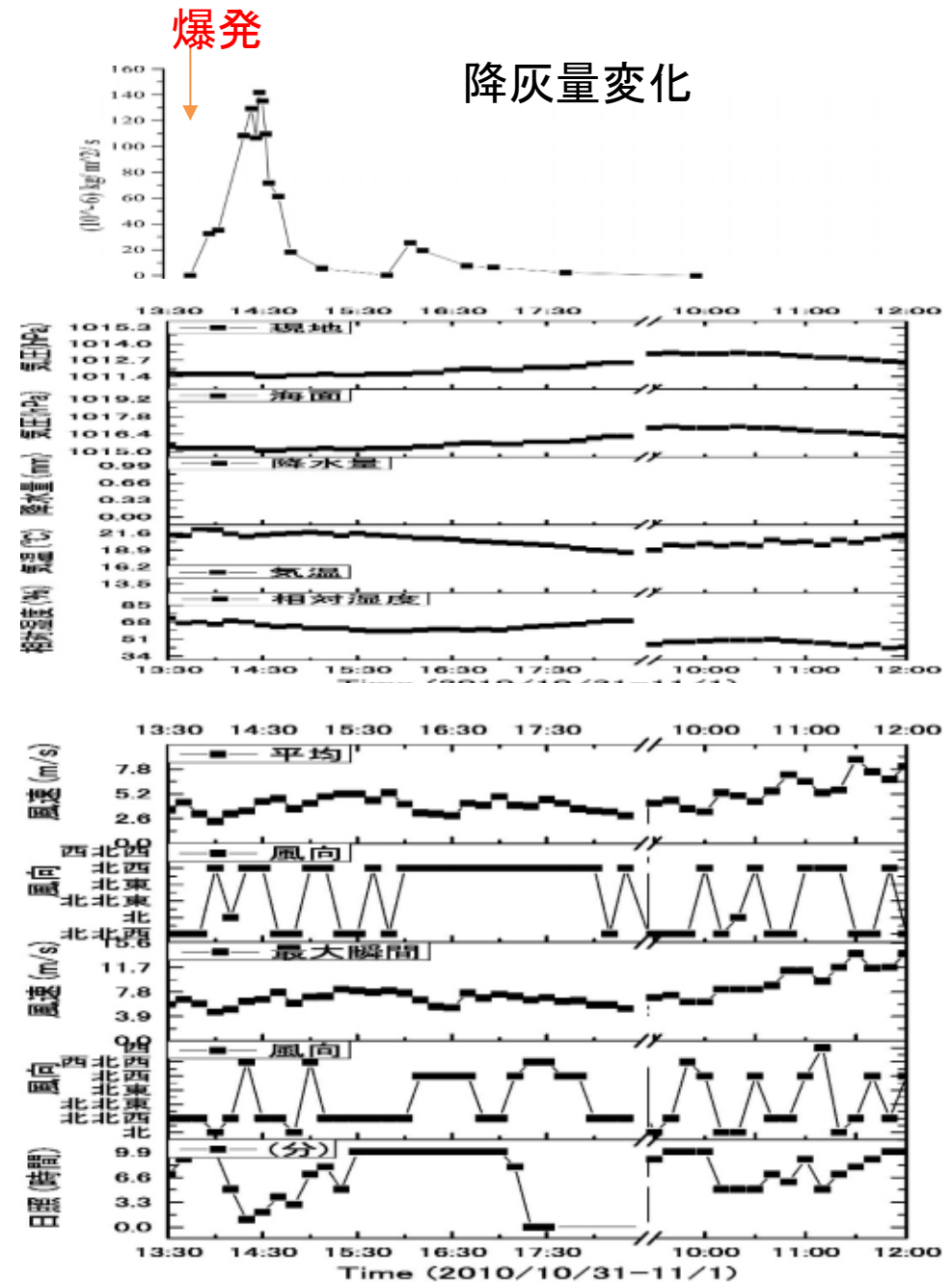
短時間間隔サンプリング

- 数分～数時間間隔
- 火道浅部過程
- 噴火推移短期変動



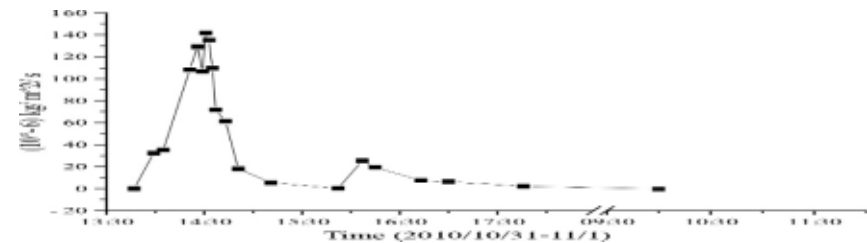
