

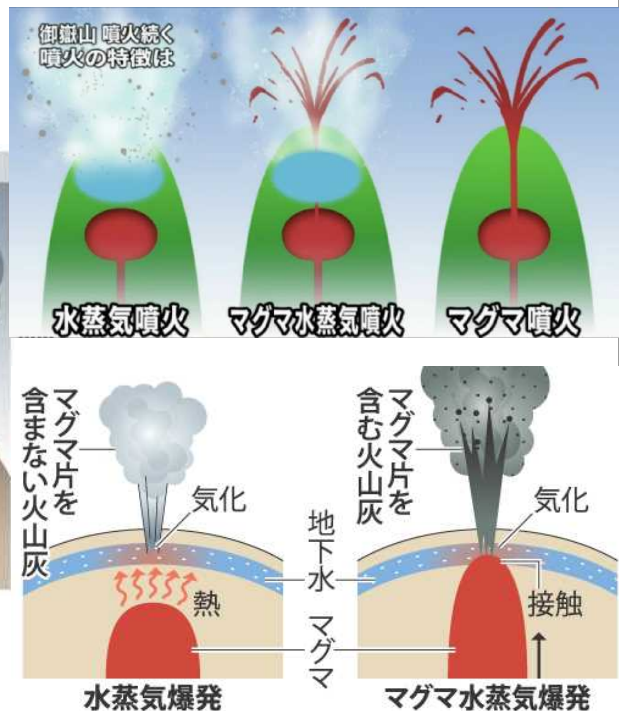
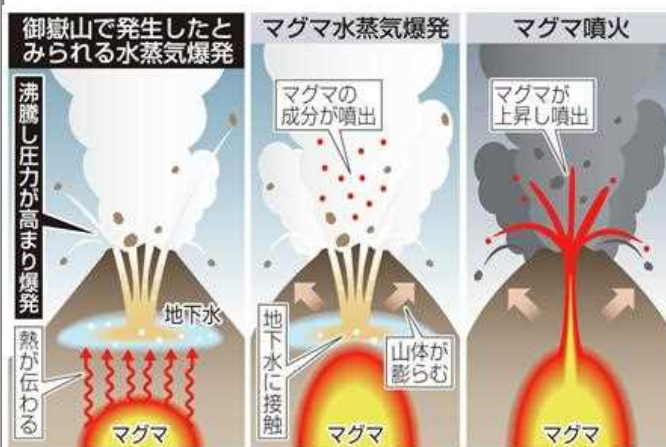
# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火



産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門  
山元 孝広

# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

最近、マスコミでよく見る概念図



これらは科学的にどこまで正しいのか？

# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## これまでの関連する研究

1983年度～1985年度

神戸大学での卒論・修論  
過去の海底火山噴出物の調査研究  
噴出した火山灰の形状解析

1989年度

地質調査所での伊東沖1989年海底噴火の対応

1991年度～1994年度

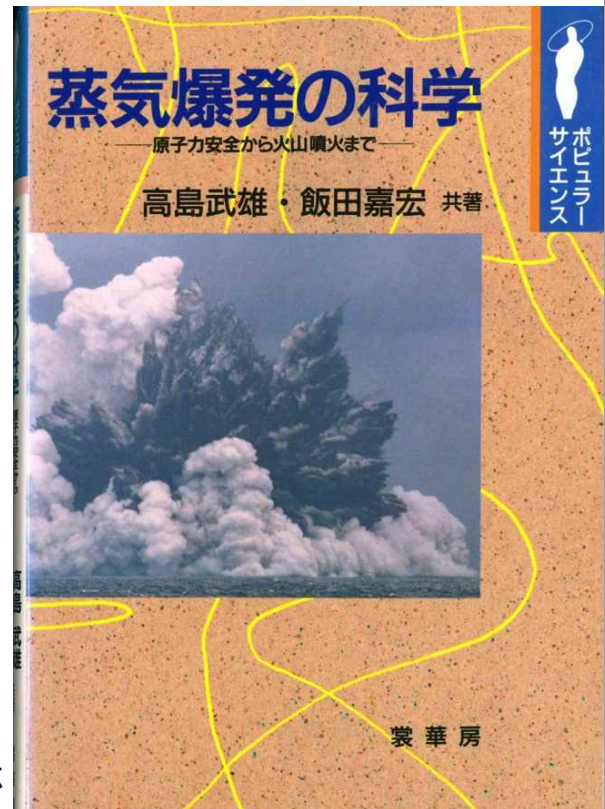
振興調整費による磐梯火山の研究

1993年度～1997年度

科研費: 蒸気爆発の動力学

1999年度～2000年度

有珠火山・三宅島の2000年噴火対応



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

3

# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## 伝熱の基本

マグマと水の温度差を  $\Delta T$ (K), 熱伝達率を  $h$ (W/m<sup>2</sup>K), 接触面積を  $A$ (m<sup>2</sup>) とすると, 両者間の伝熱速度  $Q$ (J/s) は

$$Q = hA\Delta T$$

## ライデンフロスト現象

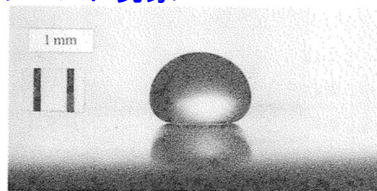
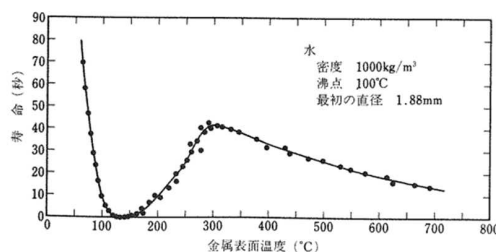


