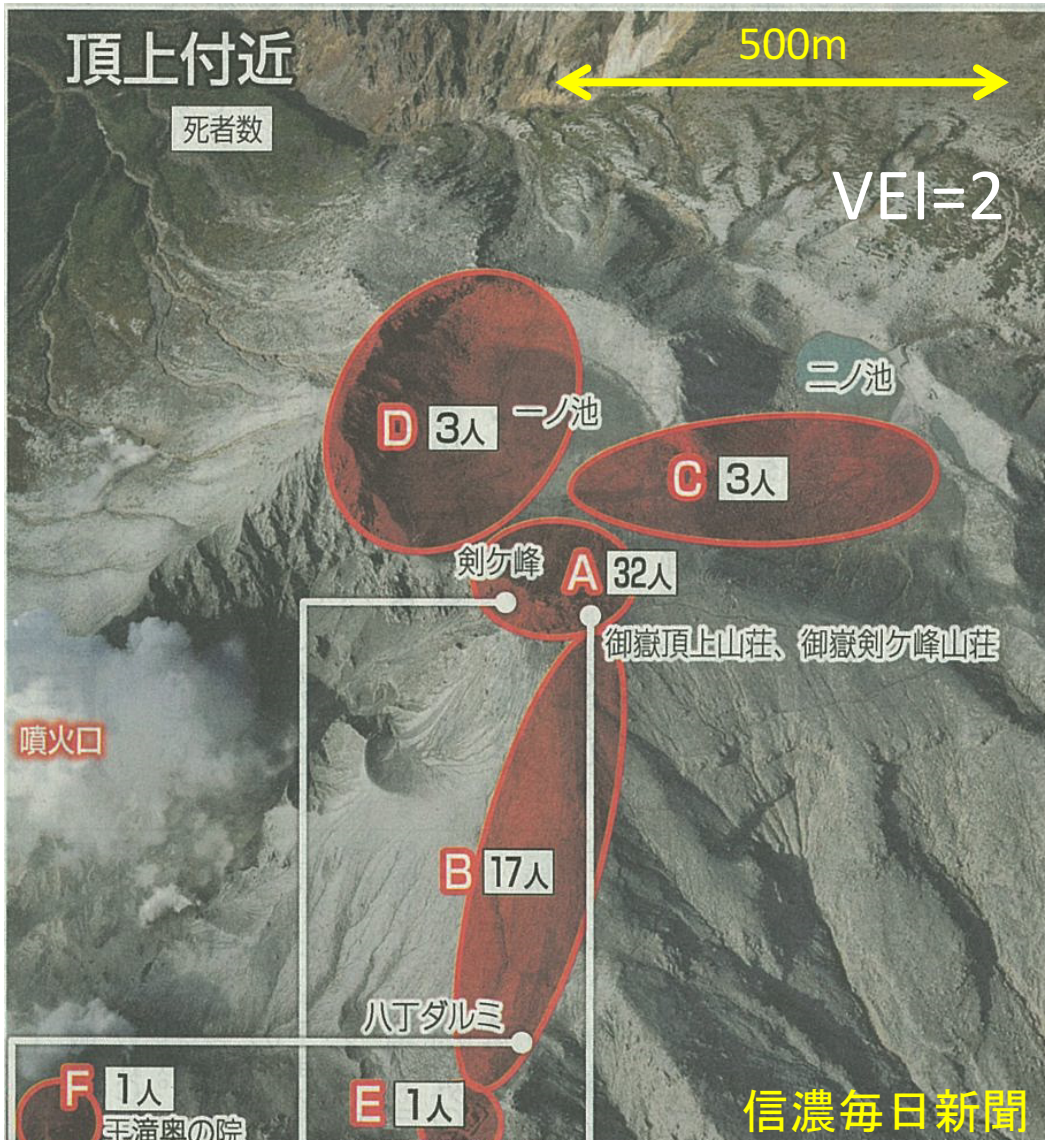
大規模噴火とは何か
～桜島とインドネシアの火山の事例～

京都大学防災研究所　火山活動研究センター
准教授　中道治久

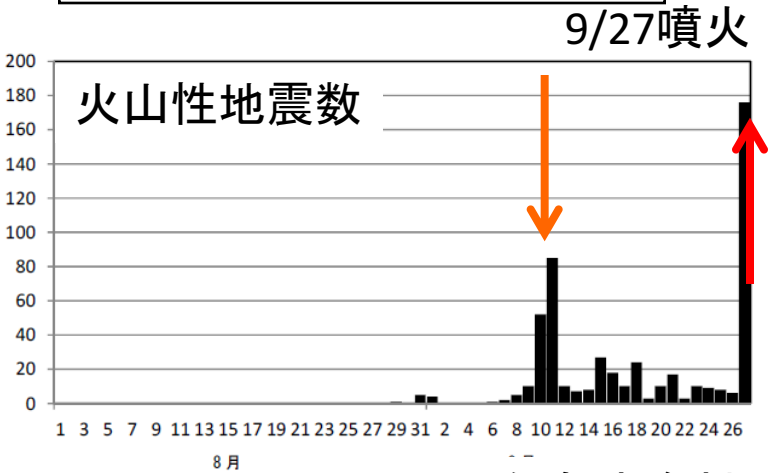
インドネシア・メラピ2010年噴火

桜島1914年噴火

御嶽山2014年噴火災害



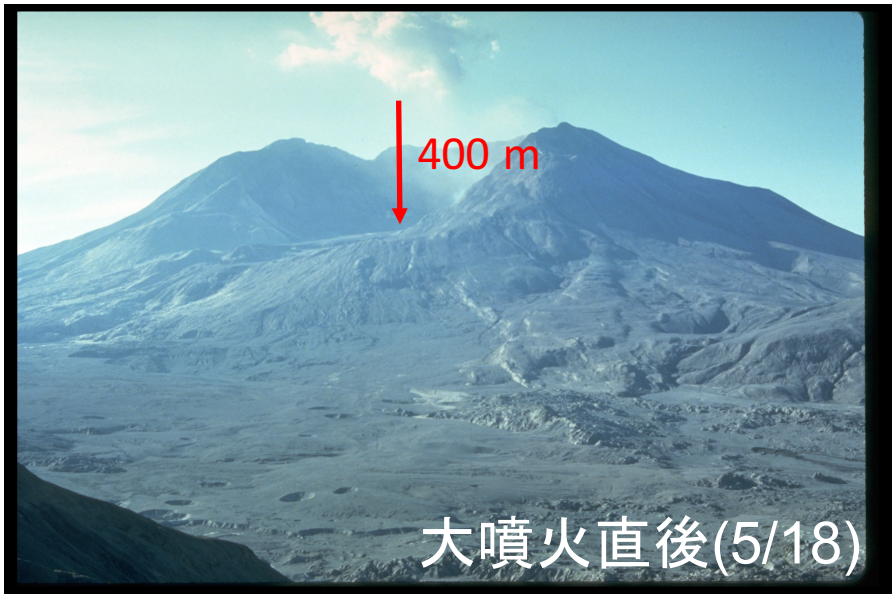
死者58名，行方不明者5名
【戦後最悪】



大災害だが，大規模噴火ではない．

気象庁資料

【大規模噴火の例】セントヘレンズ1980年噴火



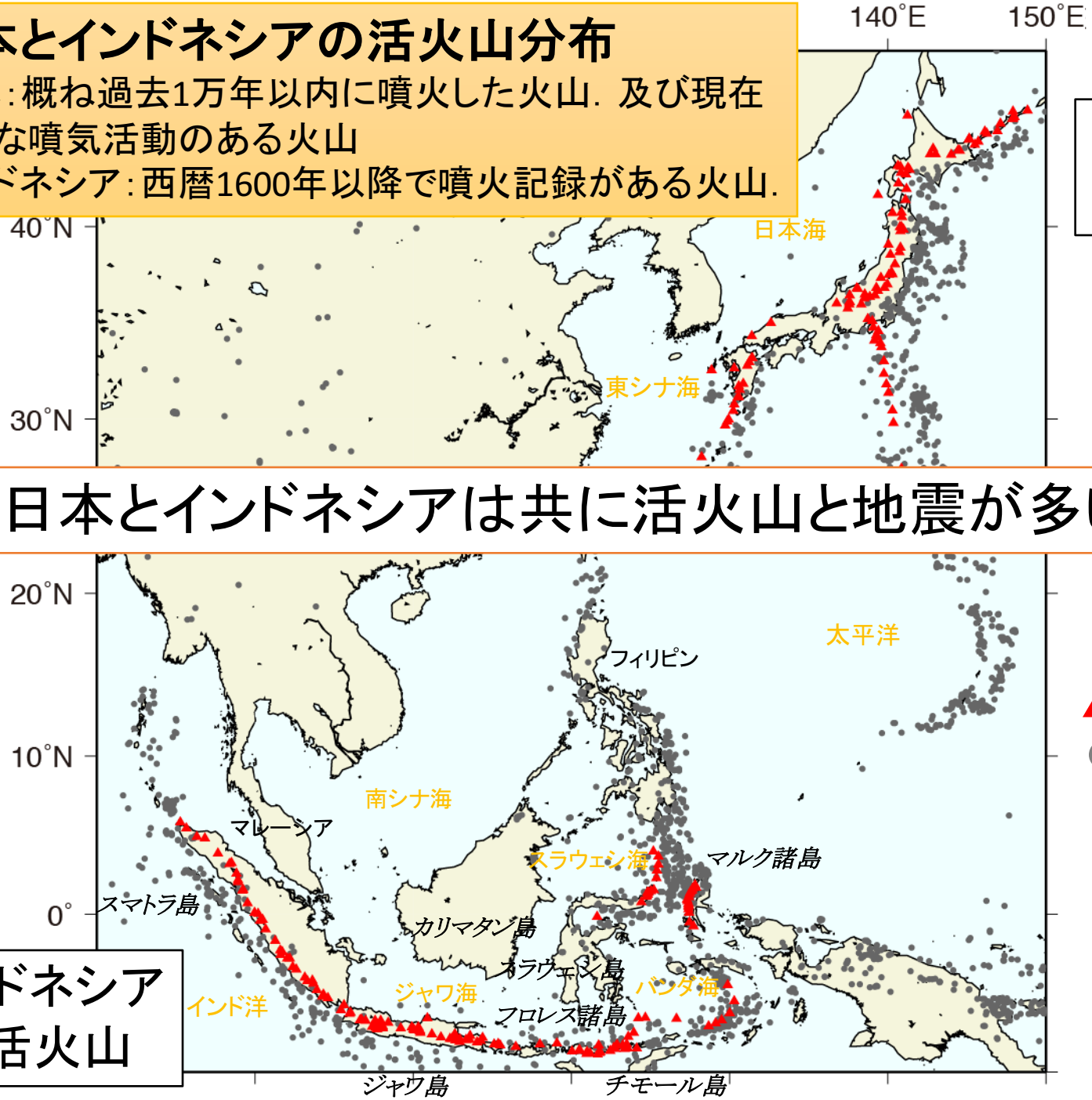
1980/5/18 8:22噴火

死者・行方不明者　57名

日本とインドネシアの活火山分布

日本：概ね過去1万年以内に噴火した火山．及び現在活発な噴気活動のある火山
インドネシア：西暦1600年以降で噴火記録がある火山．

日本
110活火山