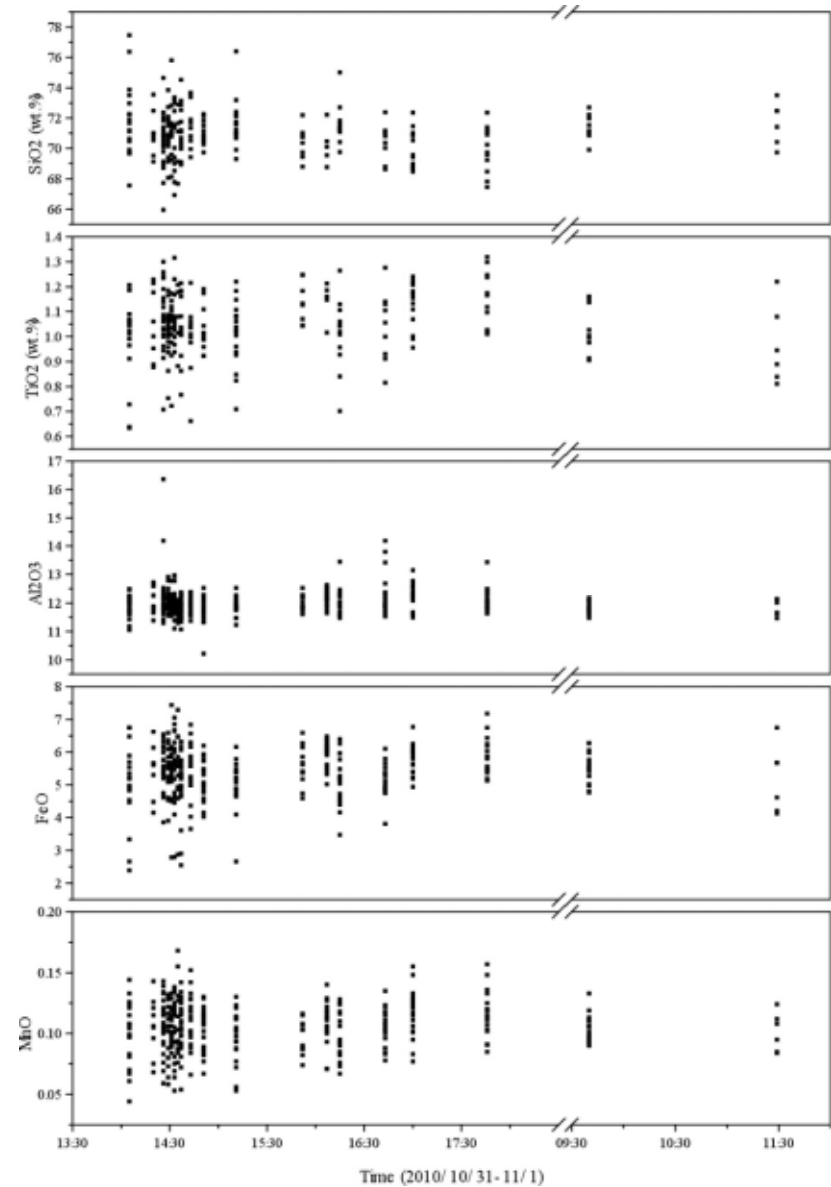
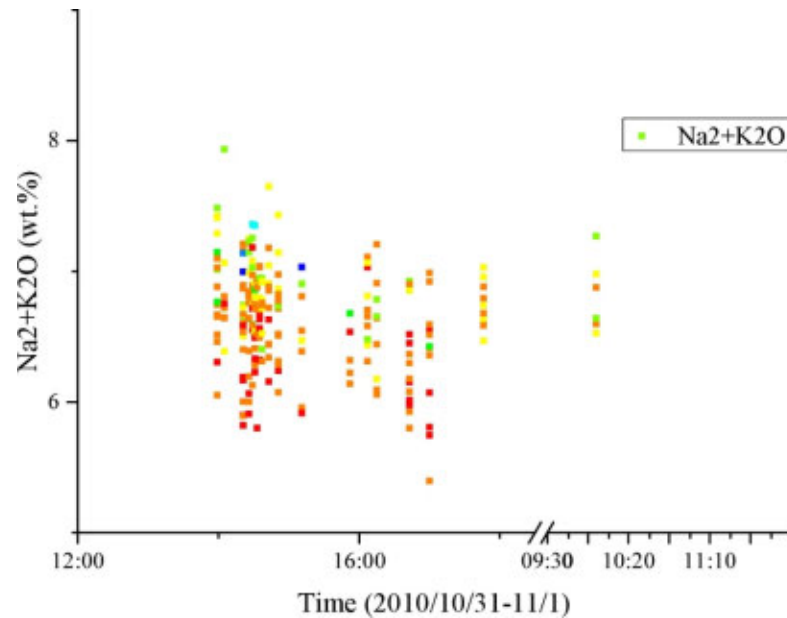
火道浅部過程