図 5-4 ライデンフロスト現象



高島・飯田(1998) 図 5-5 高温固体面上の液滴の蒸発曲線

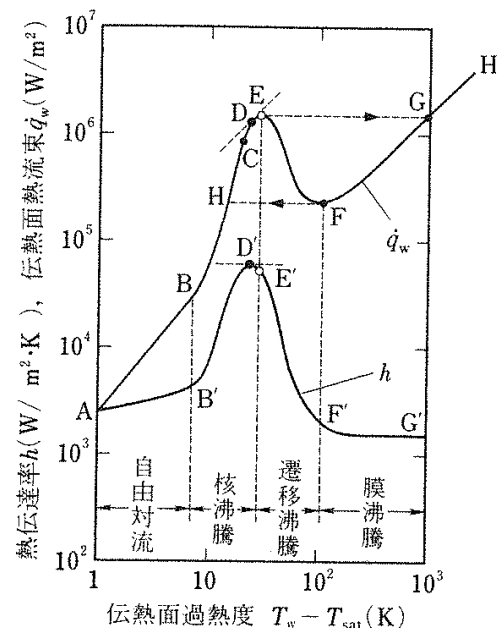


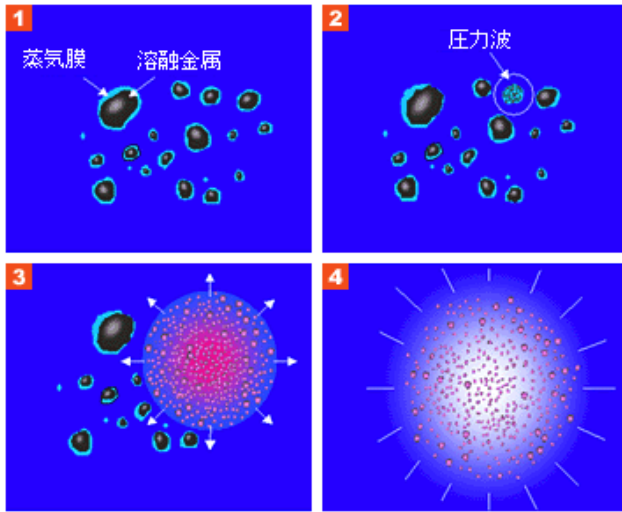
図 5-7 水の沸騰曲線

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

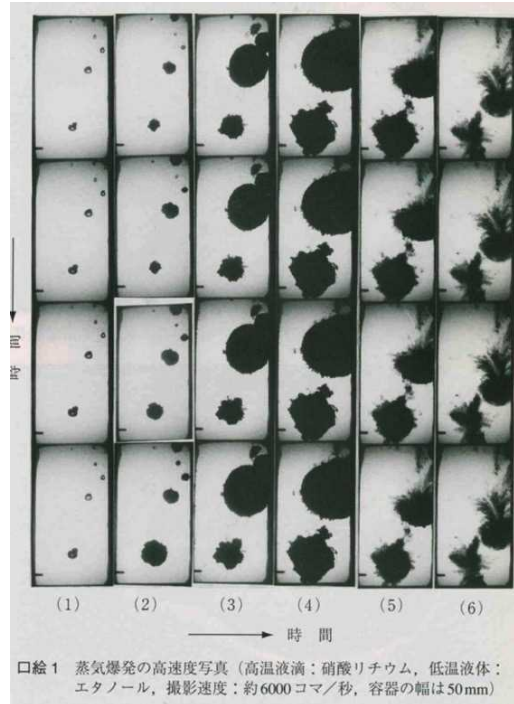
4

# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

蒸気爆発 = 高温流体と低温沸点流体間で起こる爆発的伝熱現象



粗混合した溶融金属-低沸点流体間に圧力波が伝搬する過程で、膜沸騰が破れ、溶融金属の微粒化が起きて爆発的伝熱へと至る

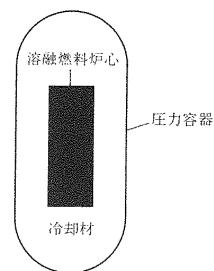


口絵1 蒸気爆発の高速度写真 (高温液滴: 硝酸リチウム, 低温液体: エタノール, 撮影速度: 約6000コマ/秒, 容器の幅は50mm)

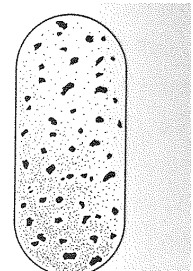
高島・飯田(1998)

# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

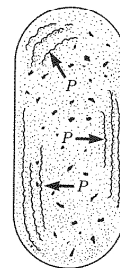
蒸気爆発の事例 = 1986年チェルノブイリ原発事故



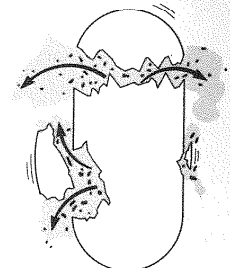
(a) 炉心過熱-燃料溶融



(b) 燃料の細粒化と相互混合



(c) 急速蒸発と衝撃圧縮



(d) 炉容器破損

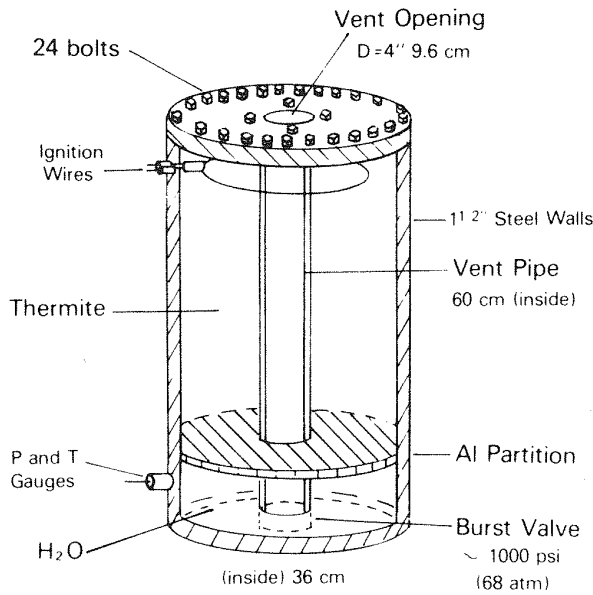
図 8-1 炉心溶融から蒸気爆発が発生して压力容器の破壊に至るまでの過程の想像図

高島・飯田(1998)



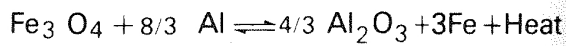
# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## ロスアラモスの蒸気爆発実験: マグマ水蒸気爆発への応用



Wholetz & MaQueen(1984)

