

九州の火山活動

阿蘇と桜島

京都大学

火山研究センター 大倉敬宏

1963年 7月 奈良県に生まれる. 現在55歳

1978年 5月 中学の修学旅行で阿蘇に

1991年 3月 京都大学教養部助手

1992年10月 京都大学総合人間学部助手

2000年10月 京都大学理学研究科助教授

2013年 4月 同教授

1978年5月19日撮影

京都大学火山研究センター

1928.11.10 業務開始 (昭和天皇即位の礼)
大学の火山研究施設としては日本最古

火山地域における地球物理学現象を観測・解析し、火山活動の物理機構や噴火機構と噴火予知の研究および教育を推進すること目的として設立された。

熊本県の資金援助、長陽村の土地の無償貸与

2011.12.09
国の登録有形文化財
(建造物) に

2014.3 に
耐震改修工事完了

2016.4 に
熊本地震本震により被災



普賢岳

熊本空港

外輪山

大津町

布田川断層

外輪山

南阿蘇村

火山研究センター

草千里より西を望む



阿蘇大橋





地球の

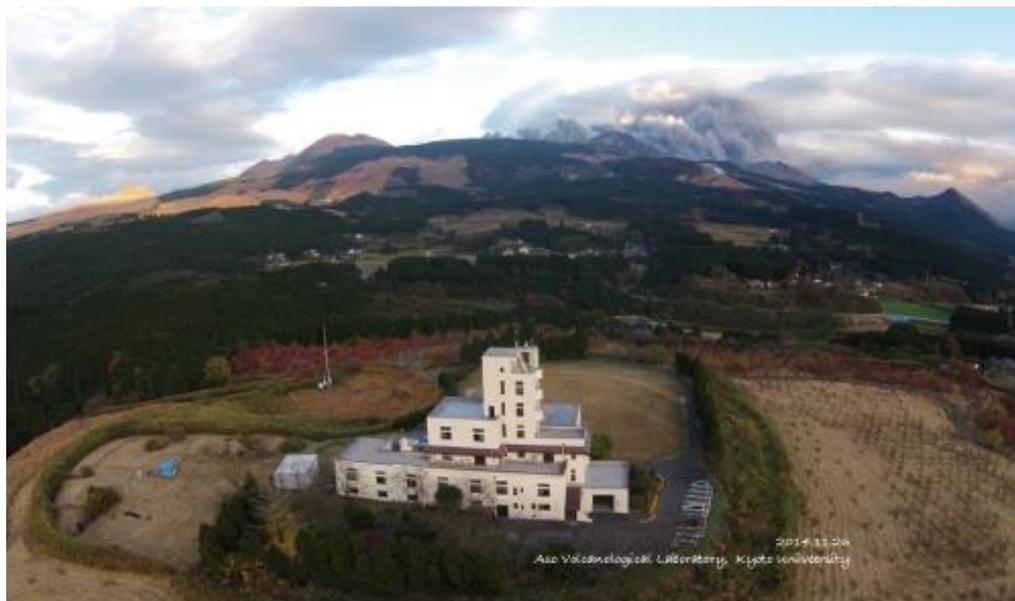


京都大学の

窓

としての研究所

としての火山



物言わぬ患者~活火山~

身体測定，腹囲測定：

水準測量，精密地殻変動観測，GPS測量

- ✓ 地下のマグマだまりが膨らむと地面も膨らみます。地面の高さや2地点間の距離を測るとその膨らみがわかります。隠れ肥満を見逃しません。

聴診：

地震観測・空振観測

- ✓ お医者さんが聴診器を体にあてて、心臓や肺などの音を聴いて診断するのと同じように、火山で生じるさまざまな振動を地震計や空振計によって捉えます。地震計や空振計が聴診器の代わりです。

GPS測量



阿蘇

水準測量



阿蘇

水準測量



桜島

精密地殻変動観測



阿蘇

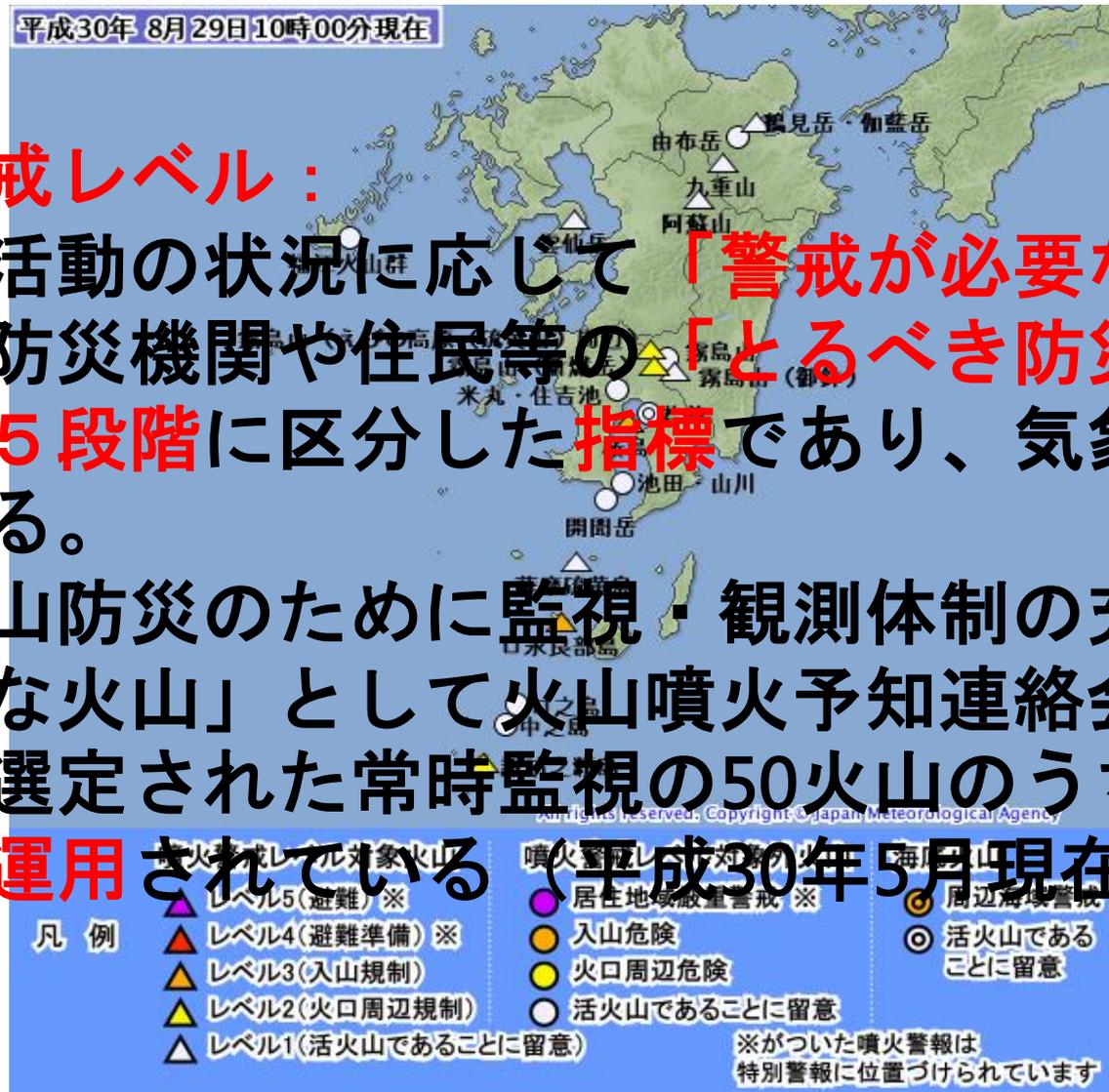
噴火警報と噴火警戒レベル

平成30年 8月29日10時00分現在

噴火警戒レベル：

火山活動の状況に応じて「警戒が必要な範囲」と防災機関や住民等の「とるべき防災対応」を5段階に区分した指標であり、気象庁が発表する。

「火山防災のために監視・観測体制の充実等が必要な火山」として火山噴火予知連絡会によって選定された常時監視の50火山のうち、41火山で運用されている（平成30年5月現在）。



九州地方の火山の噴火警報・予報（対象: 9火山、11火口）

https://www.jma.go.jp/jp/volcano/map_6.html

九州の活火山

17火山

常時監視対象9火山の過去150年間の噴火年数（気象庁）

鶴見岳・伽藍岳: 0

九重山: 1

阿蘇山: 88

雲仙岳: 7

霧島山: 27

桜島: 90

薩摩硫黄山: 10

口永良部島: 14

諏訪之瀬島: 76



日本における死者10人以上の火山災害(西暦1700年以降)

火山名	西暦年	死者・不明者	おもな死因		
浅間山	1721	15	噴石		
渡島大島	1741	1,467	岩屑なだれ・津波		
恵山	1764	多数	噴気		
桜島	1779	150以上	噴石・溶岩流	安永噴火	
桜島	1781	15	津波		行方不明者を含む
浅間山	1783	1,151	火砕流、土石なだれ、洪水		
青ヶ島	1785	約140			
雲仙岳	1792	15,188	地震・岩屑なだれ・津波	島原大変肥後迷惑	
有珠山	1822	50-103	火砕流による		
口永良部島	1841	多数	噴火による、村落焼亡		
北海道駒ヶ岳	1856	21-29	噴石、火砕流		
磐梯山	1888	461 or 477	岩屑なだれにより村落埋没		
安達太良山	1900	72	火口の硫黄採掘所全壊		
伊豆鳥島	1902	125	全島民死亡。		
桜島	1914	58 or 59	噴火・地震	大正噴火	
十勝岳	1926	144	融雪型火山泥流	大正泥流	行方不明者を含む
三宅島	1940	11	火山弾・溶岩流		
ベヨネース列岩	1952	31	海底噴火(明神礁)		第5海洋丸遭難
阿蘇山	1958	12	噴石		
雲仙岳	1991	43	火砕流		行方不明者を含む
御嶽山	2014	63	噴石		行方不明者を含む

https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/volcano_disaster.htm

に基づき作成

火山爆発指数(VEI, Volcanic Explosivity Index)

- 爆発的噴火の噴出物量に着目して噴火の規模を段階的に噴出物量が1万立方メートル以下から10兆立方メートル以上を0から8までの9段階に区分する

1万立方

1億立方

10兆立方

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 ³)	1×10 ⁴	1×10 ⁶	1×10 ⁷	1×10 ⁸	1×10 ⁹	1×10 ¹⁰	1×10 ¹¹	1×10 ¹²	
噴煙高度(km)									
火口上	<0.1	0.1-1	1-5						
海面上				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→			