- 気象変化小の噴火
 - 2010/10/31
 - 風向: 北北西～北西
 - 主軸上で採取
 - 風速約4m/sで安定



火山灰粒子の特性

- ガラス組成
- 13:47爆発
- 14:00頃～降灰
- ～14:30頃:次第に結晶度低下
- その後～結晶度微増、しばらく一定
- 16:30頃:少し結晶度低下
- 16:30頃～ 結晶度



火山灰粒子の特性

- 測色値

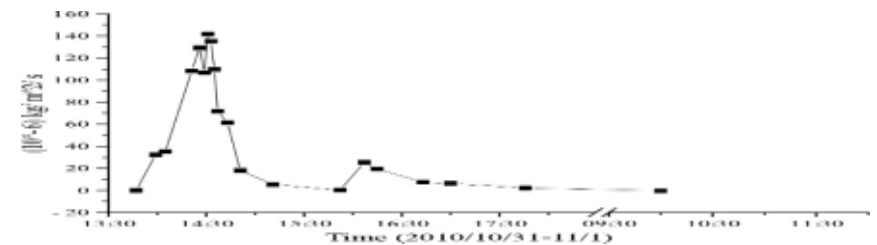
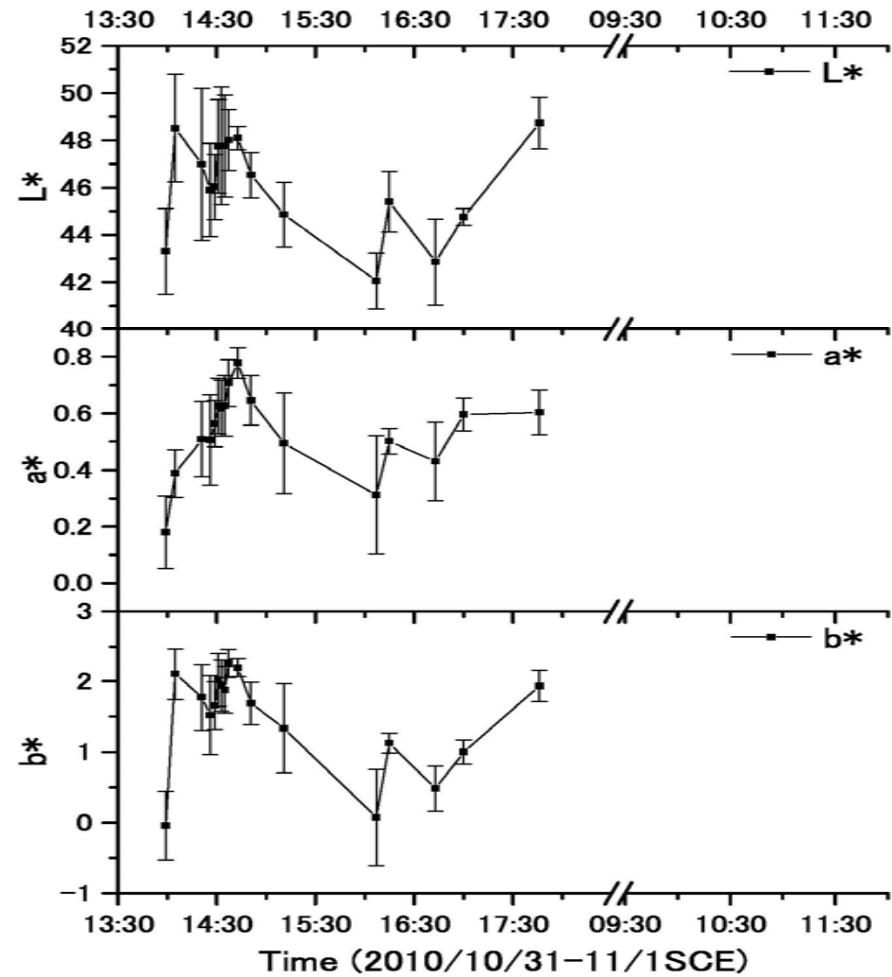
- 降灰開始とともに