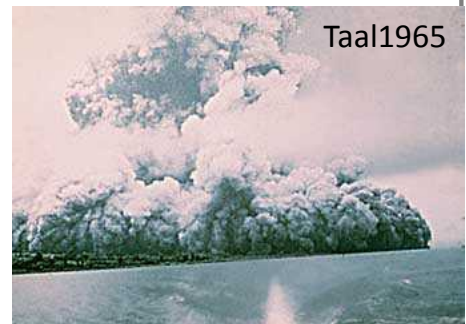
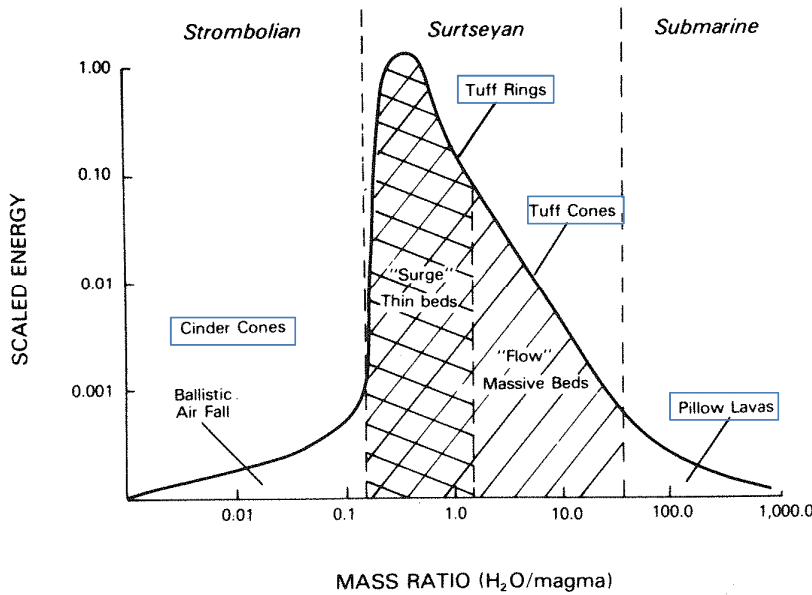
### REACTION



テルミット反応: アルミニウムは金属酸化物を還元しながら高温を発生する

# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## ロスアラモスの蒸気爆発実験: マグマ水蒸気噴火への応用



Taal1965



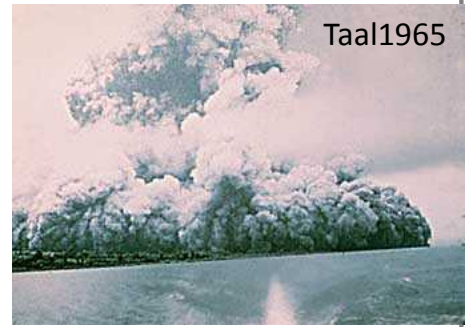
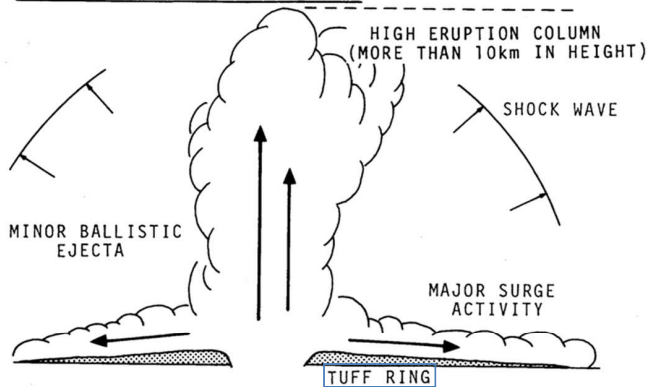
Surtsey1963

Wholetz & MaQueen(1984)

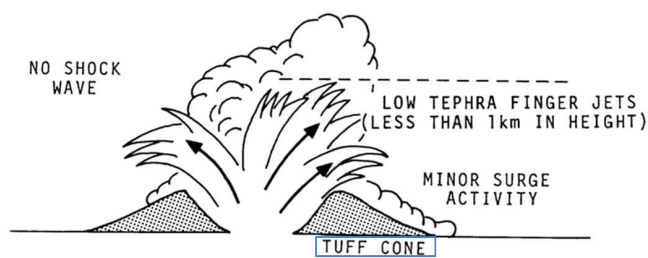
# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## マグマ水蒸気噴火の多様性

### 1) Strong phreatomagmatic explosion



### 2) Weak phreatomagmatic explosion



山元(1989)

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

9

# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## マグマ水蒸気噴火への蒸気爆発モデル適用の問題点

### 急冷によるガラス皮殻の形成

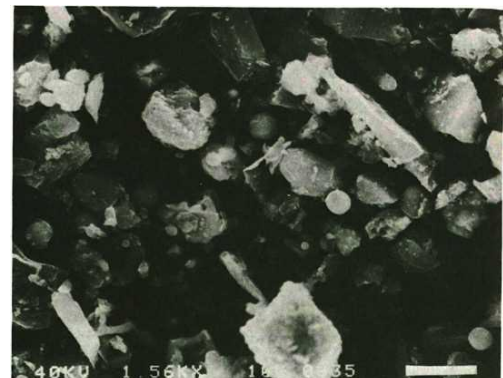
マグマの温度はソリダスに近く、僅かの温度低下で固結するため蒸気爆発が阻害される。溶岩の入水時には、希にしか爆発は起きない。