2014年御嶽
2015年口永良部
2016年阿蘇

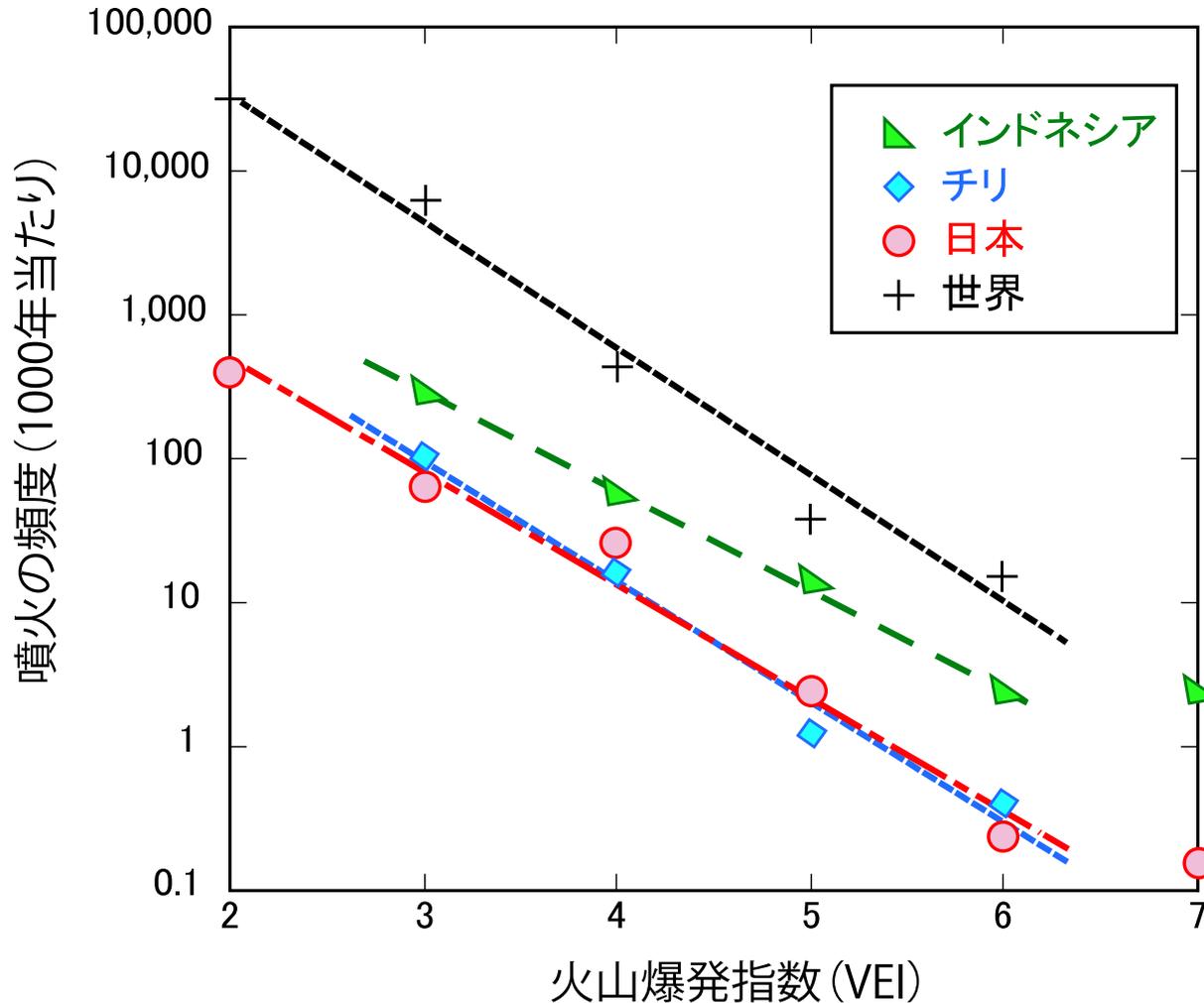
1991-1995年普賢岳
2011年新燃岳

1929年北海道駒ヶ岳
1914年桜島

阿蘇4
始良カルデラ

火山噴火の規模別頻度分布

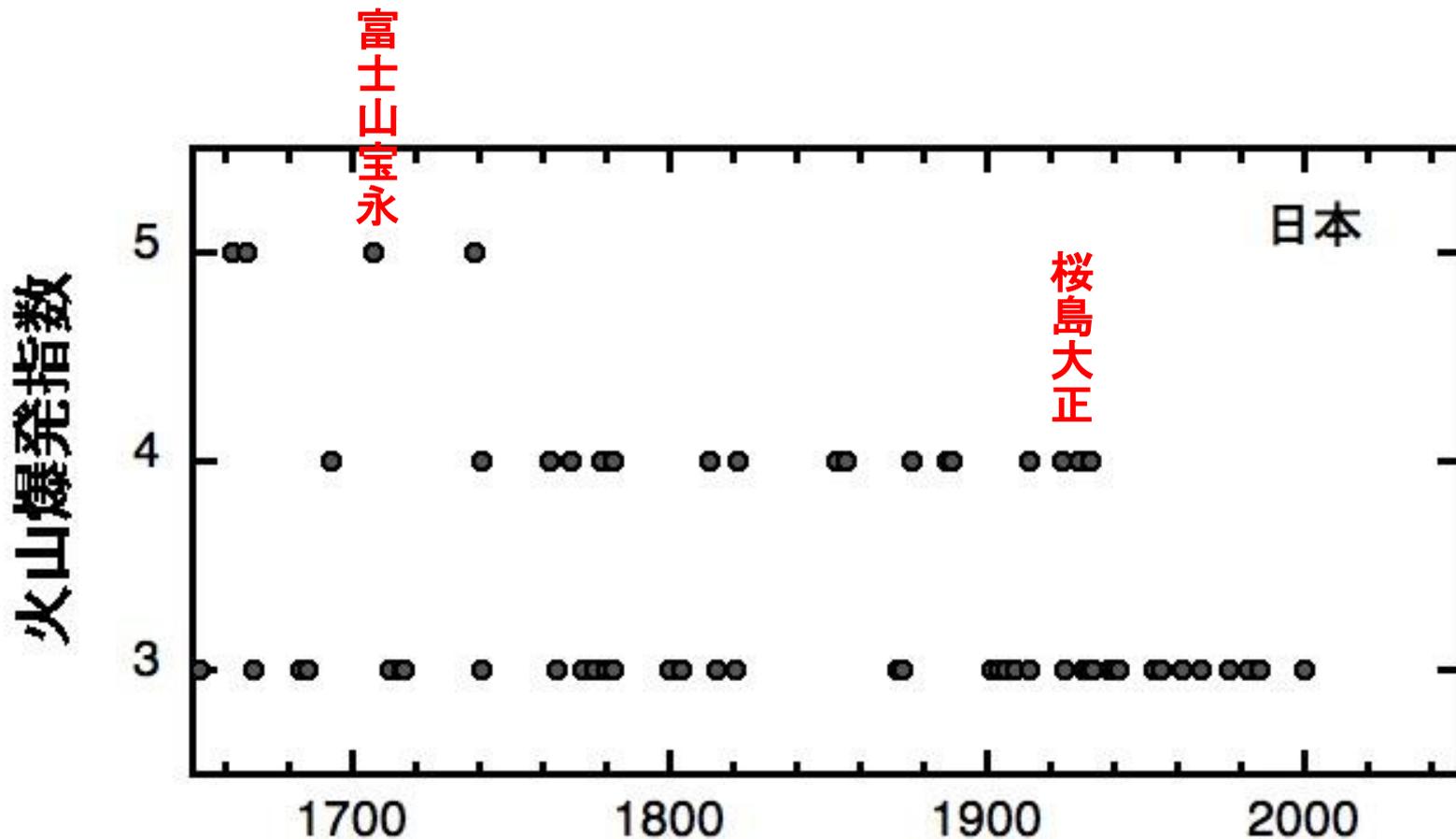
(東大・中田節也氏資料)



チリや日本では、VEI 4の大噴火が100年のうちに数回発生している
VEI 5の大噴火は数百年に一回の割合で発生している

火山爆発指数 (VEI) でみた火山活動の時代変化

(東大・中田節也氏資料)



- 日本では1742年以降VEI 5の大規模噴火が起こっていない。
- VEI 4の噴火は1926年を最後に起こっていない。

桜島大正噴火

- 1914年1月12日10:05開始（引ノ平から）
 - ✓ 約10分後に鍋山近傍からも噴火
 - ✓ 噴火開始 8 時間後にM7.1の地震発生
- 死者・行方不明者 58 or 59名（気象庁）
- 約 2km^3 （20億立方メートル）の噴出物
 - ✓ うち溶岩流が 1.3km^3 （13億立方）
 - ✓ 溶岩流により桜島と大隅半島が陸続きに
 - ✓ 20世紀に日本で発生した最大の噴火

噴煙の写真（左）と 被害等の概要（下）



引ノ平からの
噴煙

鍋山からの
噴煙

【写真1】 1月12日午前11時前、桜島の南東11.5kmの
垂水(たるみず)村(現・垂水市)から見た噴火
(Omori,1916)
×は南岳、Iは西山腹の引ノ平付近から、IIは東山腹の鍋山付近から上昇する噴煙