- 明化
- 赤化
- 黄化

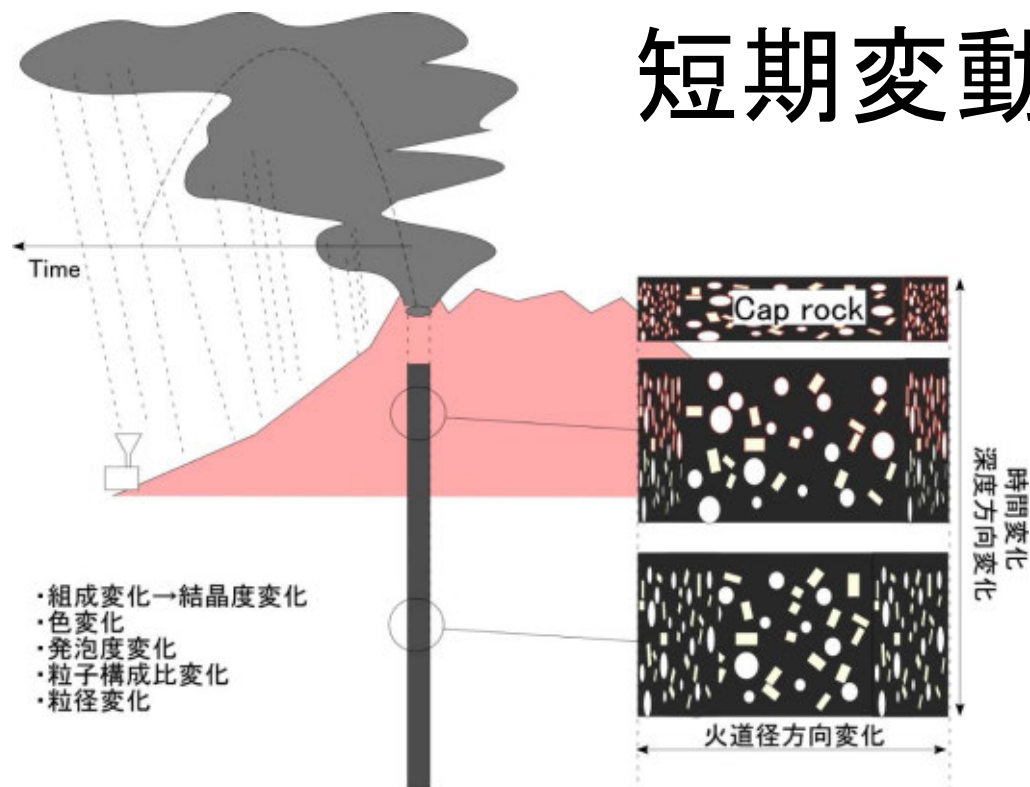
→発泡、酸化粒子の増加

- 火道内の鉛直構造反映か？

- 浅部は酸化



短期変動観測

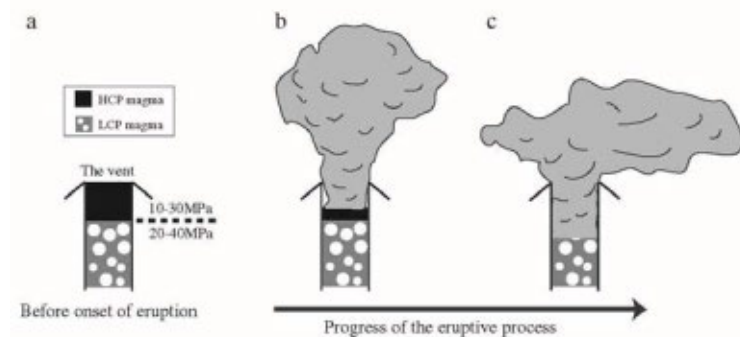
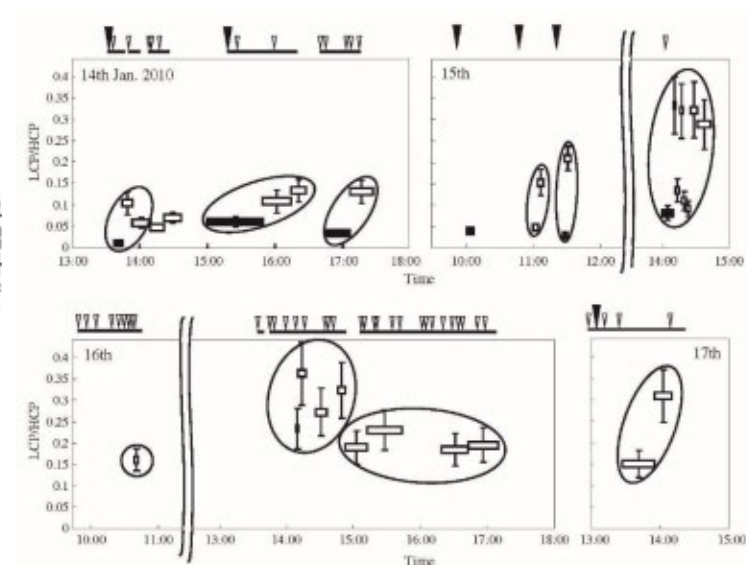


非活発時: 軽石なし→構成比変化弱、
結晶度変化?