### 圧力波の伝搬によるマグマの微粒化？

マグマ水蒸気噴火の火山灰から、メルト微粒化の評価することが難しい。そもそも衝撃波を伴わないSurtseyタイプの噴火では、その効果が期待できない。

### マグマの発泡破碎の効果

マグマの発泡破碎は、マグマの表面積を急増させるが、分離した火山ガス(水蒸気)はどのように作用するのか？

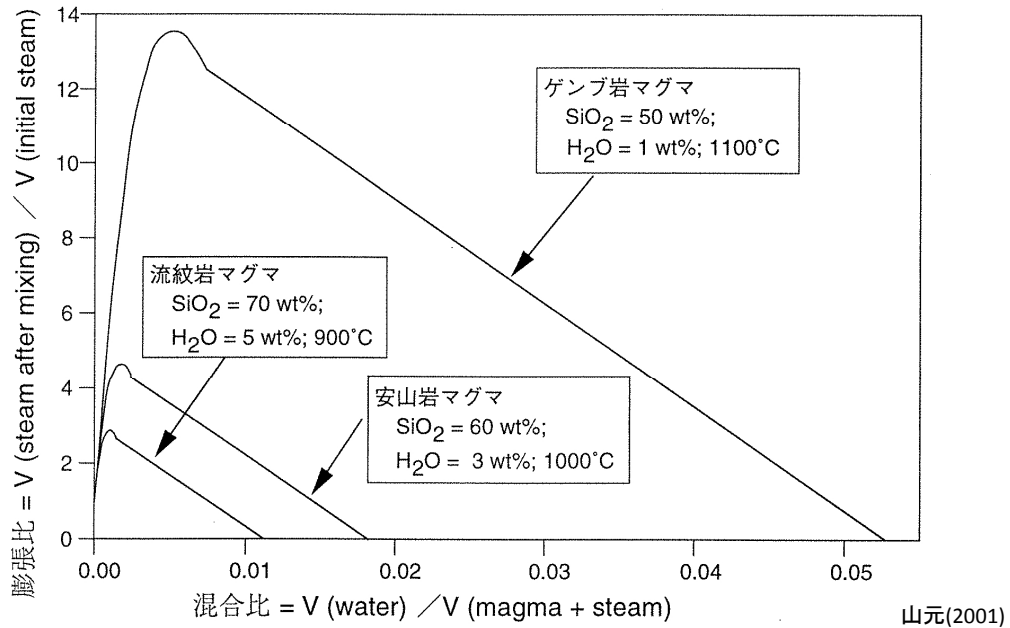


NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

10

# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## 発泡破碎したマグマと水との混合による水蒸気量の変化



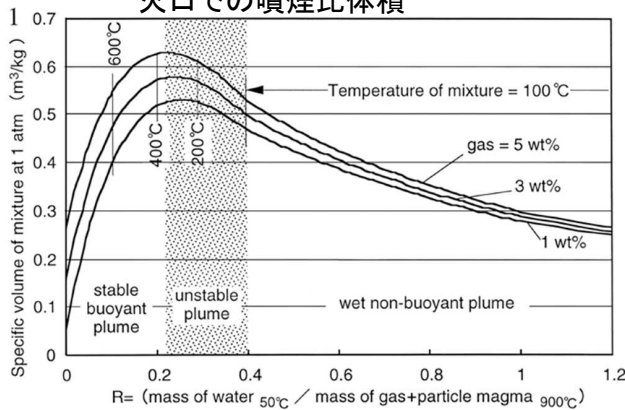
NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

11

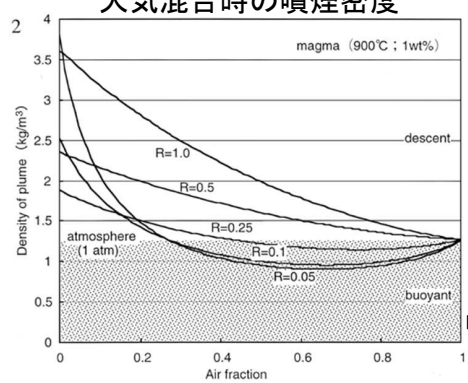
# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## マグマ水蒸気噴火の噴煙状態

火口での噴煙比体積

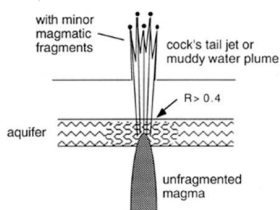


大気混合時の噴煙密度

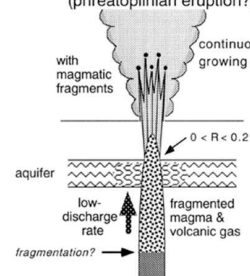


山元(2001)

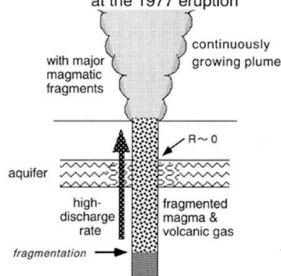
(a) phreatomagmatic eruption since April 1



(b) March 31 phreatomagmatic eruption (phreatoplinian eruption?)



(c) plinian eruption at the 1977 eruption



有珠2000年噴火の例

東宮ほか(2001)

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

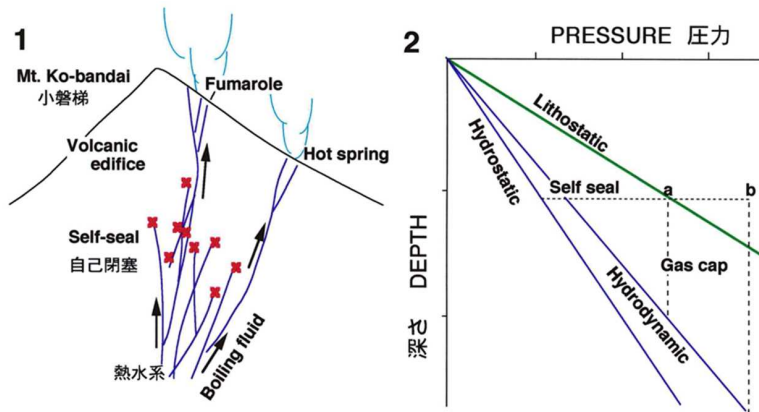
12



# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## 水蒸気噴火とは？

閉塞された熱水系の平衡状態が破られ熱水が急激に気化して起こる噴火現象。一種のボイラー爆発



割れ目を上昇してきた熱水が地表に近づき沸騰すると熱水鉱物の堆積が起きる。これは割れ目の浸透率を著しく低下させ、熱水系の自己閉塞をもたらすことになる。閉塞部の圧力は、何らかのトリガーにより噴火が触発されるまで、a点やb点に向かって上昇し続ける。山元(1994)