図および写真は石原和弘著
「20世紀最大の桜島大正噴火
とその教訓 ~桜島の噴火の歴史
-1~」(NHKそなえる防
災)より引用

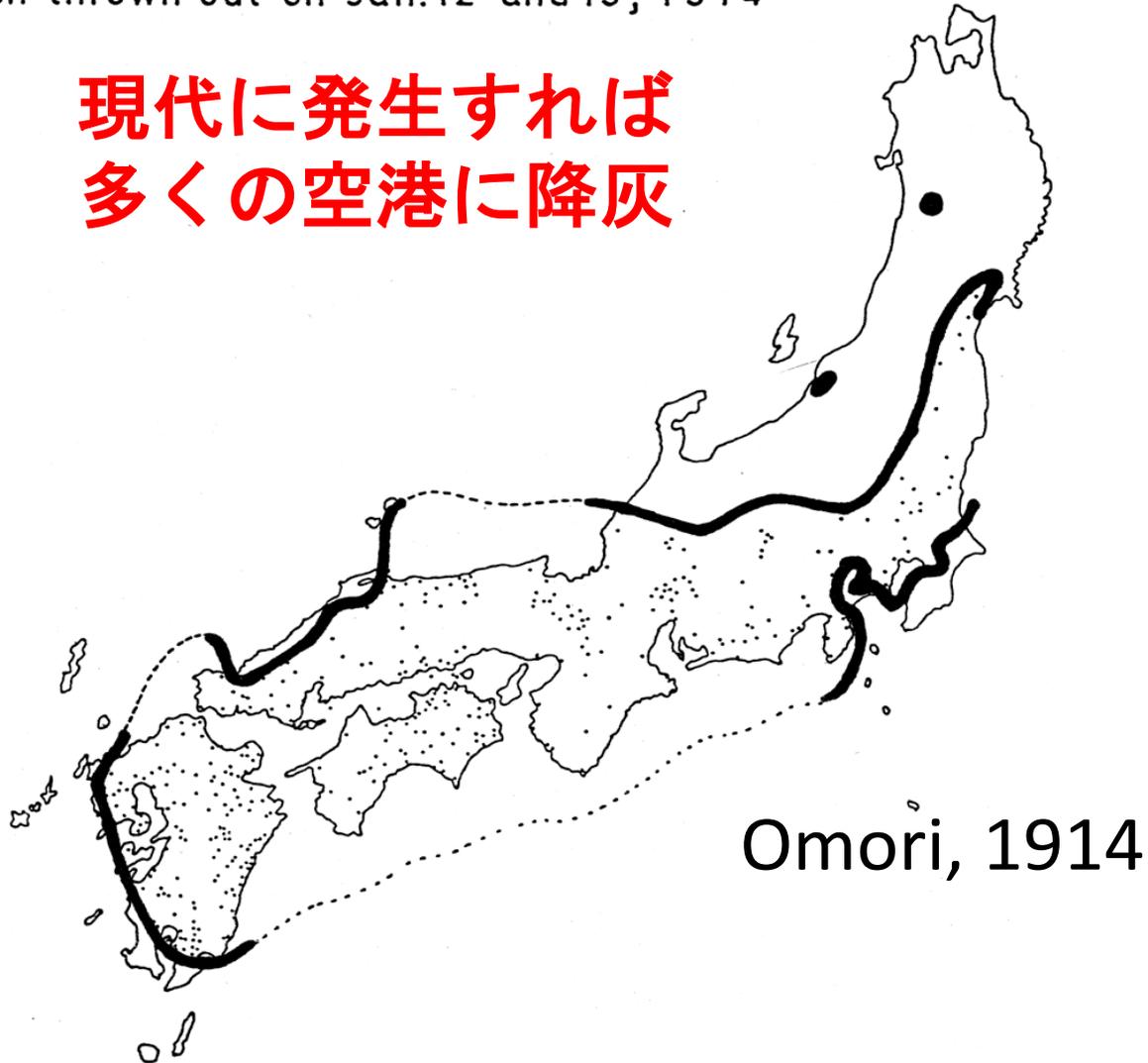


【図2】 桜島大正噴火による被害等の概要

桜島大正噴火による降灰

Map showing the Area of Precipitation of
Ash thrown out on Jan.12 and 13, 1914

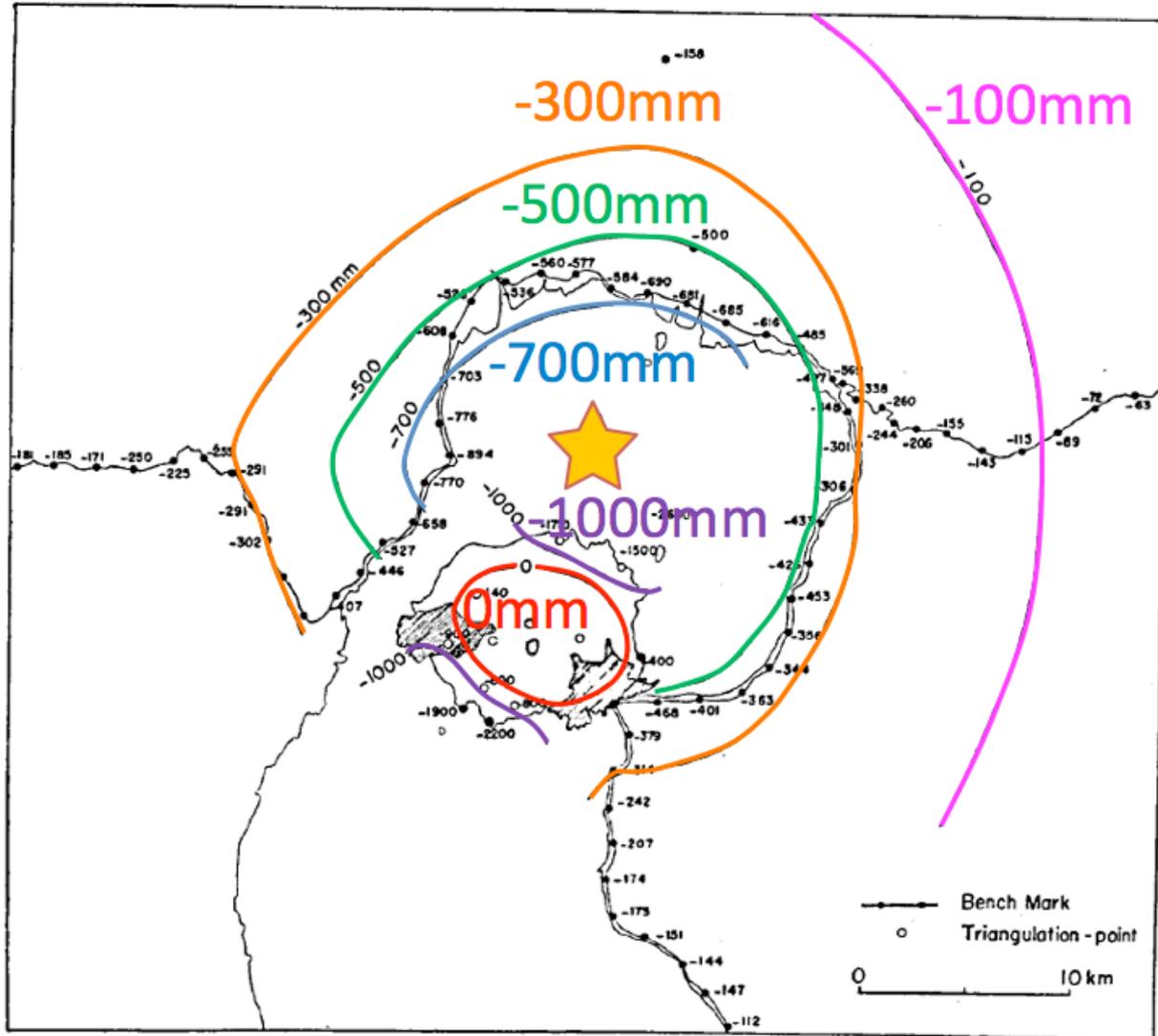
現代に発生すれば
多くの空港に降灰



桜島大正噴火による地盤の沈降

1mを越える沈降が水準測量により検出されている

鹿児島湾の約10kmに位置するマグマ溜まり（☆）の収縮で説明可能



Mogi(1958)による

BM.2469とBM.2474の高さの差の時間変化

(BM2474: 始良カルデラの中心に近い水準点
→ 始良カルデラの隆起・沈降を表す)

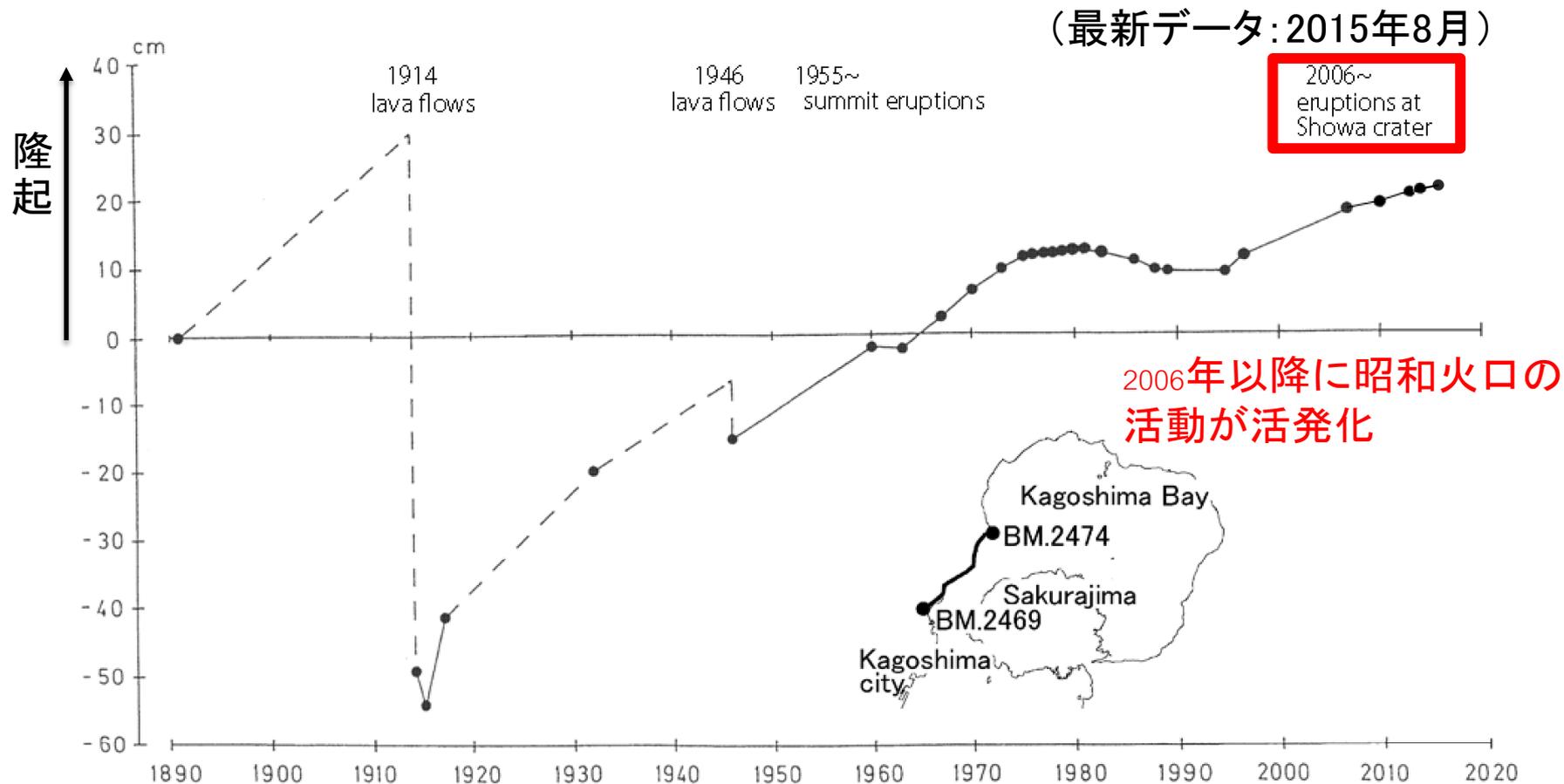


Fig. 1 Secular changes of relative heights of BM.2474 referred to BM.2469 and volcanic activity at Sakurajima.

(江頭・他, (1997) の Fig. 1 に加筆)

BM.2469とBM.2474の高さの差の時間変化

✓活動期に地盤の**沈降**、静穏期に**隆起**

• マグマ**放出**と**蓄積**

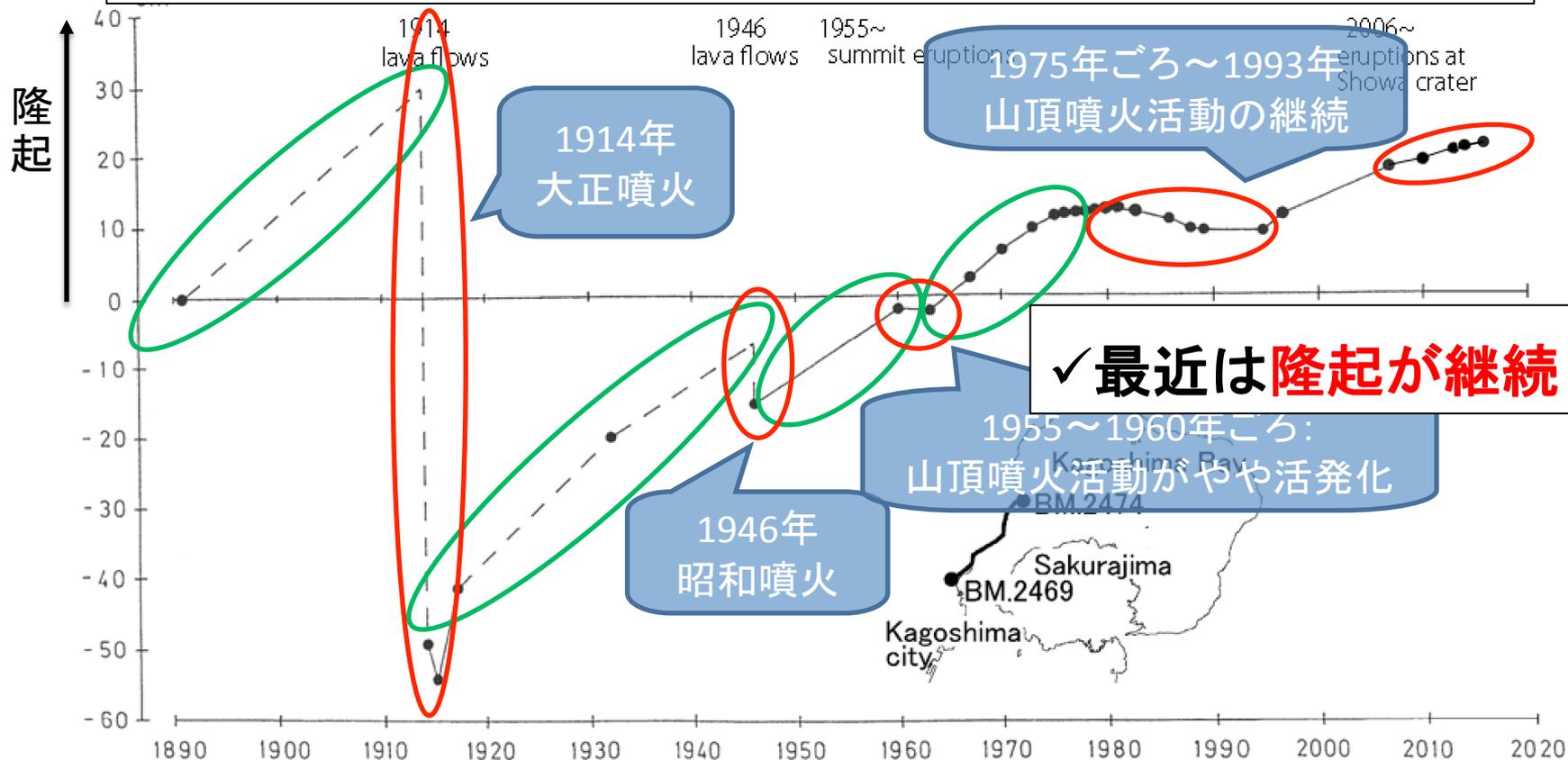


Fig. 1 Secular changes of relative heights of BM.2474 referred to BM.2469 and volcanic activity at Sakurajima.