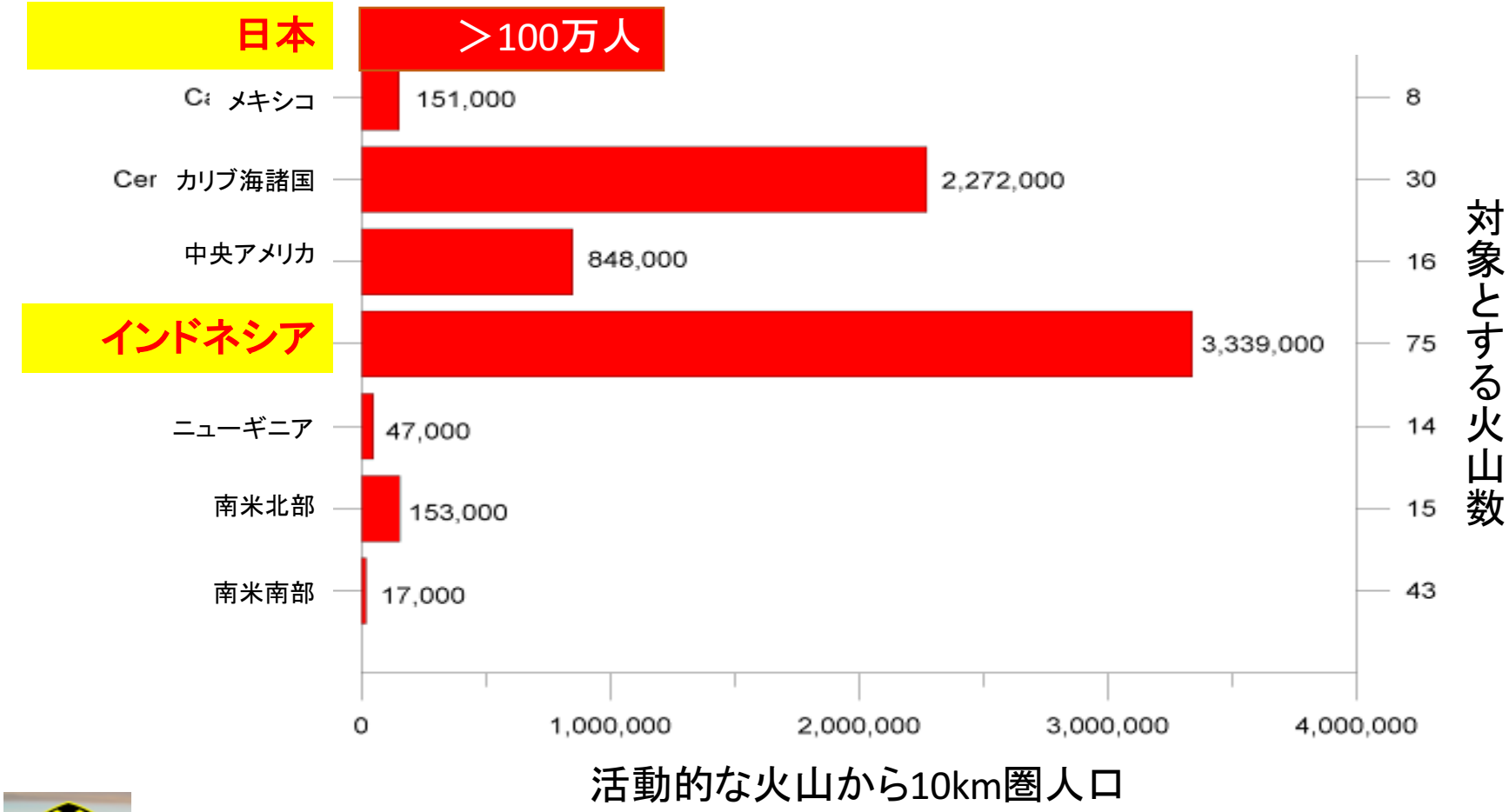
日本とインドネシアは共に活火山と地震が多い!

▲ 活火山
● 地震（M≧4.5）
USGS

インドネシア
129活火山

日本・インドネシアは共に火山近傍における人口密集度が高い！

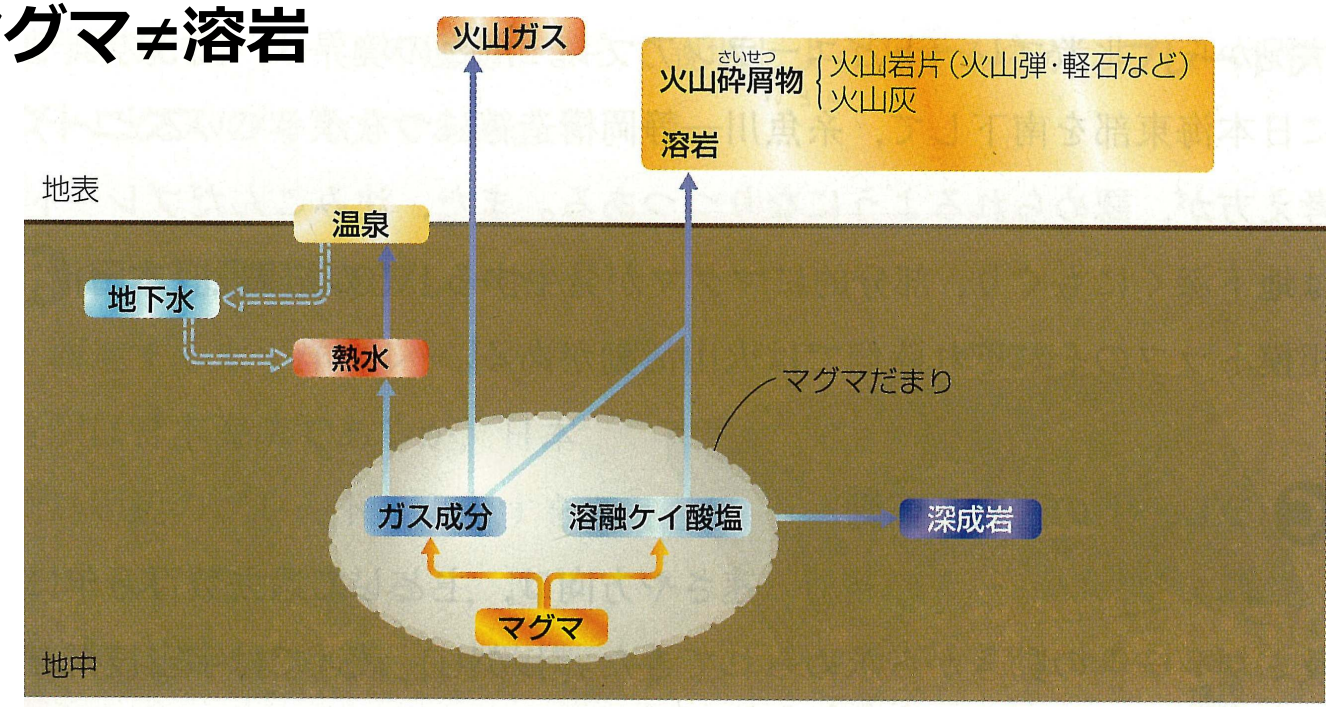
火山と人の距離が近い → 被災範囲は狭くとも被害大の傾向



※途上国を対象とした米国地質調査所（USGS）資料に追記

マグマと火山噴火

- 噴火はマグマが地下から地表に出てくる現象.
- マグマは900 ～1150°Cの高温. それが地表へ出てくると、溶岩とよばれる岩石になる.
- マグマ≠溶岩



↑図 4　マグマの上昇にともなう主成分の変化

噴火規模を表す指標

Volcanic Explosivity Index (VEI)　火山爆発強度指標

噴出物量の体積の対数に比例

VEI～log（噴火エネルギー）　VEI≒噴火の規模

地震マグニチュードM～1/1.5 * log(地震波エネルギー)