### ボイラー爆発(平衡破綻型蒸気爆発)の概念図

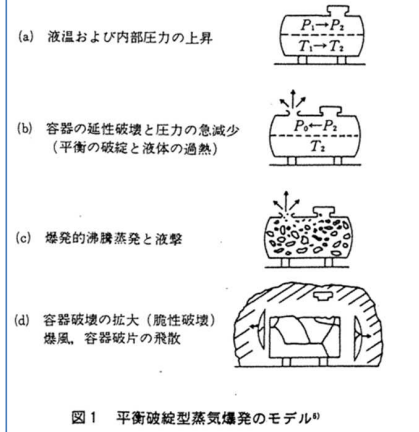


図1 平衡破綻型蒸気爆発のモデル<sup>1)</sup>

# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

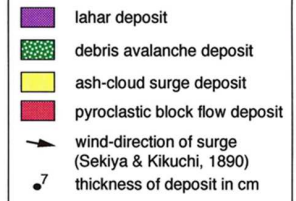
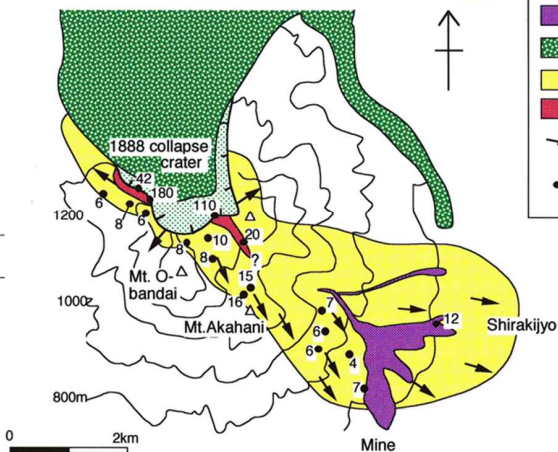
## 磐梯火山1888年噴火

### Distribution of the Bandai 1888 deposits

#### 磐梯火山1888年噴火の経緯

月 日 時刻	事件
7月8日	弱い地震
7月9日	弱い地震
7月10日	弱い地震
7月13日	中ぐらいの地震
7月14日	中ぐらいの地震
7月15日 7:00	弱い地震
7:30	強い地震
7:45	強い地震；マグニチュード5程度(Okada, 1983)
	噴火の開始；1分間に15-20回の爆発が続けざまに起こる。噴煙は1300mに上昇。最後の爆発では噴煙が水平、主に北向きに広がる。山体の北斜面が崩れ落ち、大量の岩屑が北麓になだれ落ちる。
	傘状の噴煙が5000m上空に達し、東に向かってたなびく。山麓では灰混じりの温雨が降る。
	主な噴火活動は約30分間で終了する。
16:00	降灰の停止。

Yamamoto et al. (1999)



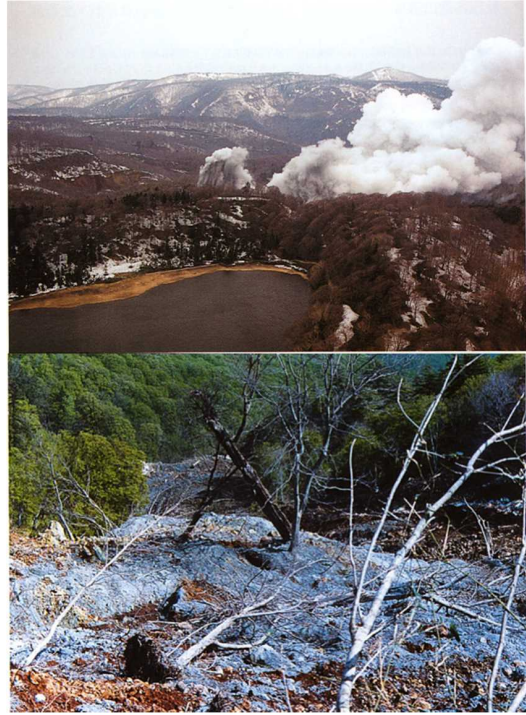
#### 磐梯火山1888年堆積物



# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

秋田県澄川温泉における地すべりと水蒸気爆発・岩屑なだれ・土石流

1997年5月11日午前8時頃に、秋田県鹿角市八幡平の澄川温泉で大規模な地すべりが発生した。この滑動時に水蒸気爆発の噴煙が目撃されるとともに、土砂は高速の岩屑なだれとなって谷を流下した。(詳しくは本文参照) <地質調査所 環境地質部 遠藤秀典・塚本 斉, 地質調査所 地殻熱部 高橋正明>



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

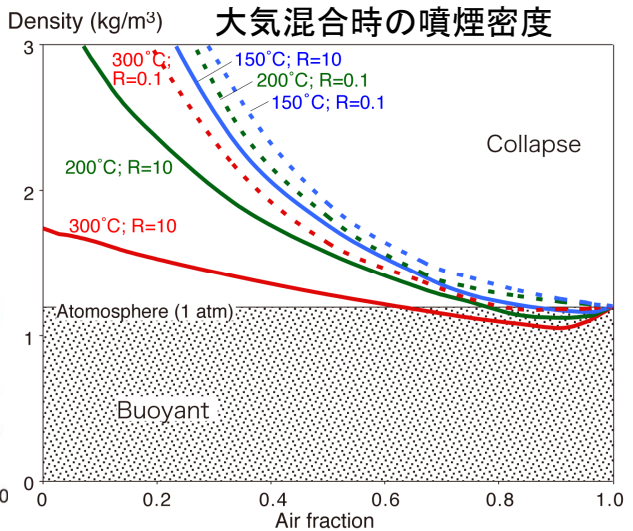
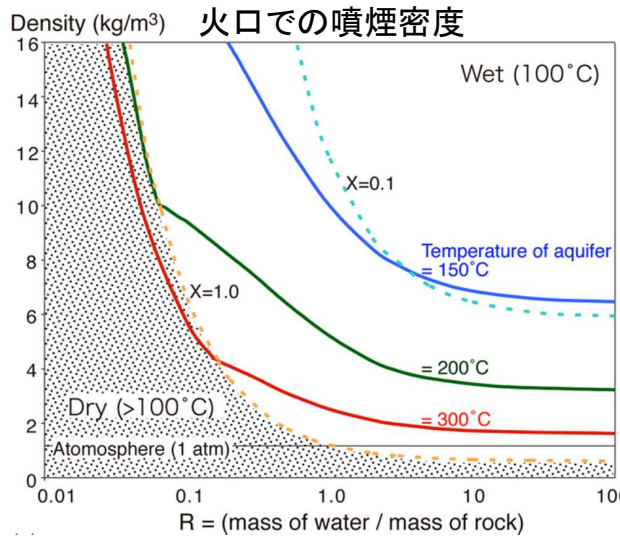
# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## 水蒸気噴火の噴煙状態