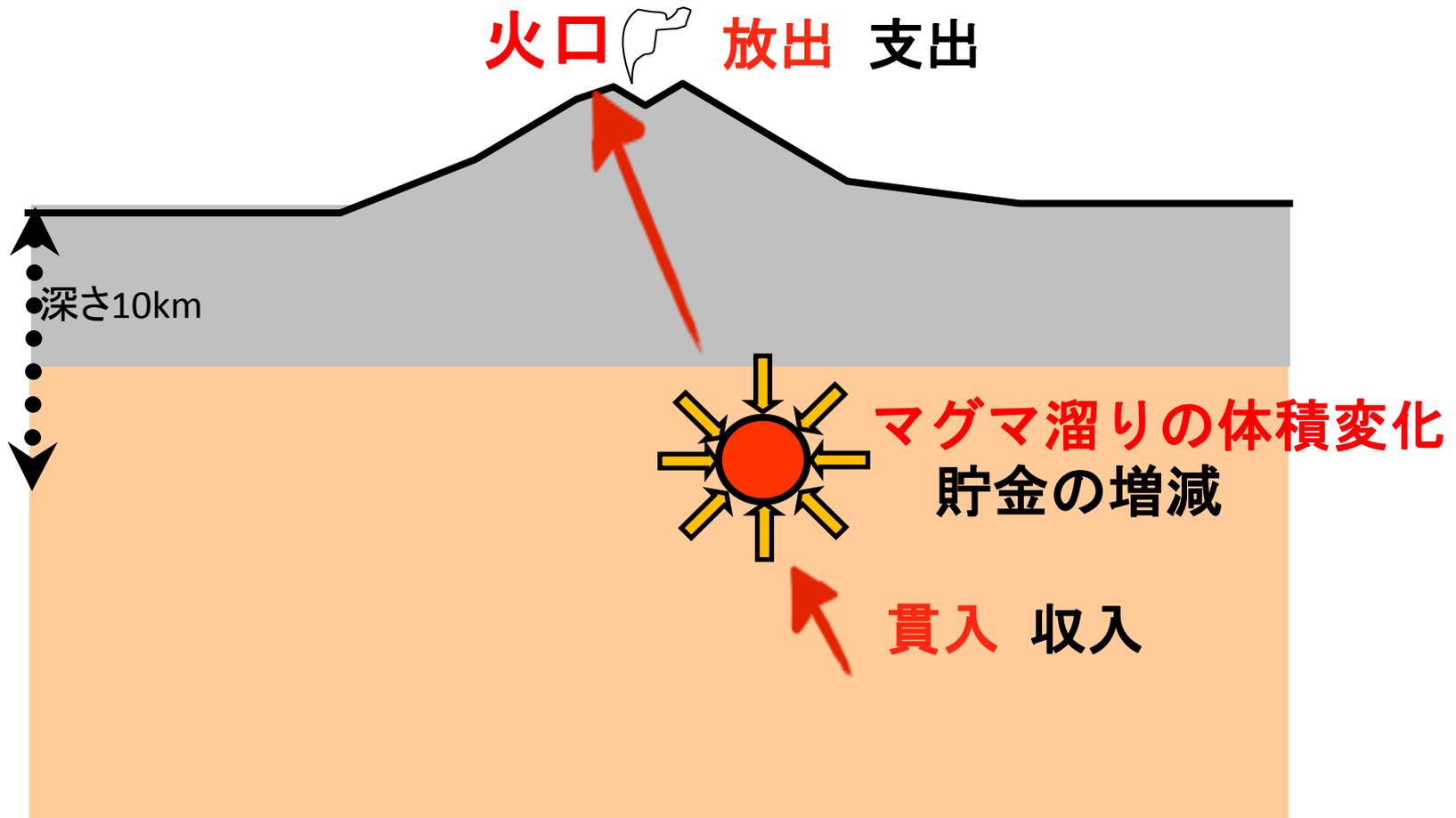
(江頭・他, (1997) の Fig. 1 に加筆)

マグマの収支

OUTPUT: マグマ(火山灰など)放出による減少

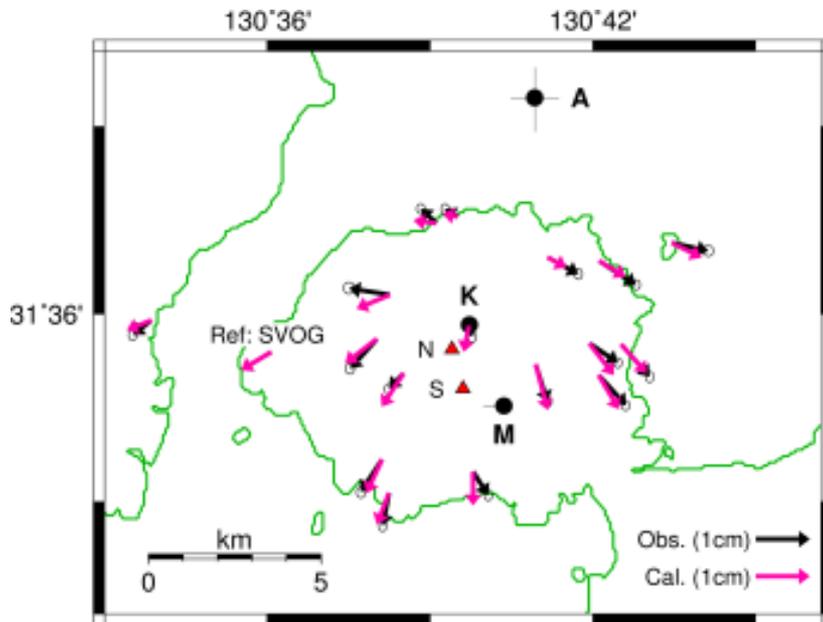
INPUT: マグマ貫入量

マグマ溜りの体積変化



2011年に観測された地盤変動

GPSと精密地殻変動データ(傾斜、ひずみ)の併合処理の結果



A-source

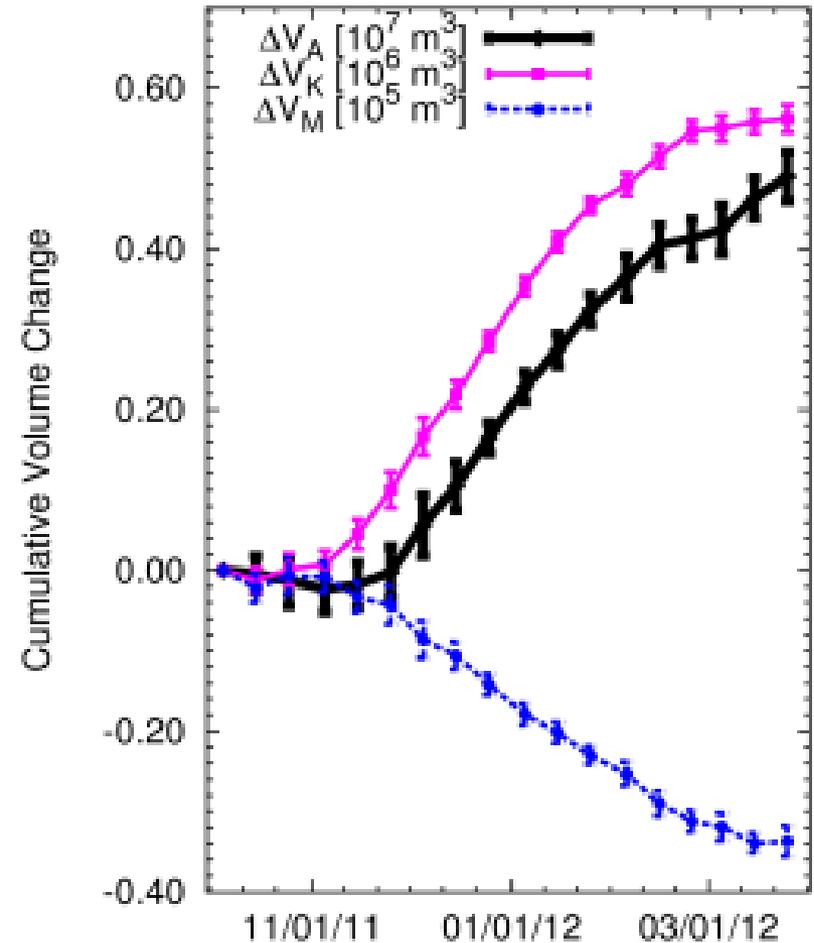
$d=9.6$ (-0.4, +0.5) [km] / $\Delta V=+5.07 \pm 0.69$ [10^6 m³]

K-source

$d=3.3$ (-0.1, +0.1) [km] / $\Delta V=+0.57 \pm 0.04$ [10^6 m³]

M-source

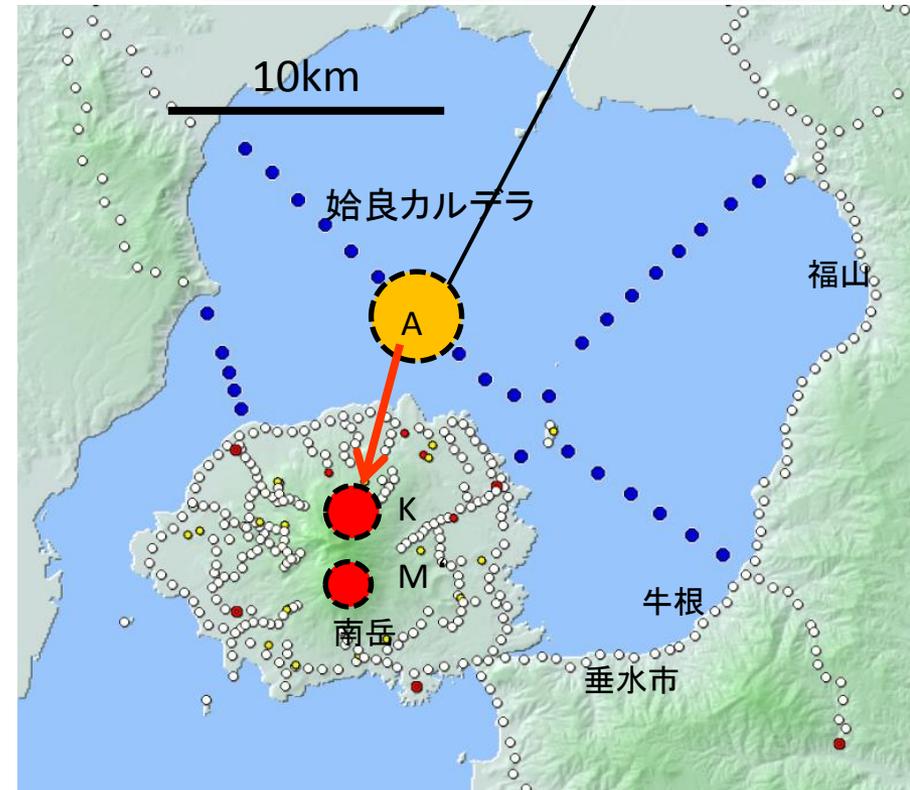
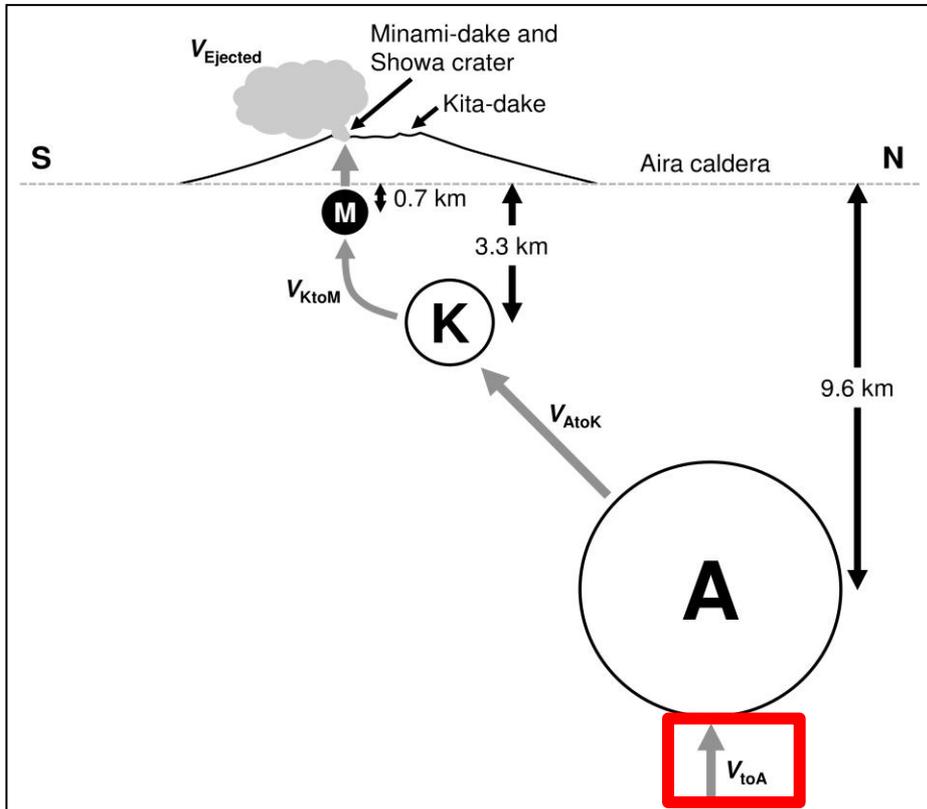
$d=0.7$ (-0.2, +0.5) [km] / $\Delta V=-0.34 \pm 0.05$ [10^5 m³]