- 自動観測化・・・
 - 中長期観測時(1ヶ月毎)に連続観測可
 - 降灰状況に対応可
 - 数分～数時間間隔で
 - 個別噴火での時間変動

→噴火推移, 火道浅部過程

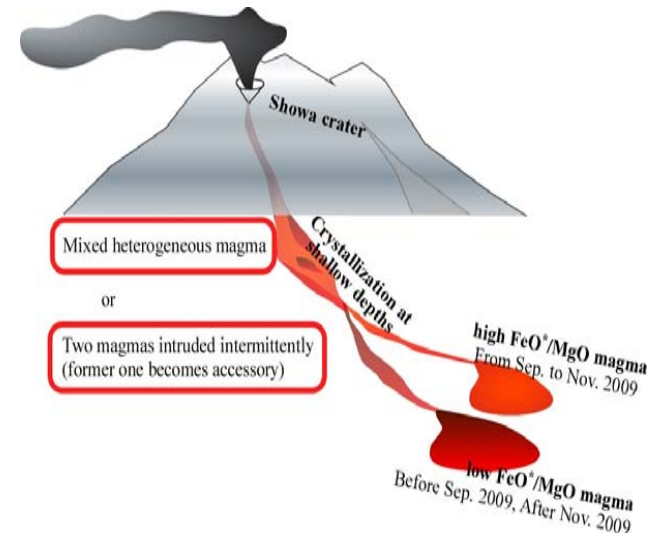
活発時: 軽石噴出→構成比変化



Miwa et al. 2013JVGR

まとめ

- 連続試料採取手法の確立
- 桜島での時系列噴出物観測
 - 昭和火口での灰放出
 - ブルカノ式～ストロンボリ式噴火
 - 2008～2013年の降灰率: 加速的增加から低下
 - 大きなバリエーション・僅かな組成時系列変化
 - 2つのマグマの繰り返し注入と混合
 - 高FeO/MgOマグマ、低FeO/MgOマグマ
 - 緩やかな測色値時系列変化
 - 黒色マグマ物質とその他さまざまな粒子との混合
 - マグマ活発時 > 低L*a*b*値
 - 噴火低頻度時～小爆発時 > L*a*b*値高め
 - 粒径による差異
 - 短時間変動—火道浅部内の構造変化推定
- 今後
 - 時系列解析, 地球物理学的変動データとの比較



連続短期変動サンプル

- 2010/1/6: 9sp
- 2010/1/6-7: 2sp
- 2010/4/2-3: 13sp
- 2010/10/31-11/1: 19sp
- 2011/5/2: 3sp
- 2011/9/18: 6sp
- 2011/10/17: 2sp
- 2012/3/31-4/2: 9sp
- 2012/10/22: 1sp
- 2012/3/5-6: 2sp
- 2012/3/8: 4sp
- 2013/1/14-15: 4sp
- 2013/2/14-16: 16sp
- 2013/3/15-16: 16sp
- 2013/8/24-25: 5sp
- その後数試料あり

まとめ・課題

- 色、粒径、形状、発泡度、密度、結晶度
- 火山現象との対比
- 温度、爆発強度、酸化還元状態、マグマ寄与率、マグマ組成、結晶化進行度
- 従来手法: 解釈のための手順
 - 特定粒径のみ着目: **代表性の評価**
 - 最多数粒径: 迅速な構成粒子比決定