減圧に伴い過熱水が水蒸気に転移するフラッシュ率 $X$ は、減圧過程で熱の損失がないとすると

$$X = (C_w + C_r / R) (T_w - T_v) / L$$

$C_w$ は水の定圧比熱,  $C_r$ は母岩の定圧比熱,  $L$ は気化熱,  $R$ は水/破碎した母岩の質量比,  $T_w$ は自己閉塞した過熱水の温度,  $T_v$ は大気圧下での水の沸点



Yamamoto et al. (1999)

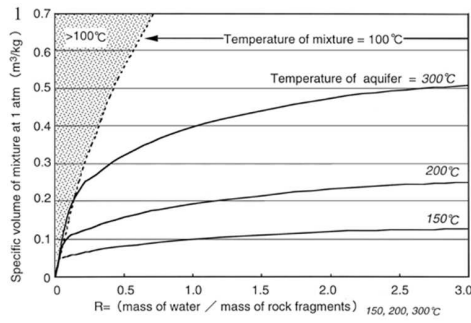
NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)



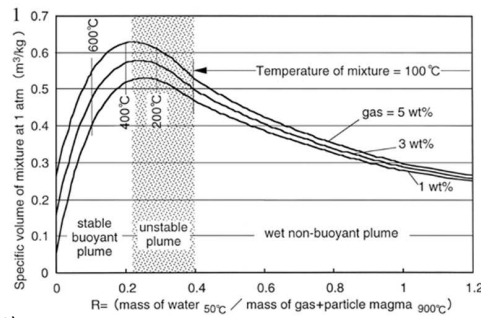
# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## 水蒸気噴火の噴煙の挙動

水蒸気噴火噴煙の比体積



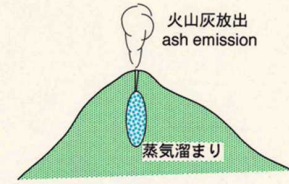
マグマ水蒸気噴火噴煙の比体積



山元(2001)

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

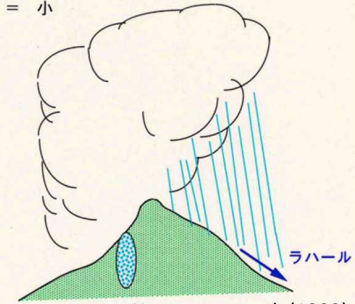
[開口部面積] / [蒸気溜まり] = 小



[開口部面積] / [蒸気溜まり] = 大  
[噴煙中の火山灰量] = 大



[開口部面積] / [蒸気溜まり] = 大  
[噴煙中の火山灰量] = 小



Yamamoto et al. (1999)

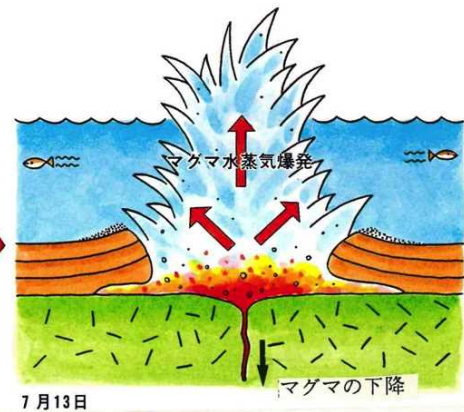
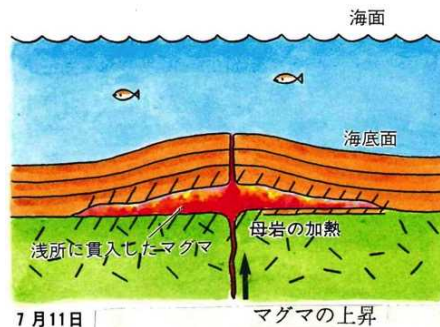
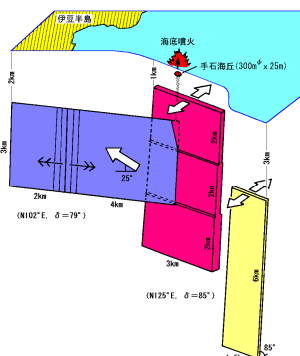
# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## 異なるタイプのマグマ水蒸気噴火: 伊東沖1989年噴火



- ・伊豆東部単成火山群が起こした海底噴火
- ・7月11日の火山性微動に伴い海底下へのマグマの貫入.
- ・噴火は7月13日に単発的に発生.
- ・特異な噴出物

1989年7月13日の海底噴火(海上保安庁)