Hotta et al., 2014

マグマの収支

主マグマ溜り
1993年以降蓄積進行



1年あたり約1400万 m^3 のマグマ貫入

大正噴火以降のマグマ蓄積量

始良カルデラの隆起が継続
1914年噴火前の8割以上のマグマが回復
大規模噴火の準備が進行中

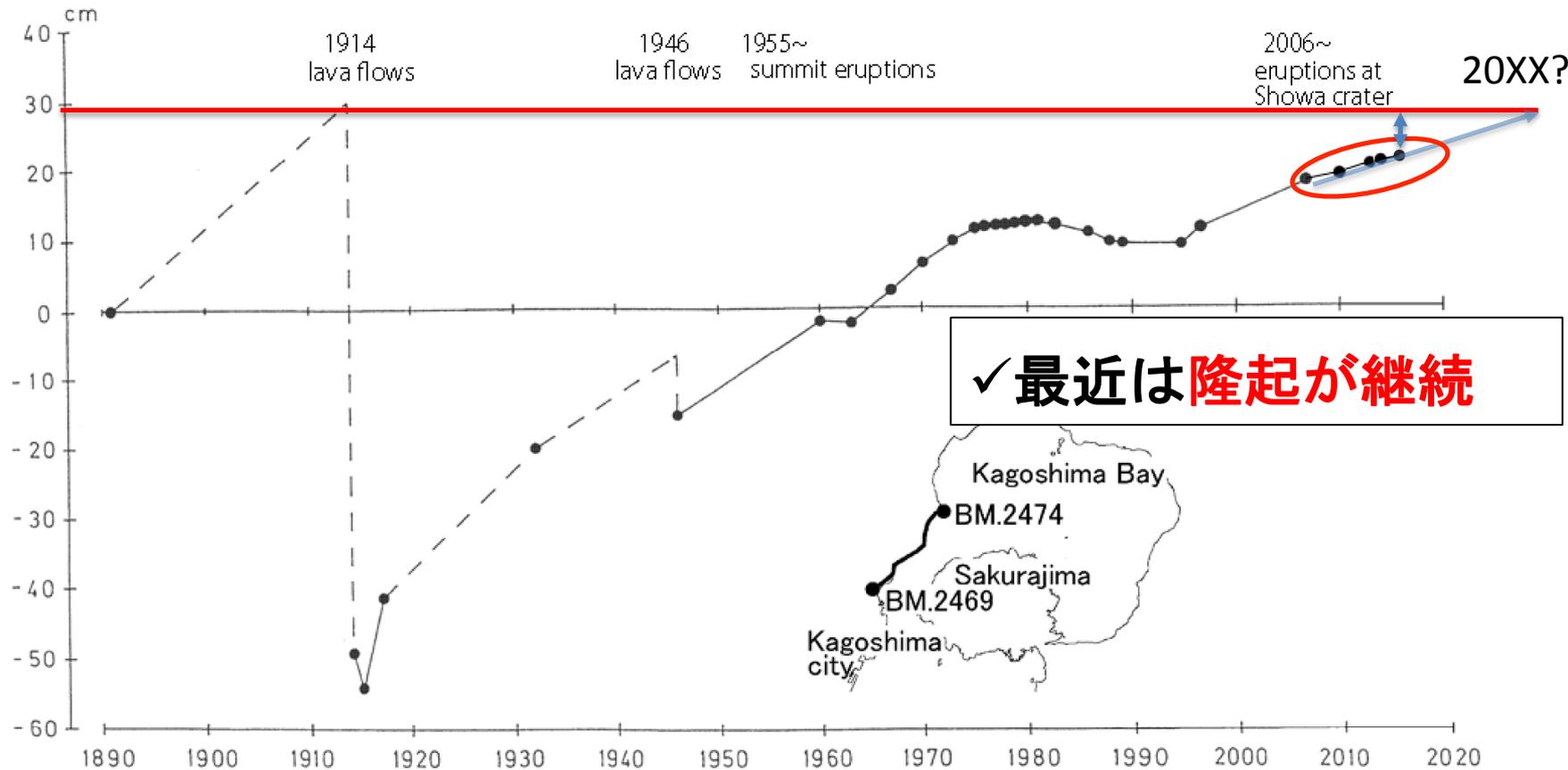


Fig. 1 Secular changes of relative heights of BM.2474 referred to BM.2469 and volcanic activity at Sakurajima.

(江頭・他, (1997) の Fig. 1 に加筆)

桜島まとめ

- ✓大正噴火（1914）は20世紀日本最大規模の噴火
 - 大量のマグマ放出と地盤の沈降
- ✓活動期に地盤の沈降、静穏期に隆起が観測される
 - マグマ放出と蓄積 マグマ収支
- ✓最近の始良カルデラは隆起継続
 - 1年あたり約1400万m³のマグマ貫入
 - 大正噴火で消費されたマグマの8割以上が回復
 - 大規模噴火へのそなえが必要

火山爆発指数 (VEI, Volcanic Explosivity Index)

- 爆発的噴火の噴出物量に着目して噴火の規模を段階的に噴出物量が1万立方メートル以下から10兆立方メートル以上を0から8までの9段階に区分する

1万立方

1億立方

10兆立方

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 ³)	1×10 ⁴	1×10 ⁶	1×10 ⁷	1×10 ⁸	1×10 ⁹	1×10 ¹⁰	1×10 ¹¹	1×10 ¹²	
噴煙高度 (km)									
火口上	<0.1	0.1-1	1-5						
海面上				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→			

2014年御嶽
2015年口永良部
2016年阿蘇

1991-1995年普賢岳
2011年新燃岳

1929年北海道駒ヶ岳
1914年桜島

阿蘇4
始良カルデラ

阿蘇カルデラ

25 km

中岳火口



中央火口丘群

カルデラの標高差: 0.3~0.6km

マグマ溜まりの広さをカルデラ全面とするとその厚みは

$$200 / (18 \times 25) \doteq 0.44 \text{ km}$$

18 km

- 18 km x 25 km, 50,000人が暮らす。世界最大級。
- **4回の大規模噴火** (約27万年前, 約14万年前, 約12万年前, 約9万年前)。
- 約9万年前の噴火では少なくとも**200 km³** のマグマが放出され、カルデラが形成された。
- 2014年11月~2015年5月までのマグマの総放出量はおよそ**0.001 km³**

噴出物層序から明らかになった中央火口丘噴火史の概要

現在

中岳, 大規模なマグマ水蒸気爆発: 約1,500年前

米塚, スコリア噴出(火砕丘形成, ストロンボリ式噴火)と溶岩流出: 3300年前

往生岳, スコリア噴出(火砕丘形成, 準プリニー式噴火)と溶岩流出: 3600年前

杵島岳, スコリア噴出(火砕丘形成, 準プリニー式噴火)と溶岩流出: 4000年前

蛇ノ尾, 軽石噴出(準プリニー式噴火)と溶岩流出: 4100年前

蛇ノ尾, スコリア噴出(火砕丘形成, ストロンボリ式噴火): 4900~4300年前?

中岳, 溶岩の流出(新期山体の溶岩): 約5,000年前?

中岳, 溶岩流出(中岳新期山体溶岩): 8000年前?

灰噴火を主体とする小規模な噴火活動

約13,000年前

蛇ノ尾

米塚

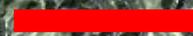
往生岳

杵島岳

中岳

カシミールを用いて作図

1km



近年の阿蘇山の火山活動概要

火山の型式	成層火山, 火砕丘
主な岩石	デイサイト, 安山岩, 玄武岩
主な噴火災害記録	1932年 12月 17日-19日 ストロンボリ式噴火 負傷者13 1933年 2月, 3月 ストロンボリ式噴火 1933年-1937年, 1939年-1951年 (毎年頻繁) 噴火 1953年 4月 27日 噴火:降灰 死者 6(観光客) 1953年, 1954年, 1955年, 1957年 噴火:降灰 1958年 6月 24日 マグマ水蒸気噴火:降灰, 火砕流 死者 12(噴石による) 1958年-1963年 (毎年頻繁) 噴火 1965年 10月から(2ヶ月間) 噴火:降灰 1974年-1975年 (頻繁) 噴火:降灰 1977年 4-7月, 11月 噴火:降灰 1979年 6月から(2ヶ月間) ストロンボリ式噴火 1979年 9月 マグマ水蒸気噴火:降灰, 小規模火砕流 死者 3 1979年-1980年, 1984年-1985年, 1988年-1995年 (毎年頻繁) 噴火:降灰 1997年 11月 23日 中岳火口付近で火山ガス事故 死者2名 2003年7月10日, 2004年1月14日, 2005年4月14日 ごく小規模な噴火:ごく少量の降灰

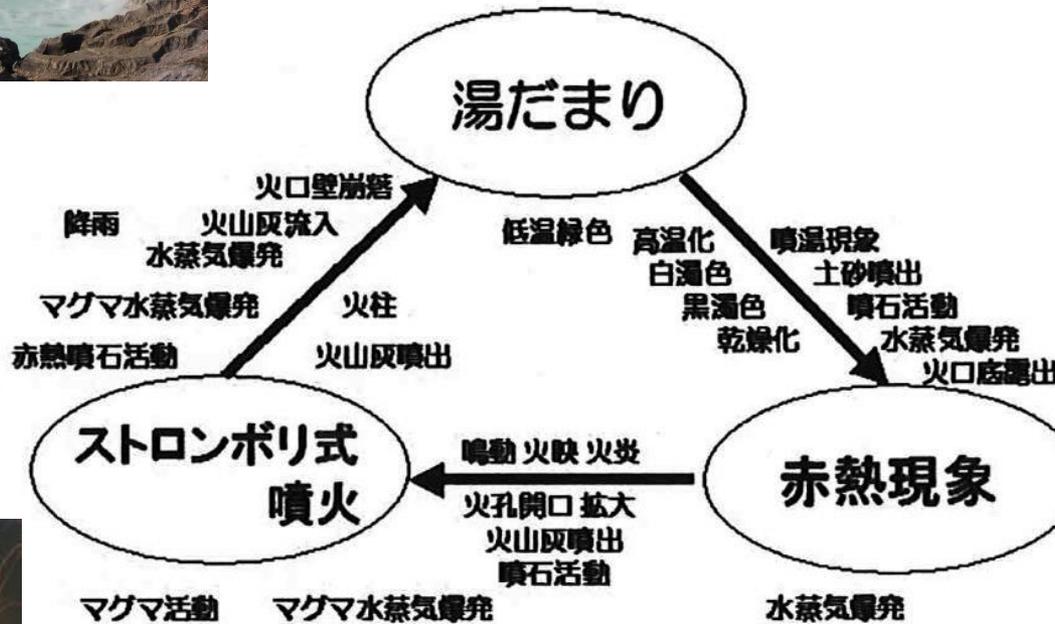
http://riodb02.ibase.aist.go.jp/strata/VOL_JP/active_v.htm

阿蘇火山活動サイクル

1994-2003, 2016.11~



阿蘇火山 中岳火口 火山活動プロセス



2003-2014



Photo by Y. Miyabuchi

図 6-5 火山活動経過プロセス図

須藤靖明著「阿蘇に学ぶ」より

1989-1993, 2014.11~2015.5



阿蘇火山活動時系列

- 2014年 8月30日 レベル1→2
- 2014年11月25日 マグマ噴火開始 21年ぶり
- 2015年 1月 活動の極大期
- 2015年 5月 3日 有感微動の発生、火口底陥没
マグマ性噴火終了