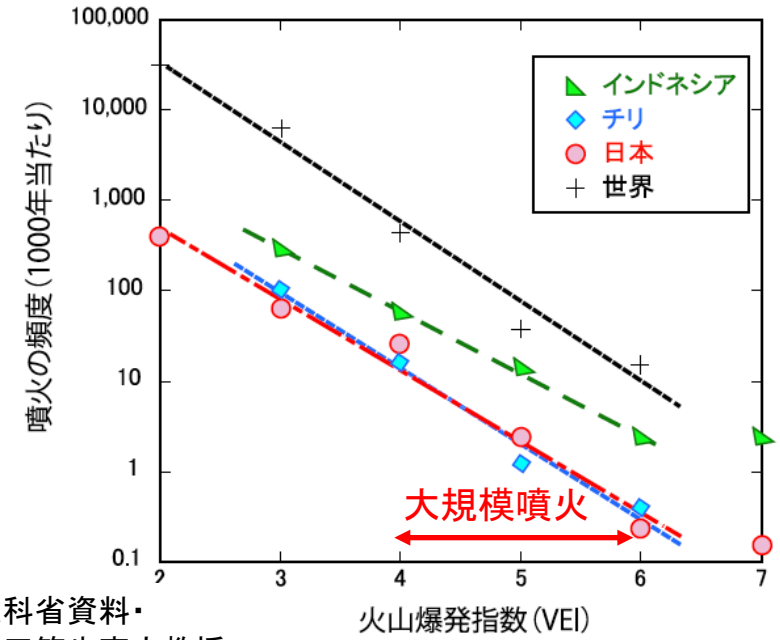
VEI	噴出物体積	
0	10^4 m^3	桜島昭和火口噴火
1	10^5 m^3	桜島南岳噴火
2	10^6 m^3	口永良部島2015
3	10^7 m^3	
4	10^8 m^3	ケルート2014 桜島大正噴火
5	10^9 m^3	セントヘレンズ1980
6	10^{10} m^3	ピナツボ1991
7	10^{11} m^3	姶良カルデラ噴火
8	10^{12} m^3	

大規模噴火

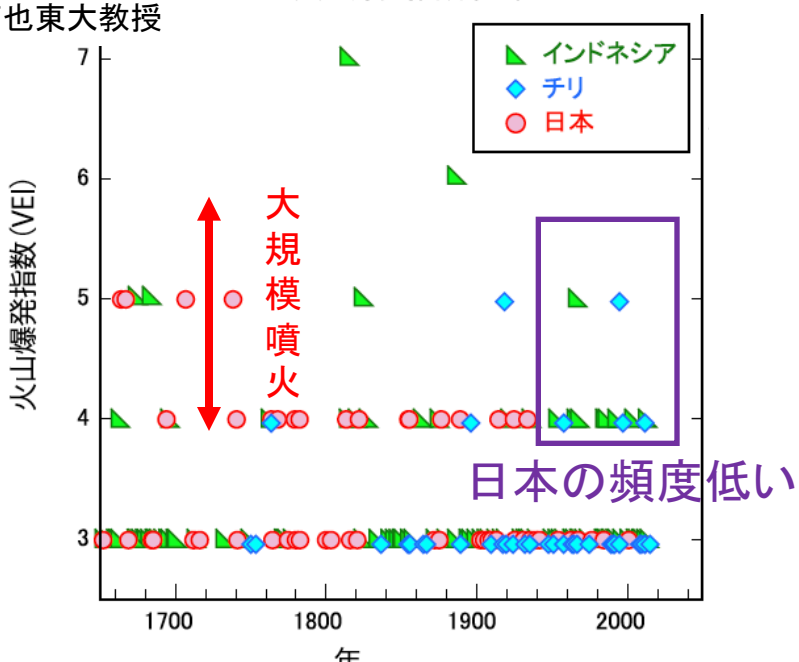
巨大噴火

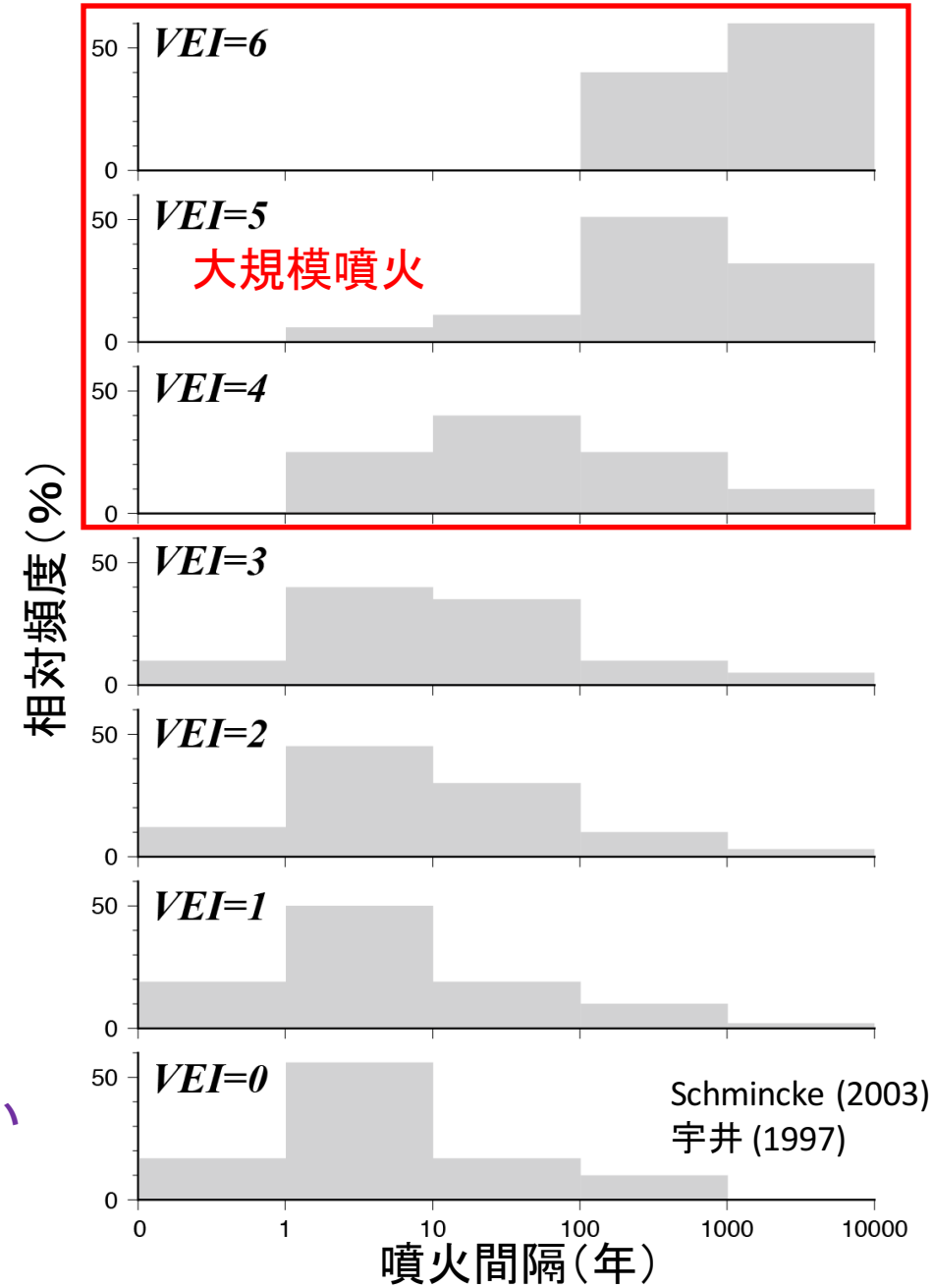
Newhall and Self (1982)

噴火の大きさの頻度分布



文科省資料・
中田節也東大教授





Schmincke (2003)
宇井 (1997)

噴火の大きさに関する報道例

2016.5.2 朝

桜島 噴煙4千メートル超

爆発的噴火で 昨年5月以来

鹿児島地方気象台は1日、桜島（鹿児島市）の昭和火口で1日午後3時36分、爆発的噴火があり、噴煙の高さが火口から4100㍍に達したと発表した。同気象台によると、噴煙の高さが4千㍍を超えたのは、昨年5月21日に4300㍍を記録して以来。1955年の観測開始以来、7位タイの高さという。