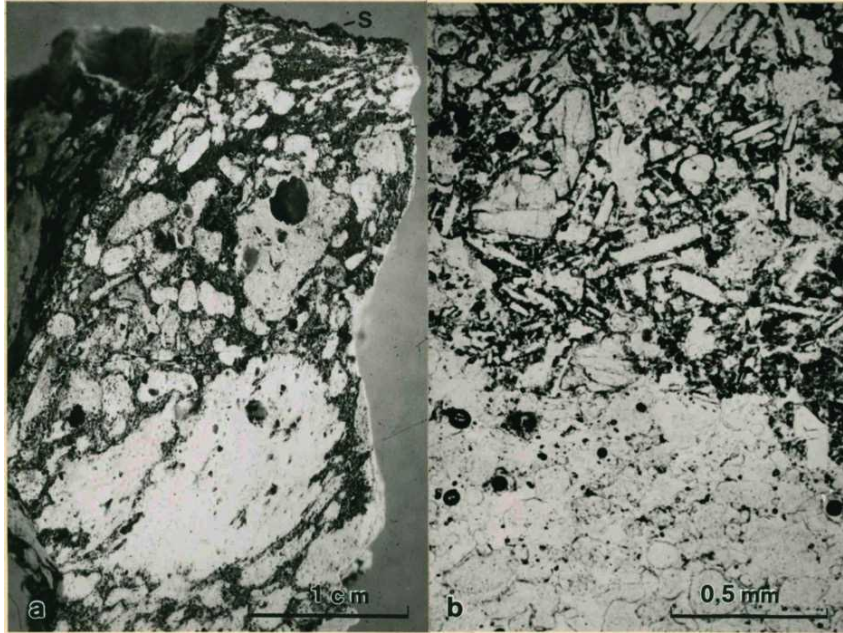


NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## 伊東沖1989年噴火の特異な噴出物

- ・流紋岩軽石＝海岸に漂着，ただしマグマ起源でない
- ・玄武岩＝結晶度が高く，大部分が海底に沈殿．一部が軽石に付着

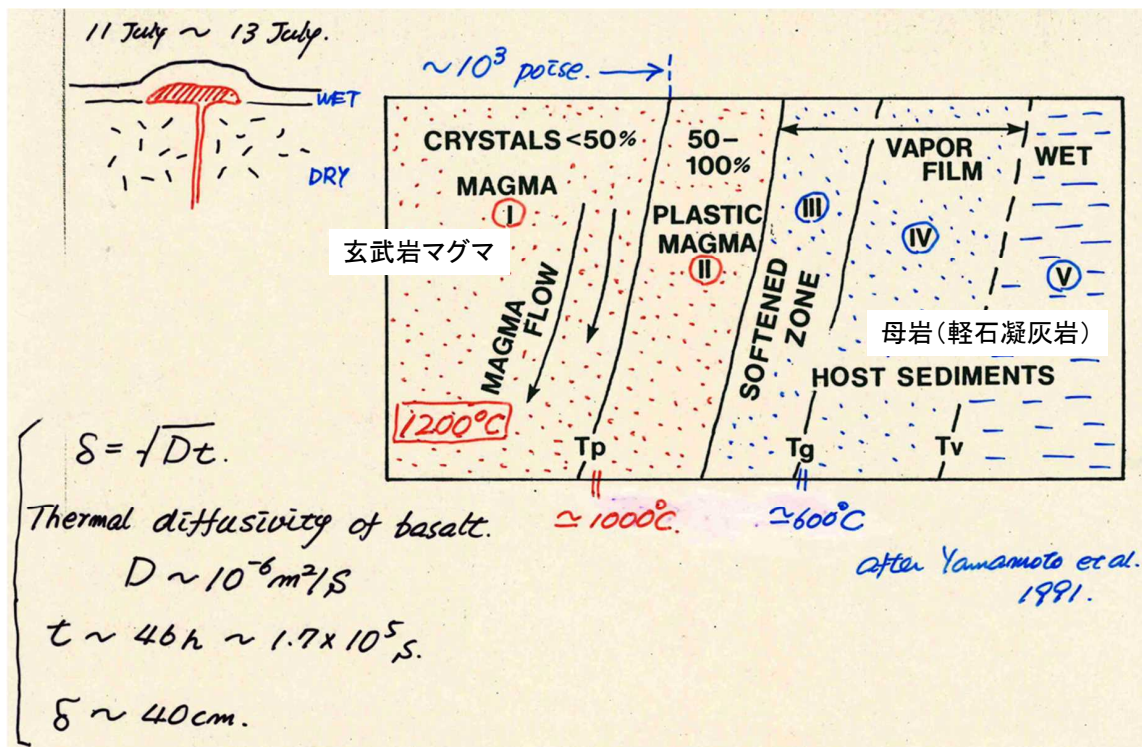


Yamamoto et al. 1991

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## 伊東沖1989年噴出物の形成モデル



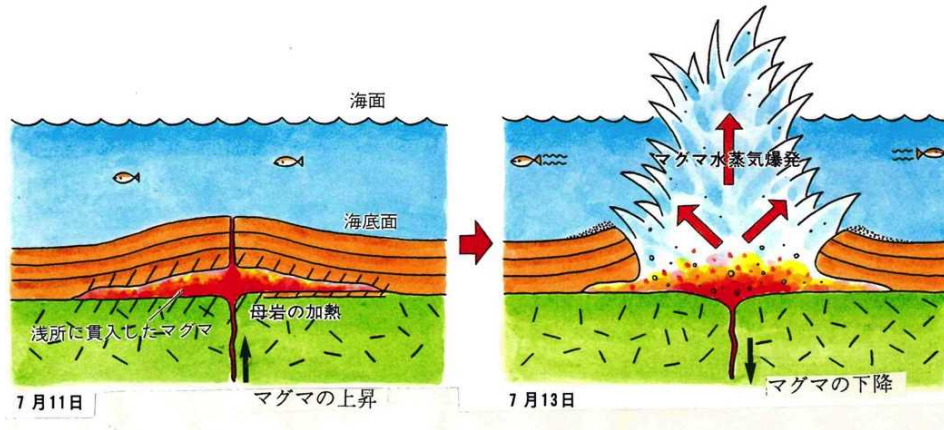
NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)



# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## 伊東沖1989年噴火は平衡破綻型のマグマ水蒸気噴火

- ・流動性を持った高温マグマ自体は噴出せず＝7月13日に新たなマグマの上昇はない
- ・冷却途中のマグマと加熱された母岩が形成＝11日-13日の間は平衡状態を保つ
- ・おそらく13日に高温マグマのドレインバックが起きたため、貫入岩体の天井がつぶれる
- ・流入した海水とマグマ皮殻+加熱母岩が混合して、マグマ水蒸気爆発を引き起こす



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

21

# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## 三宅島2000年噴火

2000年噴火では6月末からマグマの上昇と側方移動が始まった。8月からは、マグマのドレインバックによる陥没カルデラ形成が始まり、8月18日に最大規模のマグマ水蒸気噴火が発生。



S. Nakano  
Volcanoes of Japan  
GSJ, AIST

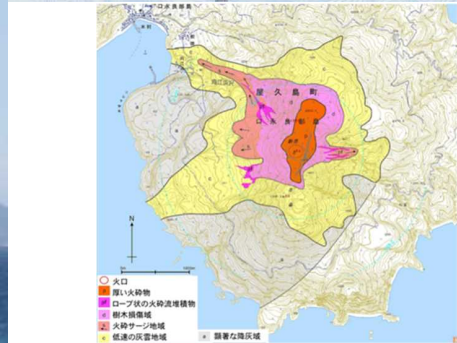
NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