2015年 8月 7日 小噴火

2015年 9月14日 水蒸気噴火の発生、レベル2→3
噴火速報の発表

2015年10月23日 3回の水蒸気噴火発生

2015年11月24日 レベル3→2

2015年12月 7日 小規模な水蒸気噴火

2015年12月25日 小規模な水蒸気噴火

2016年 2月17日 小規模な水蒸気噴火

2016年 2月18日 小規模な水蒸気噴火

2016年 3月 4日 小規模な水蒸気噴火

2016年 4月16日 熊本地震・小規模噴火

2016年10月 8日 水蒸気爆発

マグマ噴火

マグマの中に溶け込んでいた水などの揮発成分が水蒸気などの気体状態になり、マグマとともに噴出する

赤熱噴石を間欠的に吹き飛ばすストロンボリ式噴火
火山灰(ヨナ)の噴出を主とする灰噴火

水蒸気噴火

地下水や湖海水など、マグマの外にあった水がマグマに熱せられて水蒸気になり噴出する

マグマ水蒸気噴火

マグマの外にあった水がマグマと直接触れることにより熱せられて水蒸気になり、マグマ本体も同時に細かく砕かれて、水蒸気といっしょに噴出する

噴火の様子

- 2014.12.27 20倍速

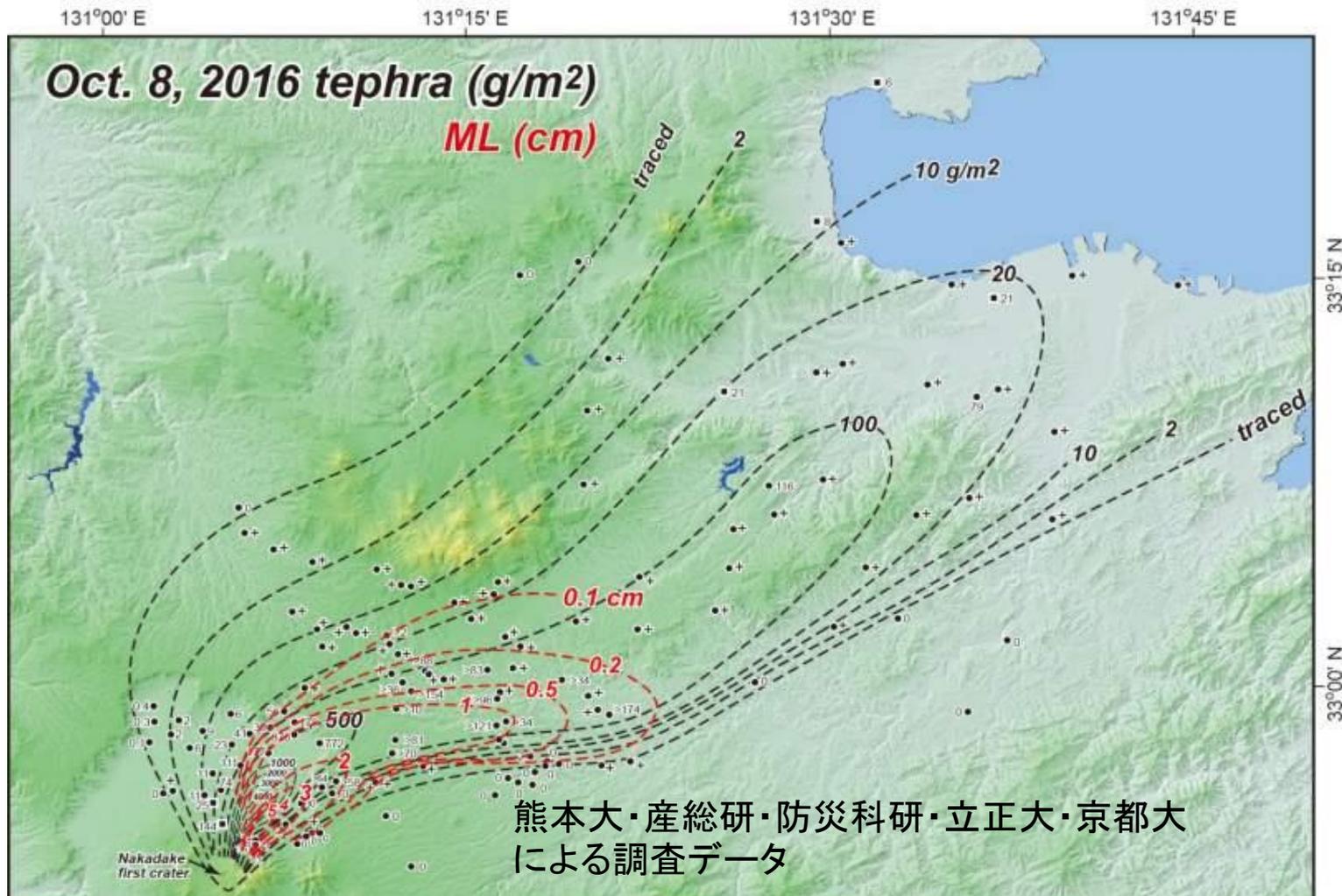


火口南西縁に飛来した巨大岩塊



- 溶岩がとんできて冷え固まったのではない
- 火山灰や溶岩片が固ったものが飛んできた
もともと火口底にあった岩体
- 噴石上面には火山灰堆積物が認められる

2016年10月8日降下火砕物の分布



降下火砕物の総量：約18万トンと概算、火口周辺と合わせ60-65万トン

1979年9月6日のマグマ水蒸気噴火による火山灰(約40万トン)

1990年4月20日のマグマ水蒸気爆発の火山灰(約90~120万トン)

阿蘇火山における水準測量(1937~)

、て (第1報)

1 圭 三

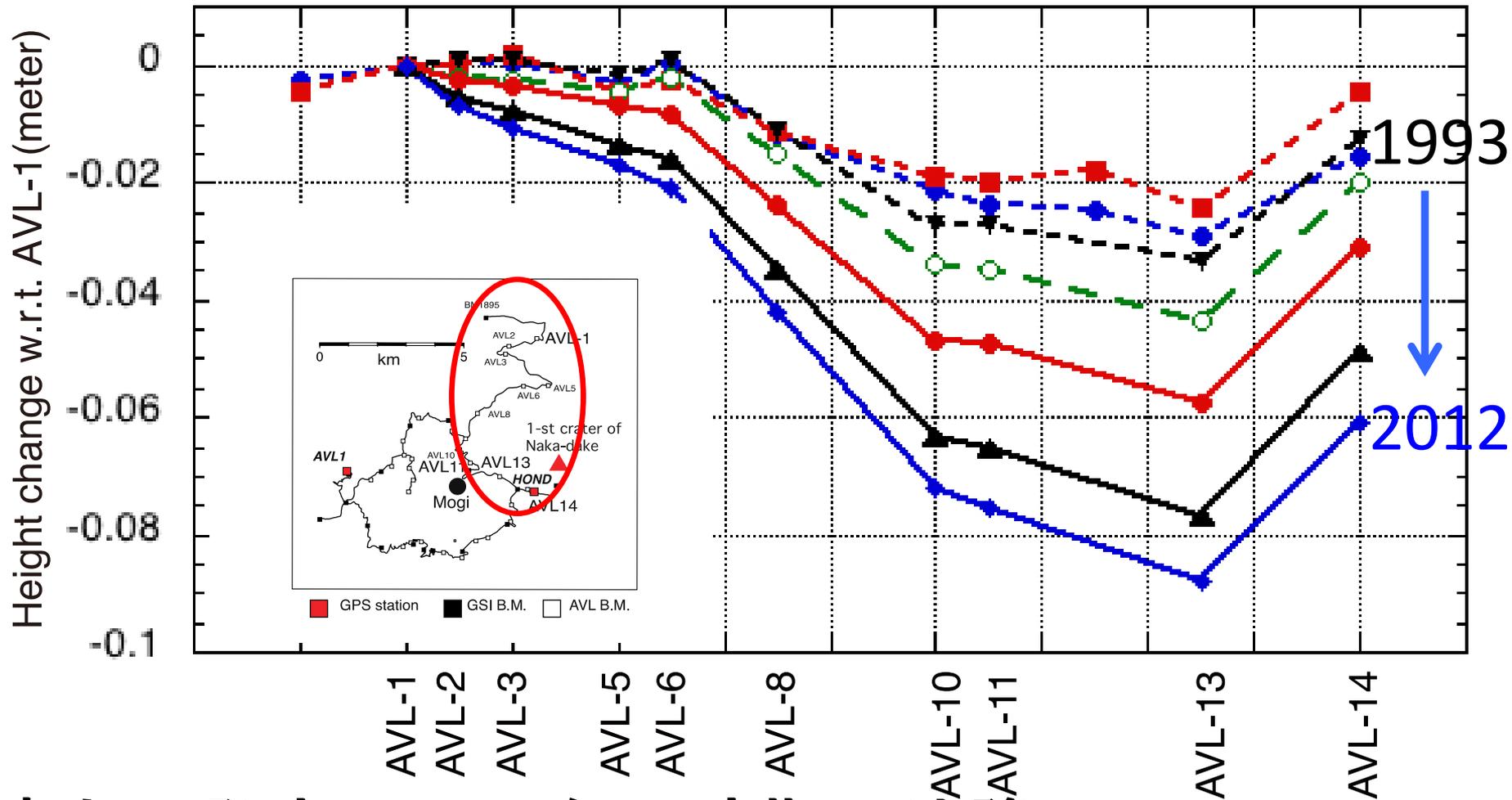
理)

ano Aso (Part 1)

吉川(1954,地震2)

水準測量結果

AVL1に対する坊中線の変動(1963以降)

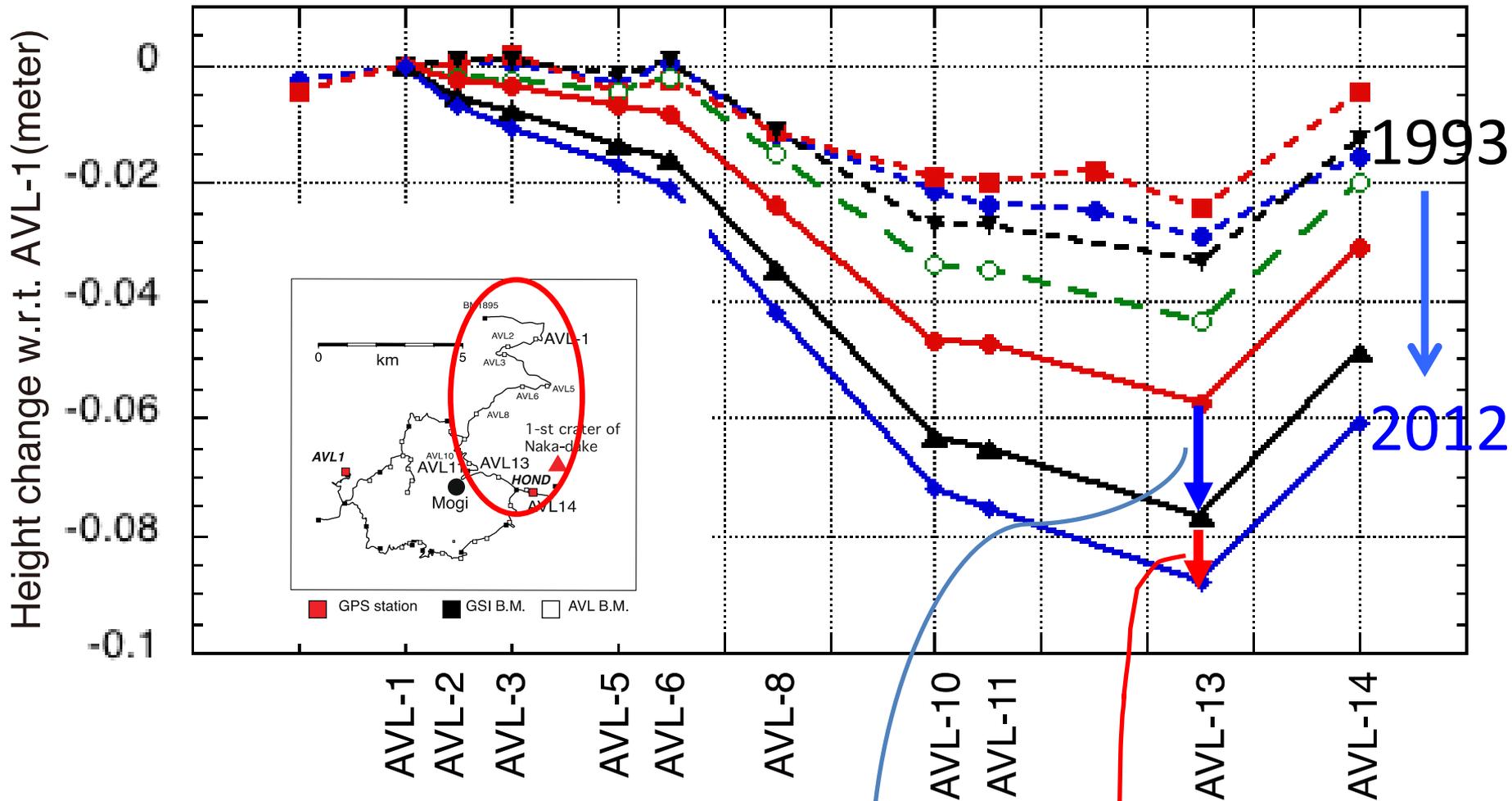


噴火の発生していない時期に沈降
(マグマ溜まりの収縮)