今年に入っての爆発的噴火は1日午後7時までで43回で、昨年同時期の440回から大幅に減っている。気象庁の噴火警戒レベルは、今年2月の爆発の際、2（火口周辺から3（入山規制）に上げられている。

朝日新聞

2016,5,2 南

桜島噴煙 4千メートル超

11カ月ぶり

桜島の昭和火口が1日午後3時36分に爆発し、噴煙は高さ4100㍍に達した。昭和火口の噴煙が4千㍍を超えるのは昨年5月21日以来約11カ月ぶり。大きな噴石は火口から5000～8000㍍離れた5合目まで飛んだ。

鹿児島地方気象台によると、1955年の統計開始以降、昭和火口で観測された噴煙の高さでは7位タイの記録。2013年8月18日に最高の5千㍍を記録している。

1日午後4時27分には南岳山頂火口も噴火、噴煙は高さ3500㍍に達した。南岳の噴煙が3千㍍を超えるのは09年10月3日以来約6年半ぶり。南岳で噴石の飛散などを伴う爆発は12年12月2日以降観測していない。

今年に入り噴煙の高さが超えたのは12回。うち10回は4千㍍を超える噴煙を上げる桜島＝1日午後3時43分、鹿児島市与次郎1丁目（橋口実昭撮影）

南日本新聞（地元紙）

切り

さん(58)は記者団に対し「2次災害の危険性があるといっても、時間がたてば、立ち入りやすくなる可能性もある。なぜこんなに早く打ち切るのか」と語った。【中里顕、釣田祐喜、松田栄二郎】

企画したのは、同県天草市出身の放送作家で、県のPRキャラクター「くまモン」のプロデューサー、小山薫堂さん(51)。小山さんのフェイスブックによると、嵐の所属するジャニーズ事務所に相談して1分間の応援メッセージを作り、4局に放送を頼み快諾を得た。【取材班】

2016.5.2 朝

桜島で噴煙4100メートル

歴代7位タイ

1日午後3時35分ごろ、桜島（鹿児島市）の昭和火口で爆発的噴火があり、噴煙が高さ4100㍍に達した。爆発的噴火は今年43回目で、噴煙の高さは最も高い。大きな噴石が火口から約5000～8000㍍飛んだ。

鹿児島地方気象台によると、1955年の統計開始以降、昭和火口で観測された噴煙の高さでは7位タイの記録。2013年8月18日に最高の5000㍍を記録している。

噴火警戒レベルは3（入山規制）を維持。気象台は、火口から2キロの範囲で大きな噴石や火砕流に警戒するよう呼び掛けている。

梶本尚靖さん95じもと・なおやす事務所「KAJIO」会長）1日、ため死去。葬儀は身内で営む。

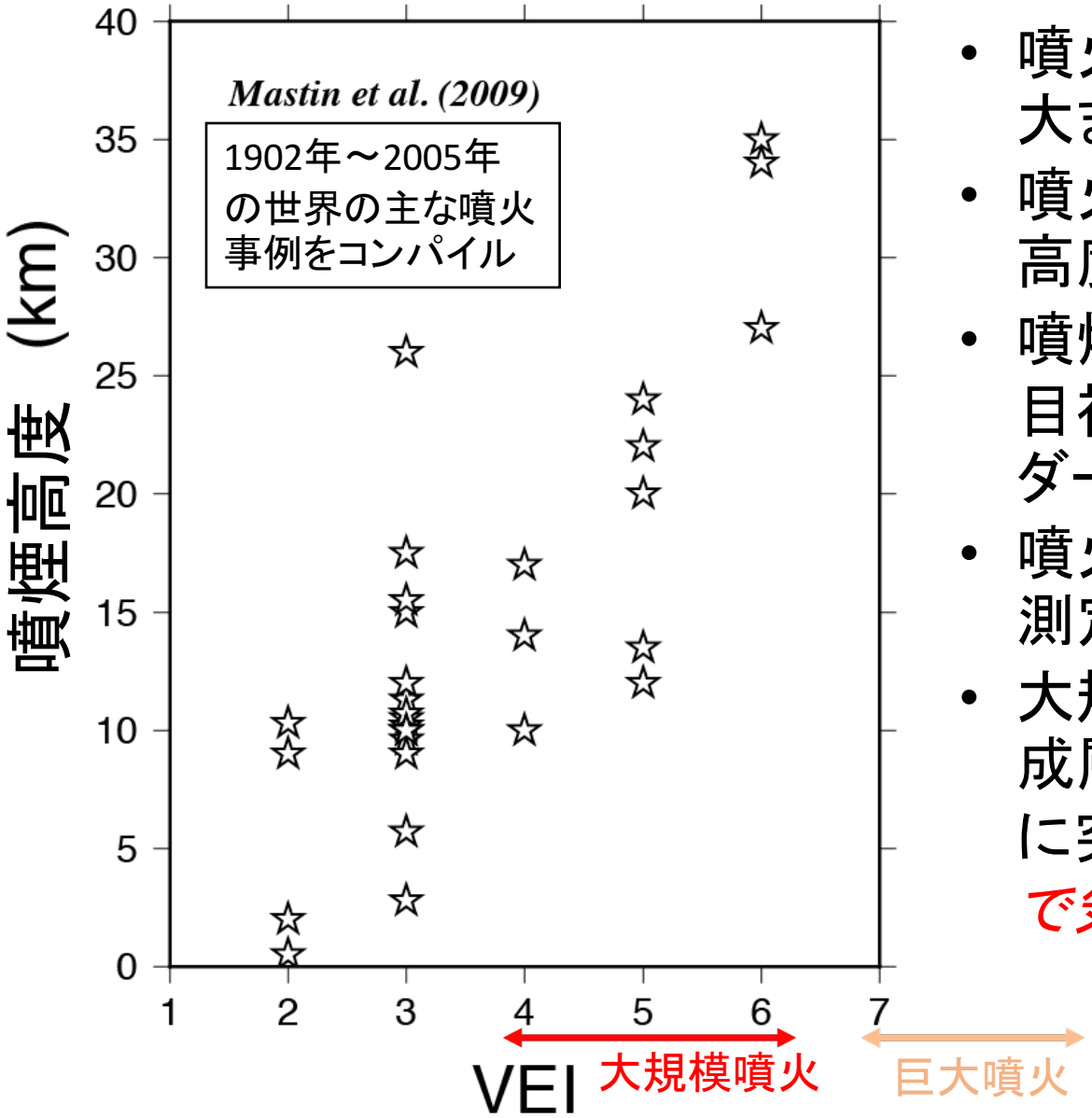
大阪府出身。1年、クラシック音楽マネジメントの草分て、海外アーティストを招く梶本音楽事務所を設立。團伊玖磨さん作曲のオペラ「夕鶴」の中国公演を手掛けたほか、ピアニ

毎日新聞

※ここ60年間の桜島の噴火は大規模噴火ではない.

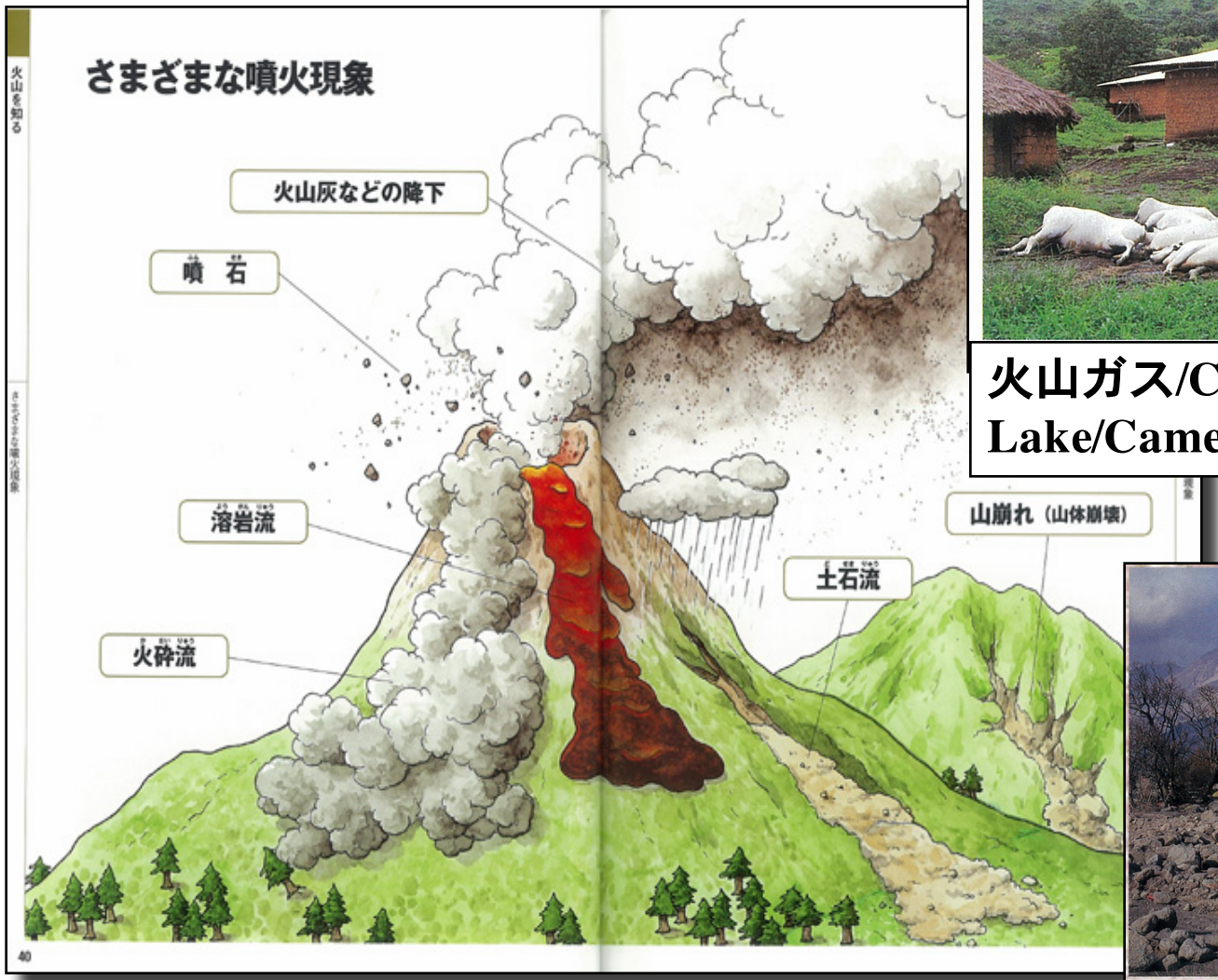
「噴煙高度4100m. 歴代7位タイ」って報道するほどの事か疑問である.
噴煙高度測定は, 水泳や陸上競技のタイムのような高精度計測ではない. そもそも, 風などの気象条件で噴火規模に関わらず噴煙高度が変化する.
一方,「火山爆発指数が6で有史以来最大」と報道されても, 受け手はピンと来ない.