22

# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## 口之永良部島2014-2015年噴火

噴出物の解析からマグマ水蒸気噴火とされたが、普通のマグマ水蒸気噴火ではない



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## 口之永良部島2014-2015年噴火

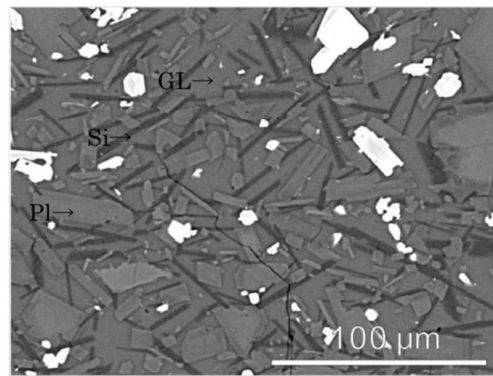
産業技術総合研究所

ガラス光沢粒子の量は2014年から2015年へと増加

2015年6月8日

口永良部島火山 2015年5月29日噴出物に含まれるガラス光沢粒子

口永良部島 2015年5月29日噴出物の約30%を占めるガラス光沢の粒子(G粒子グループ)は結晶度が高く、噴火の際には殆んど流動できない状態の岩体が破碎された物と考えられる。



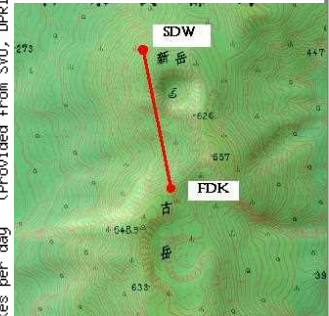
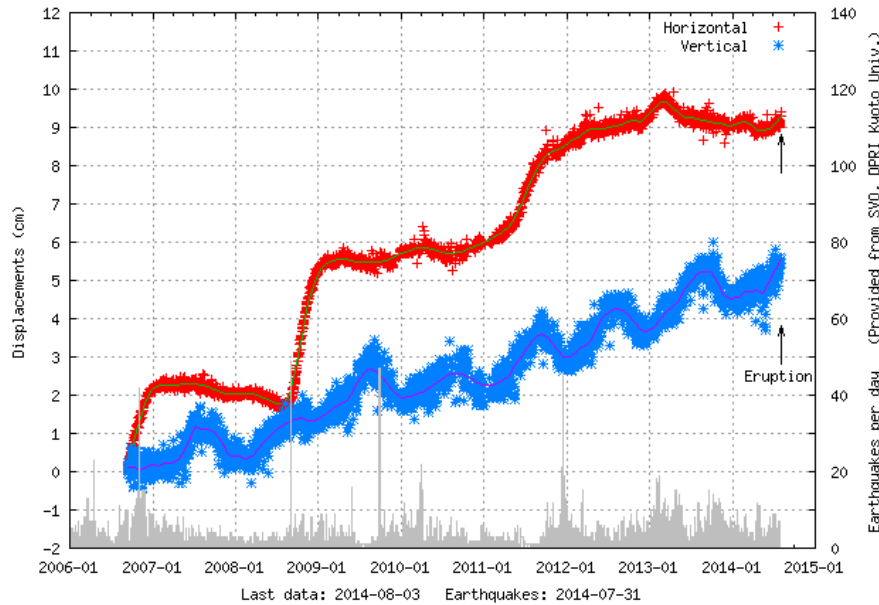
NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)



# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## 口之永良部島2014-2015年噴火

- ・2014年8月3日噴火直前には地殻変動は検出されない
- ・山頂の膨張は2006,2008,2011年に先行して起きていた.
- ・2014-2015年噴火のマグマはこの時に既におそらく貫入していた



産総研(2014)

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

25

# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## 御嶽火山2014年噴火は？

火山噴火予知連絡会

産業技術総合研究所

2014年9月30日

### 御嶽火山2014年9月噴火(9月27-28日)で降下した火山灰解析(続報)

御嶽火山2014年9月27-28日に降下した火山灰を構成する粒子は、ほぼ全てが変質岩片からなり、10%以下の弱変質の岩片及び結晶片を含む。



図 1



図 2

図 1 : 2014年9月27日火山灰の9割以上を占める、白色～灰色の変質岩片の光学顕微鏡写真(横幅約4ミリメートル)。超音波洗浄器と純水による水洗、ふるい分け後、手作業で集合させたもの。

図 2 : 2014年9月27日火山灰にごく微量含まれる(約0.7wt.%)、比較的新鮮な岩片の光学顕微鏡写真(横幅約4ミリメートル)。図1粒子と同様の前処理で集合させた。

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

26

# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## 水蒸気噴火

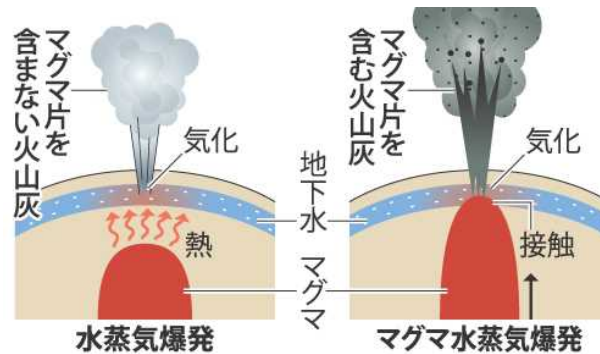
熱水が噴出して起こす噴火現象。

下図の熱のみが伝わって地下水を気化させる概念図はナンセンス。熱を運ぶのは熱水対流系であり、熱水系の平衡状態が破れて噴火に至る。

## マグマ水蒸気噴火

外来水を取り込んだマグマが起こす噴火現象。

ただし、外来水の取り込みモードは多様。少なくとも口之永良部島2014-2015年噴火は下の概念図とは合わない



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

27

# マグマ水蒸気噴火と水蒸気噴火

## 今後の課題

噴火準備過程としての熱水系の発達過程をどのように捉えるのか？

- 噴火する前の熱水系成長過程の理解が必要
- 長期の熱水系モニタリング評価
- 地熱発電所の観測データは要チェック

噴火トリガリング過程は何なのか？

- 熱水系の自己閉塞作用？
- 地震や山体変形？
- 深部からの火山性流体供給？
- マグマの上昇？

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

28