桜島との大きな相違

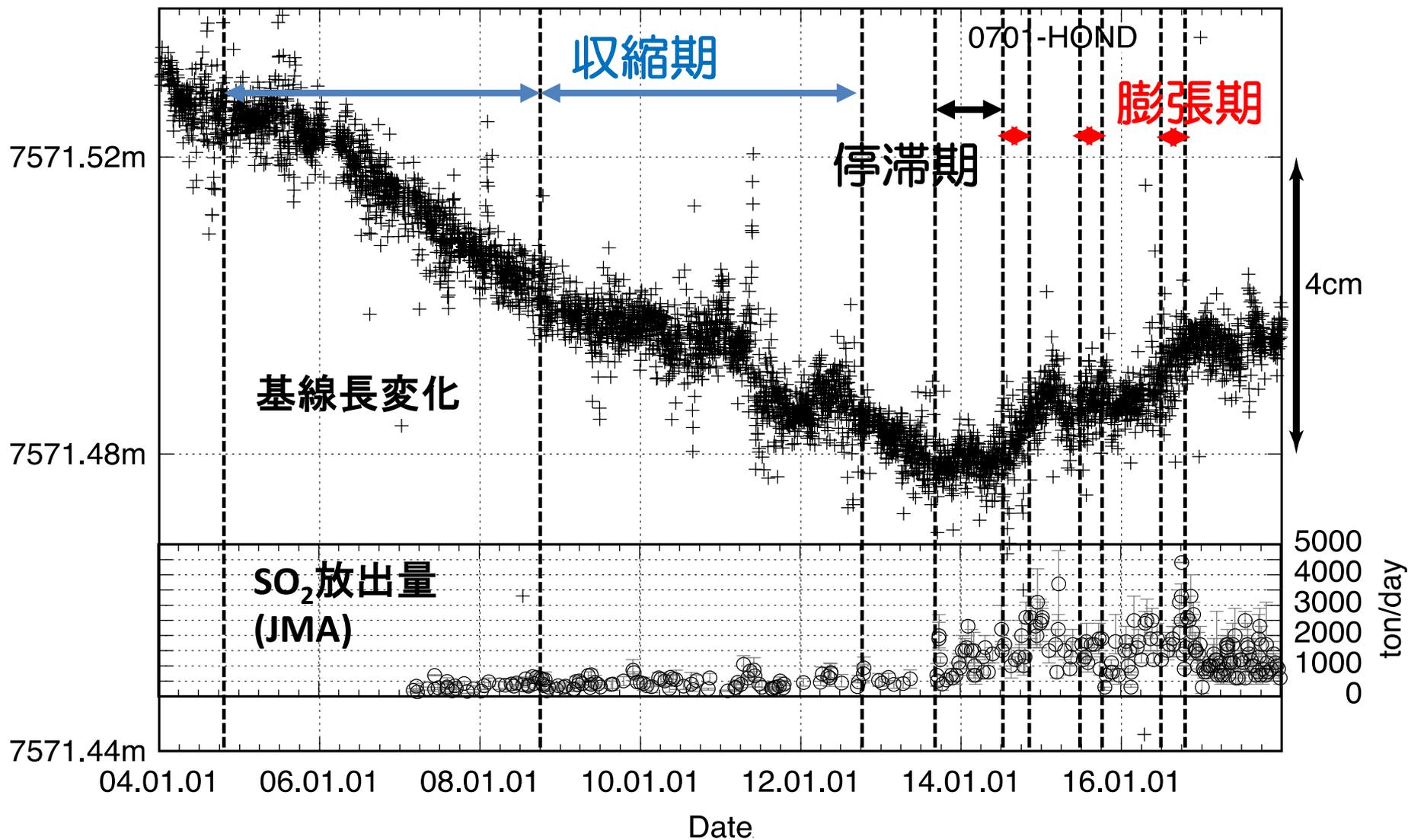
水準測量結果

AVL1に対する坊中線の変動(1963以降)



2008年から2012年にかけての沈降量は最大で約1.2cm
2004年から2008年の沈降量とくらべて約6割に減少。

マグマ溜まりをはさむ2点間の基線長変化と SO₂放出量変化(2004.1~2017.12)