 - 細粒: 色、ガラス組成→急変検知
 - 付着成分: 浅部・表面現象(ガス平衡)
 - 粗粒(数mm): 破碎度、形状、発泡度⇔不均質性
 - レキサイズ(>粗粒): 火道浅部、全岩化学組成
- 戦略—**迅速性vs正確性**
 - リアルタイムデータ取得
 - すぐに解釈可能(映像, 温度, 噴出量など)
 - すぐに解釈困難. 時間掛ければ解釈可能(鉱物組成、組成変化→温度変化やマグマの注入など)
 - 一意には解釈不可(粒径分布, 色変化)
 - リアルタイムサンプリングの長所・短所
 - リアルタイム取得ほぼ不可能, わかると強力なもの(気泡・結晶サイズ分布、)
 - **実際の変化が大きければ、引っかかるが、ここ数年の活動程度では掛からないもの(サンプリング頻度低で十分)**
- 質的データの定量化: **人為性の除去**
 - 凝集状態, 新鮮とは? → 粒子構成比
 - 形状: フラクタル次元による分類 → Miwa et al. (2015)

自動火山灰採取装置による岩石学的連続観測

1. 連続試料採取

- 有村での毎日採取は継続中(2008年2月～). 欠測は最大1ヶ月/年程度.
有村1地点の降灰量は県降灰量(月毎)と整合的.
- 黒神の隔日～毎日採取も継続(2011年4月～).
- 採取装置(SATSUMA): 来年度中に民間生産可能(?)

2. 火山灰のガラス組成

- 2010年秋迄はほぼ全日分分析(欠測除く).
2009年秋頃にはFeO*/MgO比異なるマグマ検出.
- 2010年秋以降は2-3試料/月を分析.
2011年以降は2009～10年ほどの大きな変化ない.
(2012年以降の試料は分析中)

3. 分光測色計による色変化測定

- Bulk試料: 粒子構成とほぼ整合的.
赤色酸化した粒子, 変質粒子, 新鮮な黒色粒子などの増減に概ね対応.
ただし, ばらつき大.
- 粒径による色の相違: Bulk測定の不確定性.
 $(\text{Bulk試料色 } L^*a^*b^* \text{ 値}) \propto \sum (\text{各サイズ重量\%} \times \text{各サイズ色 } L^*a^*b^* \text{ 値})$