噴火の規模（VEI）と噴煙の高さ



- 噴火規模と噴煙高度は大まかには正相関する.
- 噴火規模に対して，噴煙高度のばらつきが大きい.
- 噴煙高度は降灰分布，目視，衛星画像，レーダー反射強度にて求める.
- 噴火規模，噴煙高度共に測定精度は高くない.
- 大規模噴火では噴煙は成層圏（10km～50 km）に突入する. *→地球規模で気候に影響有り*

火山災害のいろいろ



(山と渓谷社 2003)

火山ガス/CO2-Nyos Lake/Cameroon

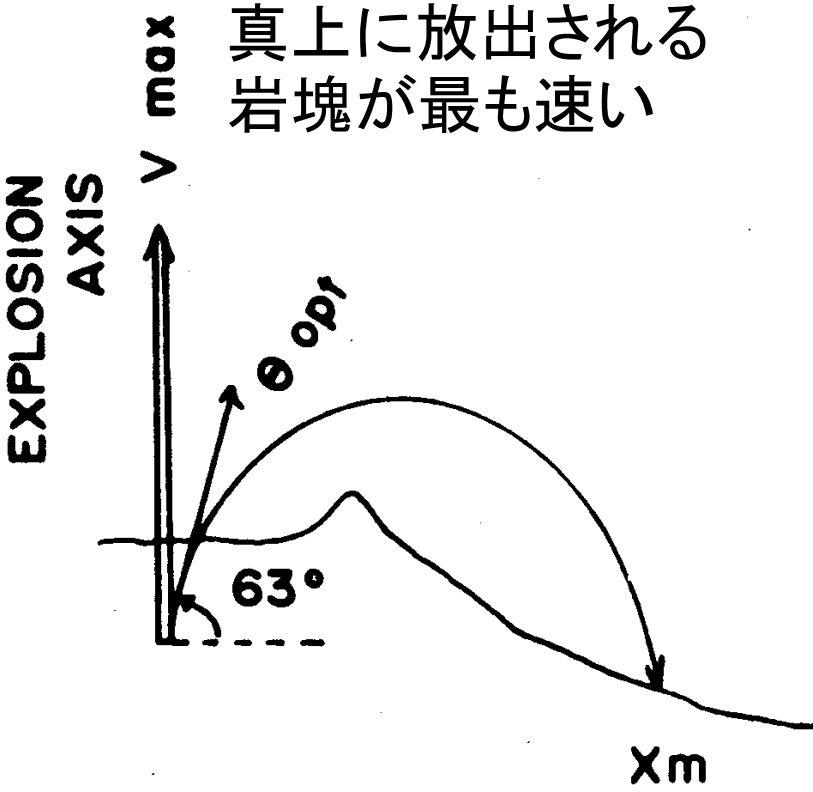
雲仙岳土石流，1991年

(地質調査所,1998)

降下火山砕屑物（固体の火山噴出物）

種類	大きさ	飛散距離 （桜島の場合）	飛散特徴
火山岩塊 （火山弾）	64mm以上 （1m以上）	3.5km	慣性力 初速度による 風の影響を受けにくい
火山レキ	2～64mm	10km （鹿児島市街地）	風の影響を受ける. 風下側で注意
火山灰	2mm以下	福岡（南岳噴火） カムチャッカ半島 （大正噴火）	風影響大 （噴煙の高度，風向・風速による）