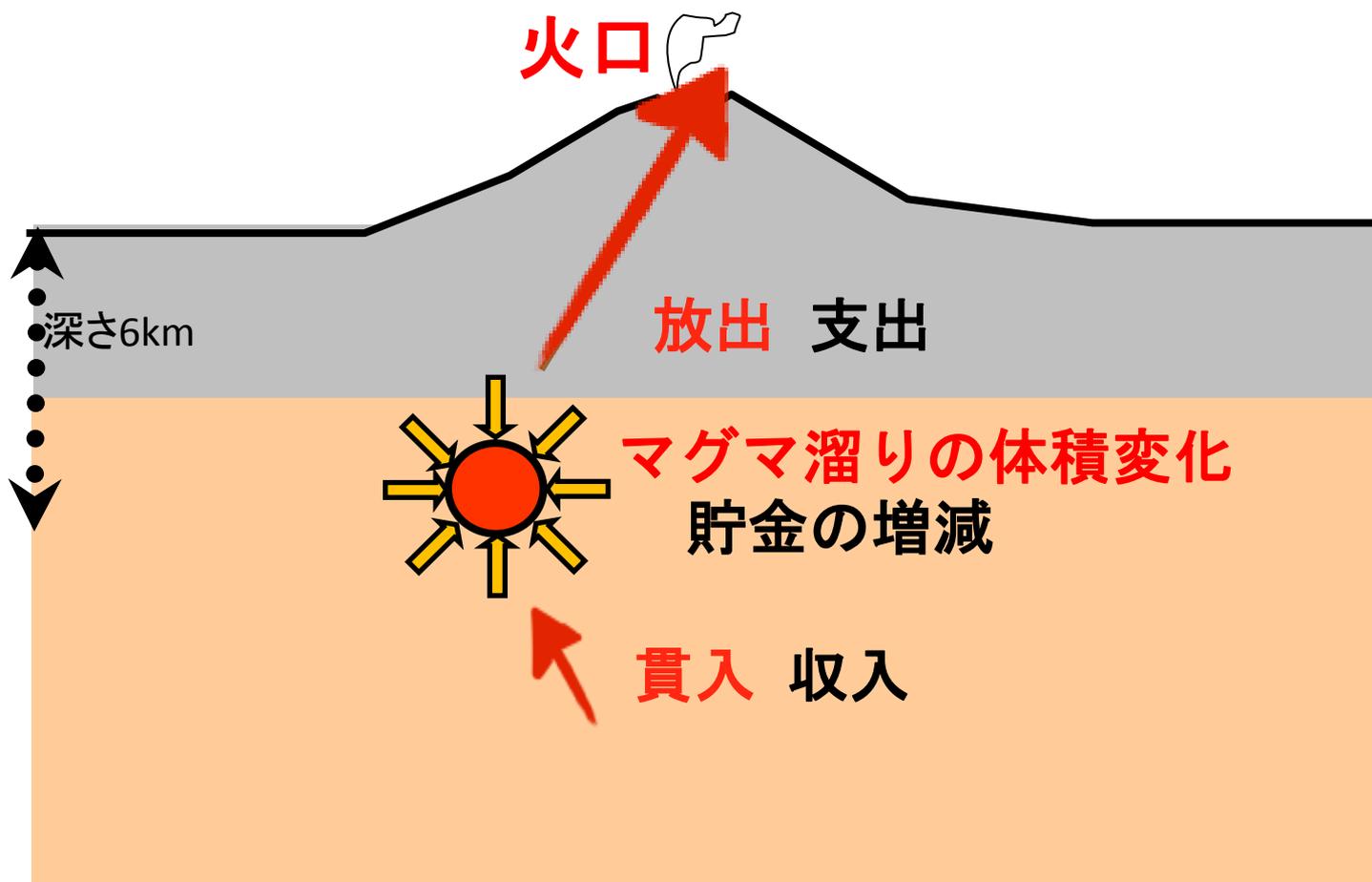


マグマの収支

OUTPUT: ガス放出、火山灰放出による減少

INPUT: マグマ貫入量

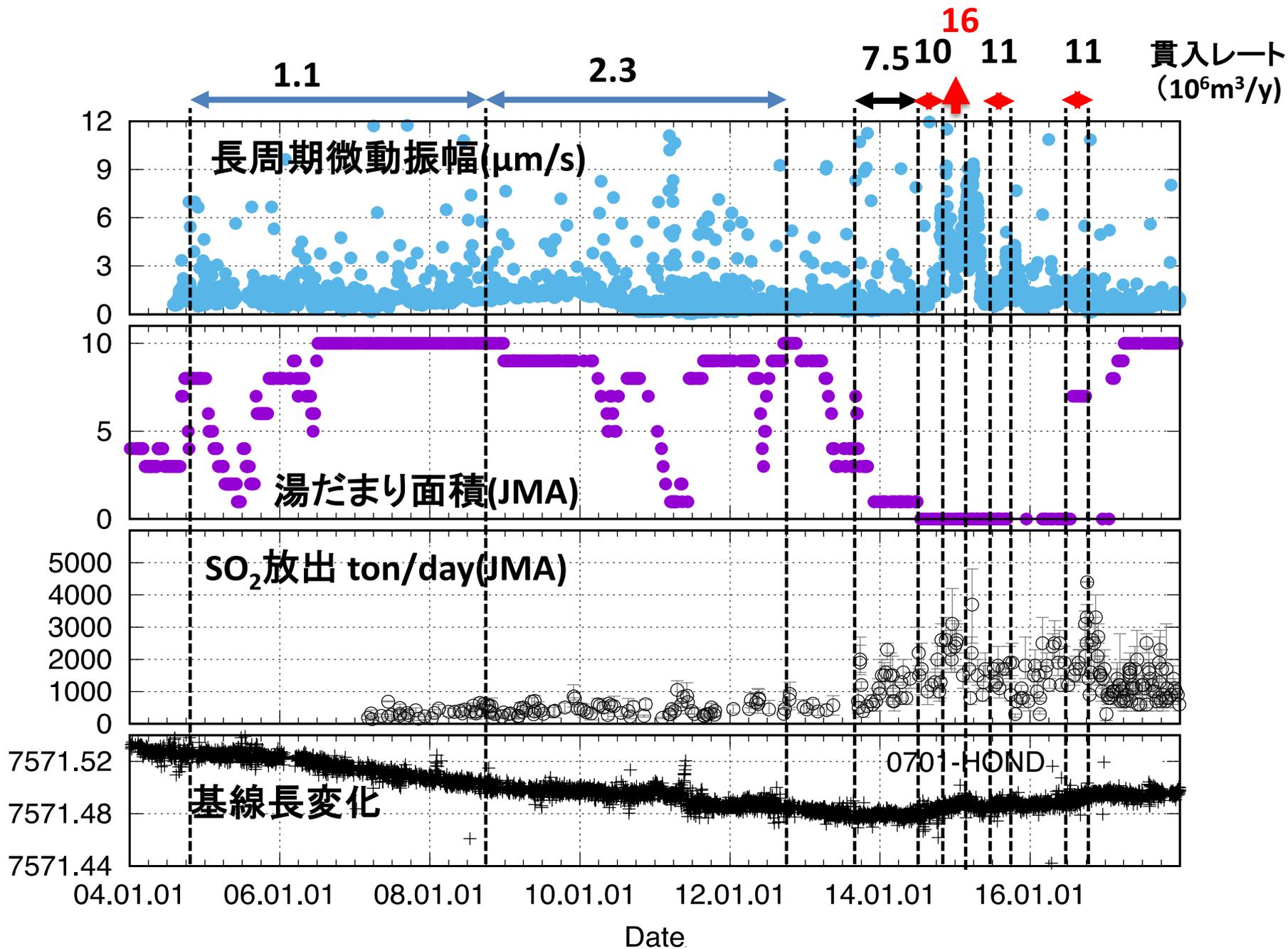
マグマ溜りの体積変化



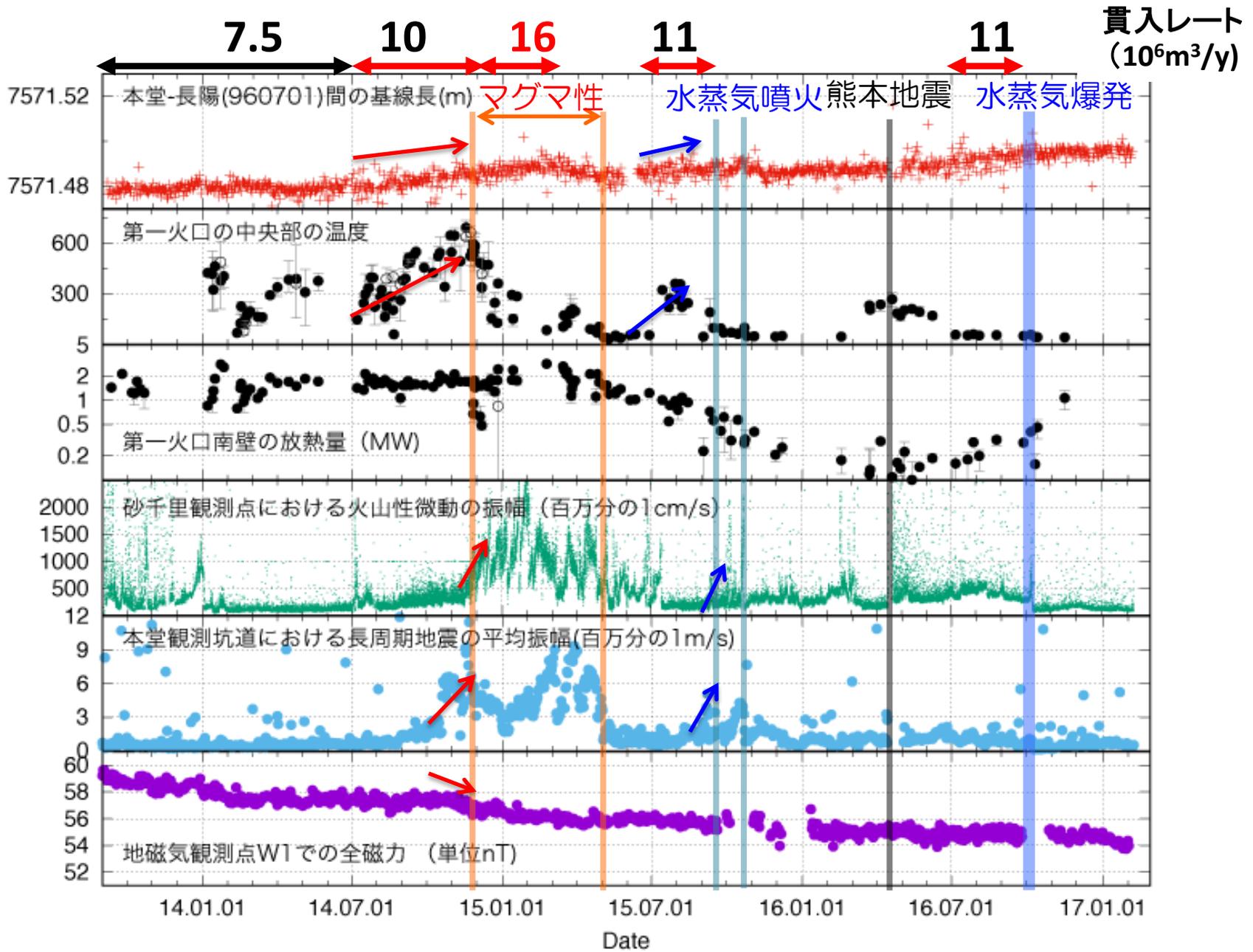
マグマ収支と貫入レート

期間	基線長 変化 cm	体積変化 10 ⁶ m ³	SO ₂ 放出 ton/day	降灰量 万トン	マグマ 消費 10 ⁶ m ³	貫入量 10 ⁶ m ³	貫入レート 10 ⁶ m ³ /y
2004.9~ 2008.9	-2.6	-3.2	390	0	7.5	4.3	1.1
2008.9~ 2012.9	-1.5	-1.92	585	0	11.3	9.3	2.3
2013.9~ 2014.7	0	0	1,560	0	6.2	6.2	7.5
2014.7~ 2014.11	0.6	0.68	1,670	0	3.1	3.8	10.0
2014.11~ 2015.2	0.4	0.5	2,200	160	3.3	3.8	16.0
2015.7~ 2015.9	0.42	0.55	1,740	0	1.7	2.3	11.1
2016.7~ 2016.10	0.6	0.68	2,590	0	2.4	3.1	11.4

火山活動推移 (2004.1-2017.12)



火山活動推移 (2013.09.01-2017.02.13)



阿蘇火山の噴火サイクルとマグマ貫入レート

2004-2008: 1年あたり 1~2百万 m³



阿蘇火山 中岳火口 火山活動プロセス

始良カルデラのマグマ供給率 1年あたり
7百万~1千万立方m³ (Yamamoto et al., 2013 火山)
1千4百万 m³ (Hotta et al. 2015 JVGR)

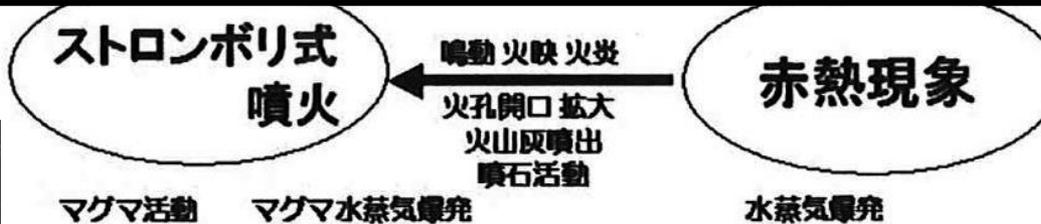
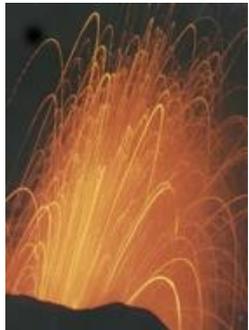
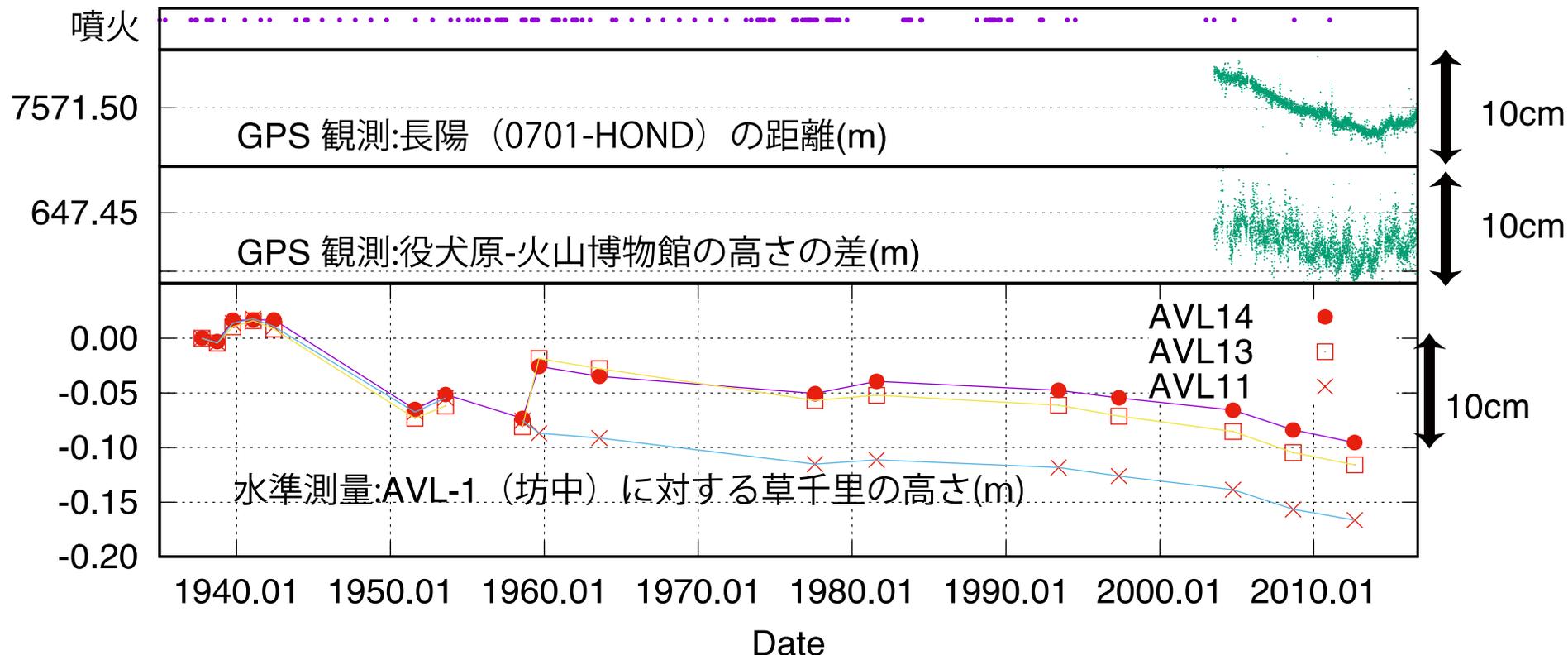


Photo by Y. Miyabuchi

図 6-5 火山活動経過プロセス図

2014-2015: 1年あたり1千~1千4百万m³

水準測量データとGPSデータ



1940年ころは今よりも山が10cm程度高かった。
(地下に溜まっているマグマの量が今よりもずっと多かった。
だから噴火活動が激しかったのだろう)

1960年頃から沈降傾向、2014年からの隆起でもマグマの量は回復せず
大規模噴火の可能性は低い

まとめ

- ✓ 地殻変動量と火山ガス・火山灰放出量からマグマ収支を見積もり。

草千里下のマグマだまりへのマグマ貫入量

- 1年あたり、110万～1,600万 m³

- ✓ マグマ噴火前、水蒸気噴火前の山体（マグマ溜まり）膨張
いずれの噴火でもマグマ供給量の増大（1年あたり
1,000～1,600万 m³）が認められる（平時の約10倍）

- ✓ 2008年以降2014年にかけての放出量の緩やかな上昇
湯だまりの不安定化⇒消失

- ✓ 2014年からの増大でもマグマの量は回復せず
大規模噴火の可能性は低い

40人学級、絶滅危惧種



気象庁リーフレット「噴火警報と噴火警戒レベル」より

http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/level_toha/funka.pdf

熊本県による高野台地すべり復旧工事 2017年度中に開始、2018年度完成予定

建物の復旧工事はそれ以降
2019年度概算要求にむけ準備中
2020年度中に完成予定



今後ともご支援のほど、よろしくお願ひ申し上げます。

ご清聴ありがとうございました。