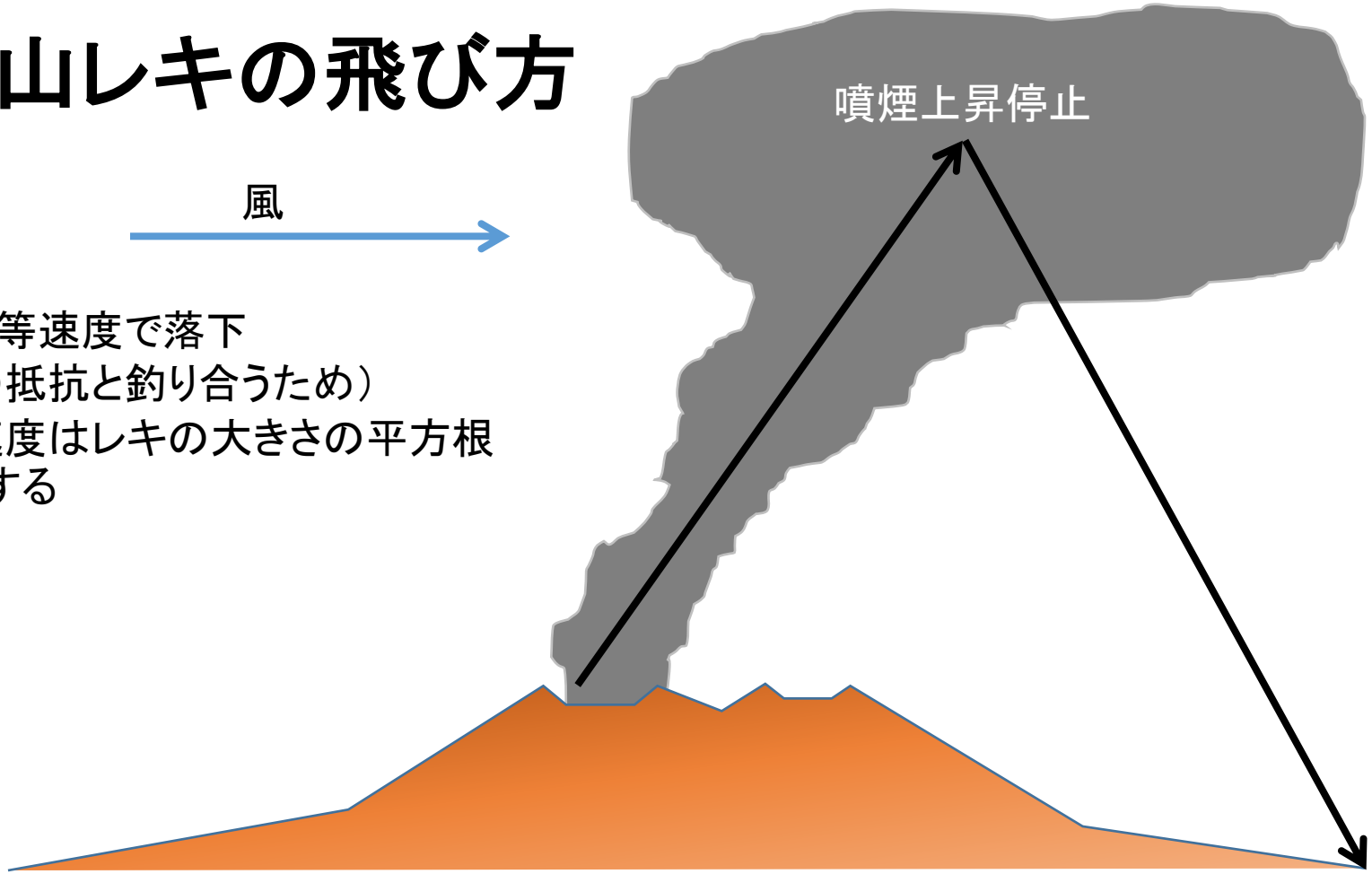
火山岩塊の飛び方



真上に放出される
岩塊が最も速い

最も遠くまで飛ぶ岩塊は63度で放出される
（落下も63度なので，かなり上から落ちてくる感覚）

火山レキの飛び方



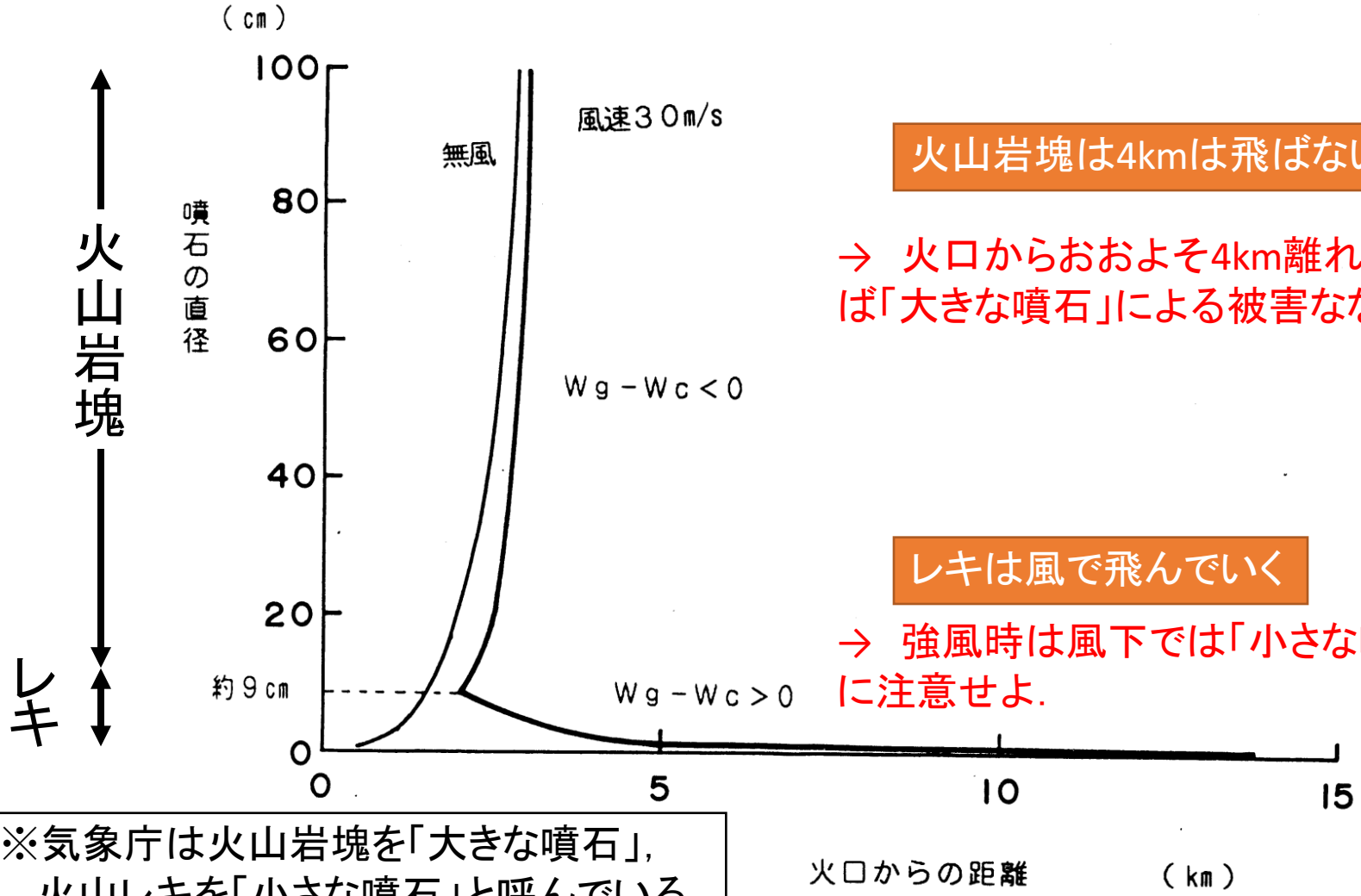
・レキは等速度で落下
（空気の抵抗と釣り合うため）
・落下速度はレキの大きさの平方根に比例する

レキの飛行距離が伸びる場合
・噴煙高度が高い
・風が強い
・風下方向

落下してくるまでの時間
距離を風速で割ればよい
時間＝4000m÷20m/s＝200秒

早ければ3分ぐらいで落ちてくる

噴石の大きさと到達距離の関係



火山岩塊は4kmは飛ばない

→　火口からおおよそ4km離れていれば「大きな噴石」による被害ないない.

レキは風で飛んでいく

→　強風時は風下では「小さな噴石」に注意せよ.

※気象庁は火山岩塊を「大きな噴石」,
火山レキを「小さな噴石」と呼んでいる.
火山学にない特殊な用語.

火砕流　最も恐ろしい火山災害の要因

- 火山灰や火山岩塊が高温の火山ガスとともに山体斜面を高速度で流下する現象
- 高速（時速100km/h以上）
- 高温（600～800℃）
- 破壊力大

Pyroclatic flows on May 15, 2006 down to K.Krasak. Photograph taken from Deles

Merapi 2010/10/26 Blast reached 8km distance 30 people died.

【102年前の教訓】「住民ハ理論ニ信頼セズ」

1914年・大正桜島噴火の記念碑

本島ノ爆発ハ古来歴史ニ照シ後日復亦免レザルハ必然ノコトナルベシ

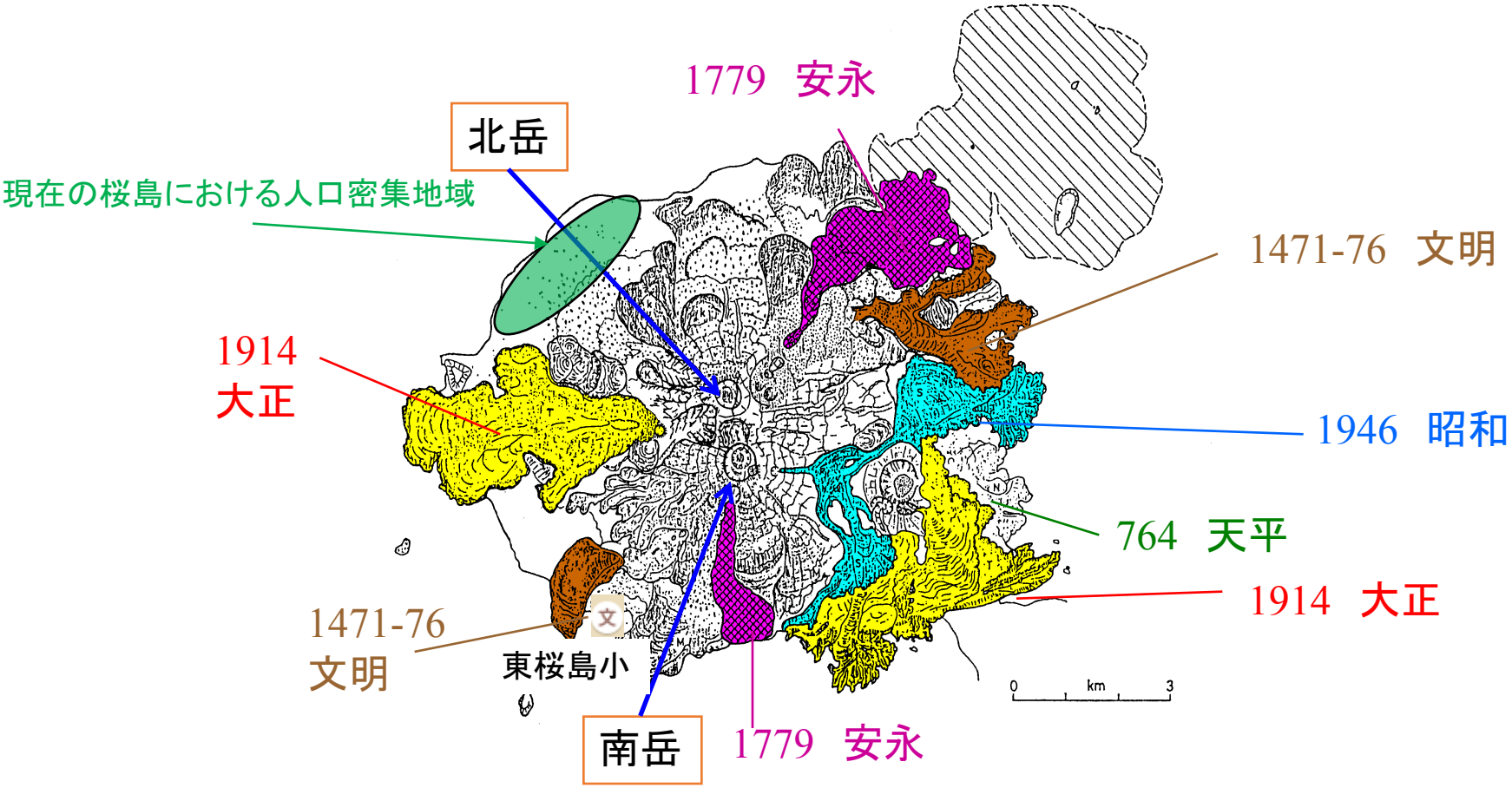
住民ハ理論ニ信頼セズ異変ヲ認知スル時ハ未然ニ避難ノ用意尤モ肝要トシ平素勤倹産ヲ治メ何時変災ニ遭モ路途ニ迷ハザル覚悟ナカルベカラズ

大正十三年一月

東桜島村

鹿児島市東桜島小学校校庭の傍にある記念碑

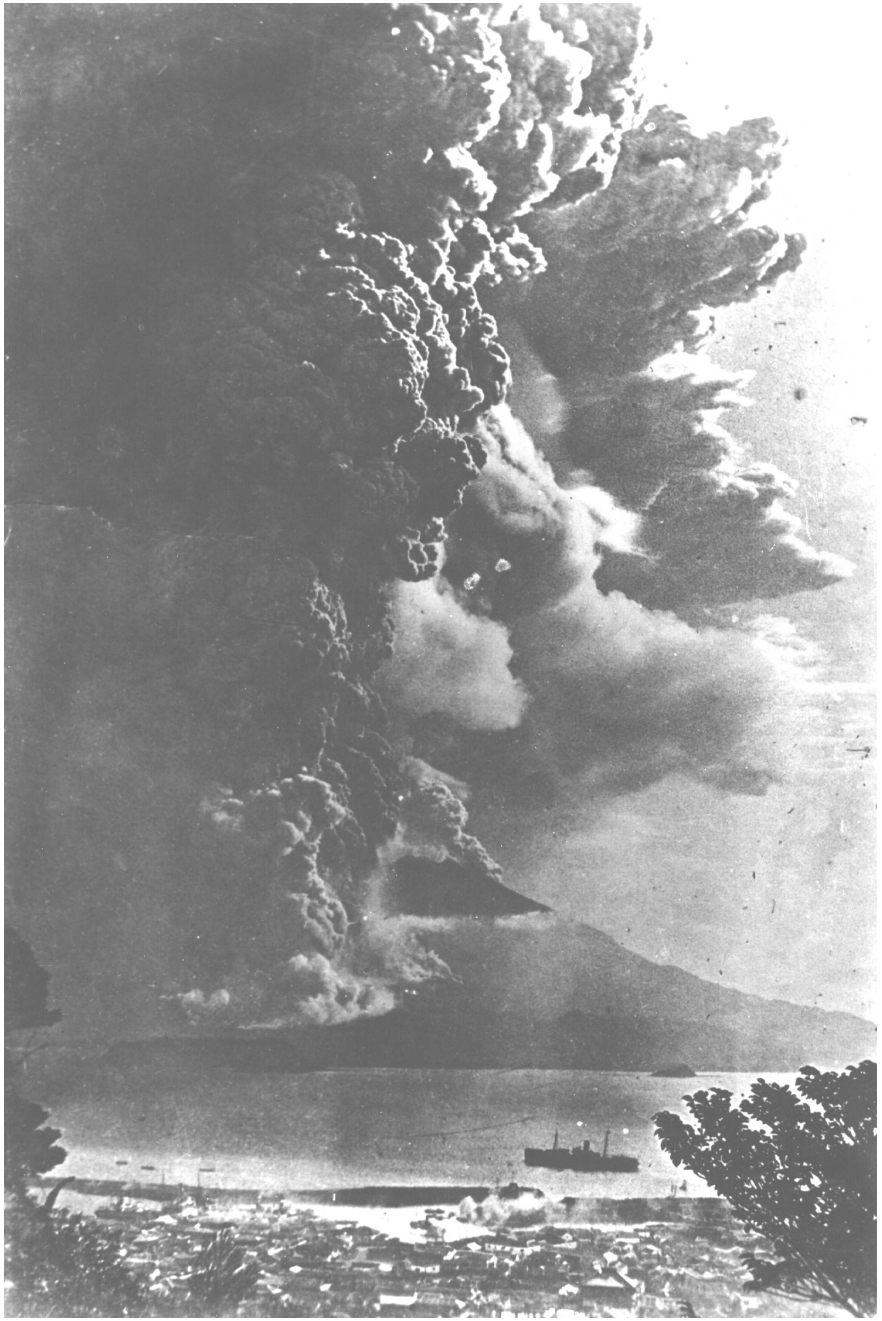
歴史にある桜島の大規模噴火の噴火口と溶岩流の分布



これらの大規模噴火はすべて山腹噴火である．噴火は山頂に対してほぼ対称な位置から噴火した．
前回の噴火と異なる場所から噴火した．ということは次回は？

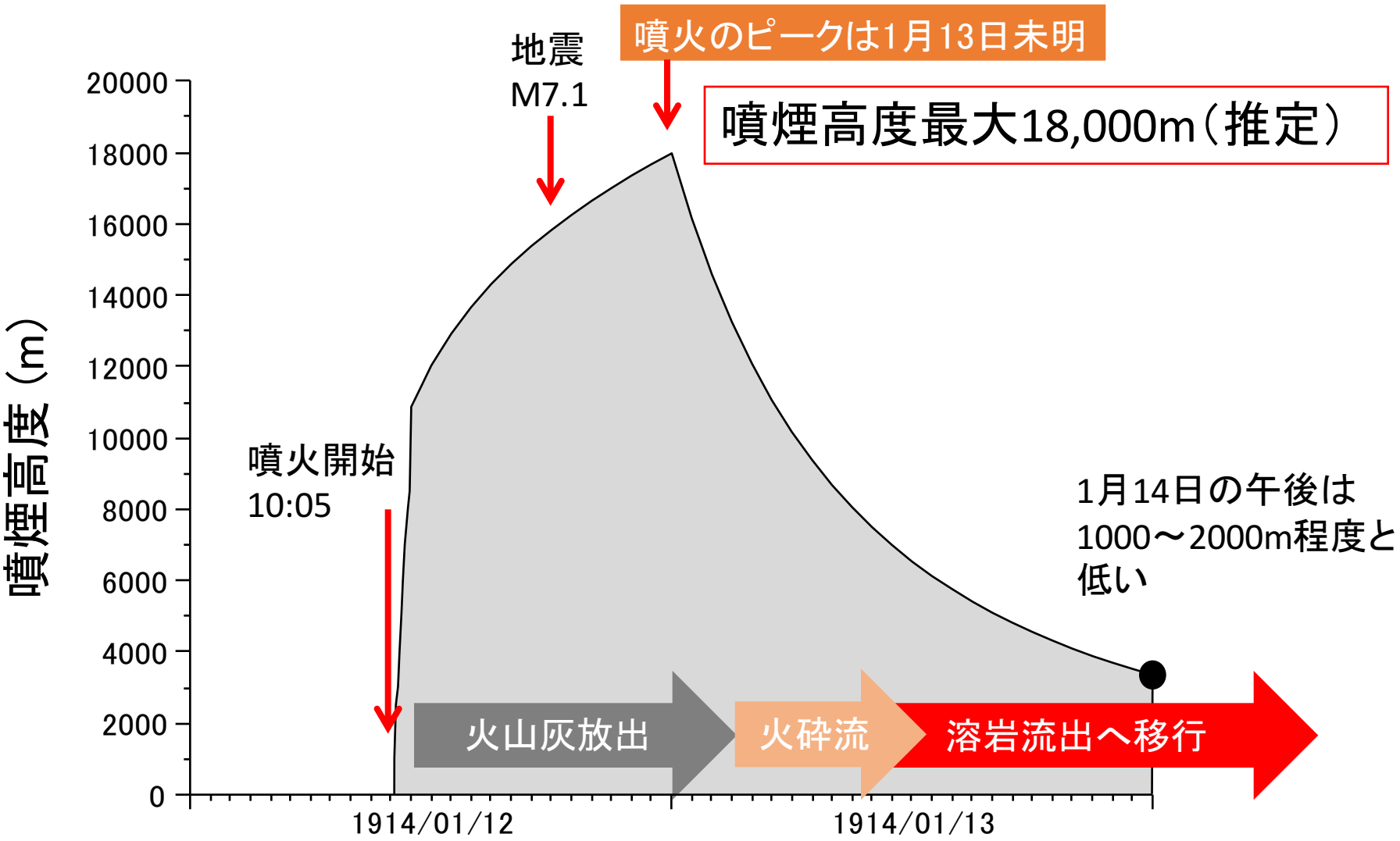
桜島大正噴火

- 1914年1月12日10:05開始
- 本邦20世紀最大の噴火：溶岩13億㎥，火山灰5億㎥
- 桜島と大隅半島が陸続きになった.
- 噴火開始8時間後にマグニチュード7.1の地震発生
- 死者23名，行方不明者35名（地震による死者）
- 2万2千人が島外へ避難（20世紀以降本邦最大）



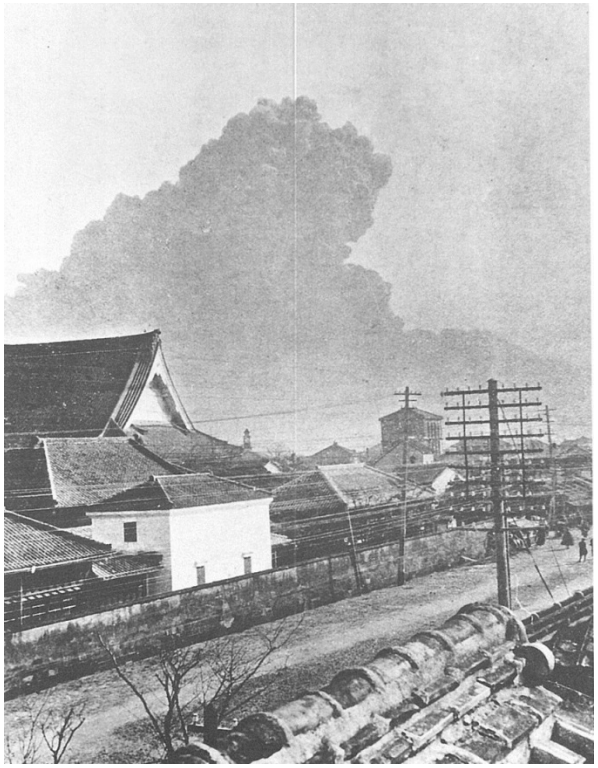
噴火開始30分後

大正噴火の推移

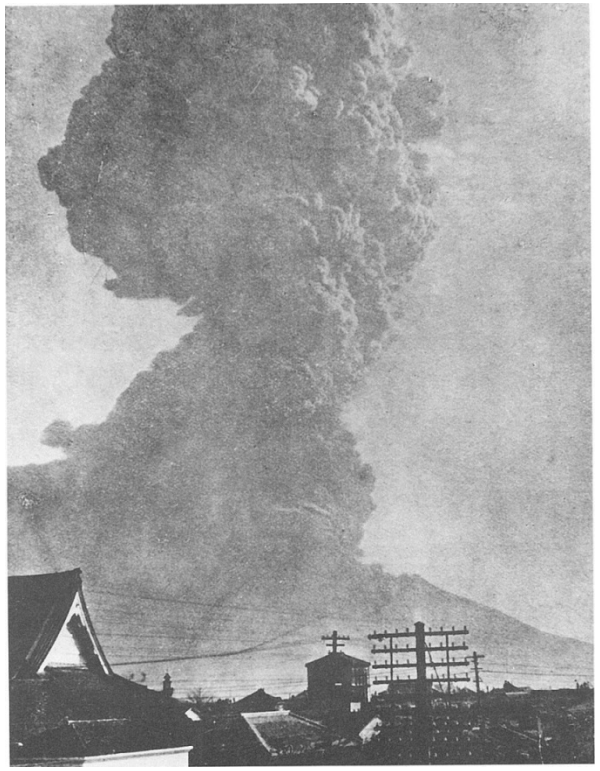

噴火のピークは1月13日未明
地震
M7.1
噴煙高度最大18,000m（推定）
噴煙高度（m）
20000
18000
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
噴火開始
10:05
1月14日の午後は
1000～2000m程度と
低い
火山灰放出
火砕流
溶岩流出へ移行
1914/01/12
1914/01/13

大正噴火　1914年1月12日10時5分開始

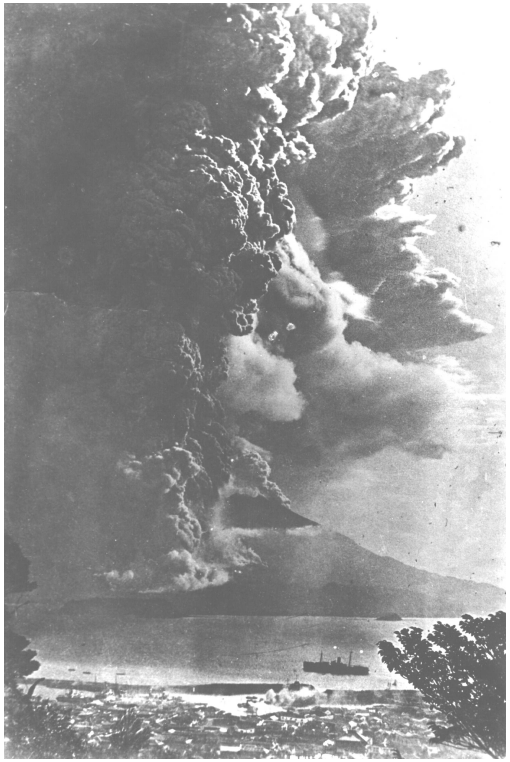
南岳のブルカノ式噴火程度



噴火開始10分後
1000m程度と低い



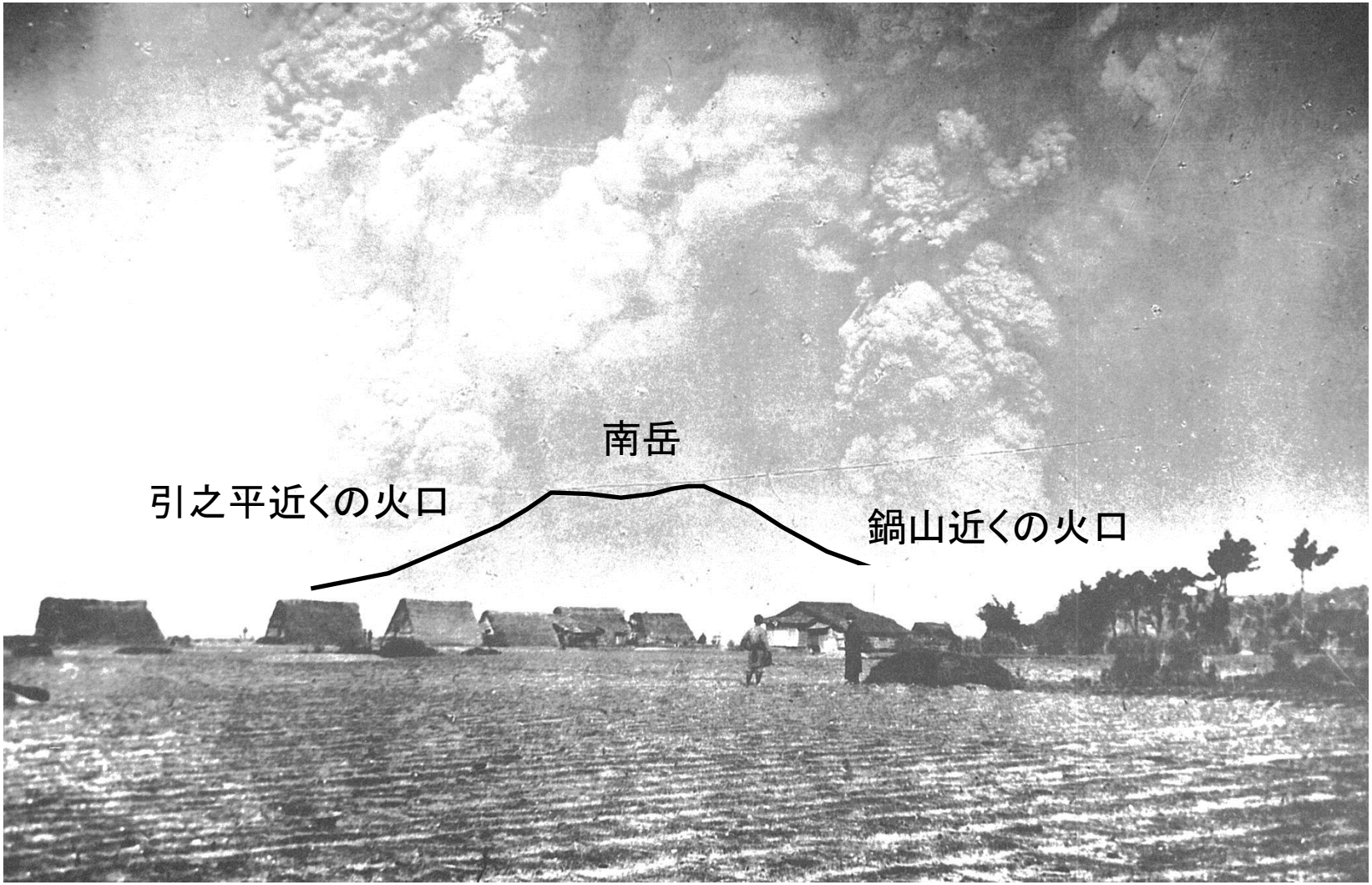
噴火開始20分後
3000m程度とまだ低い



噴火開始30分後

一瞬のうちに噴煙が10km立ち上ることはない．30分かかる．
噴火20分後程度であれば3000mクラスで普段の桜島の噴火と変わらない．ただし，噴煙の太さが段違いに太い．噴煙高度のみでの情報伝達では不十分

大正噴火は山頂噴火ではない．東西の両山腹から噴火した



垂水（10 km南東）から桜島を望む

鹿児島の火山防災ガイドBOOK（桜島大正噴火100周年記念事業委員会, 2013）

鹿児島市街地の近くでM7地震発生

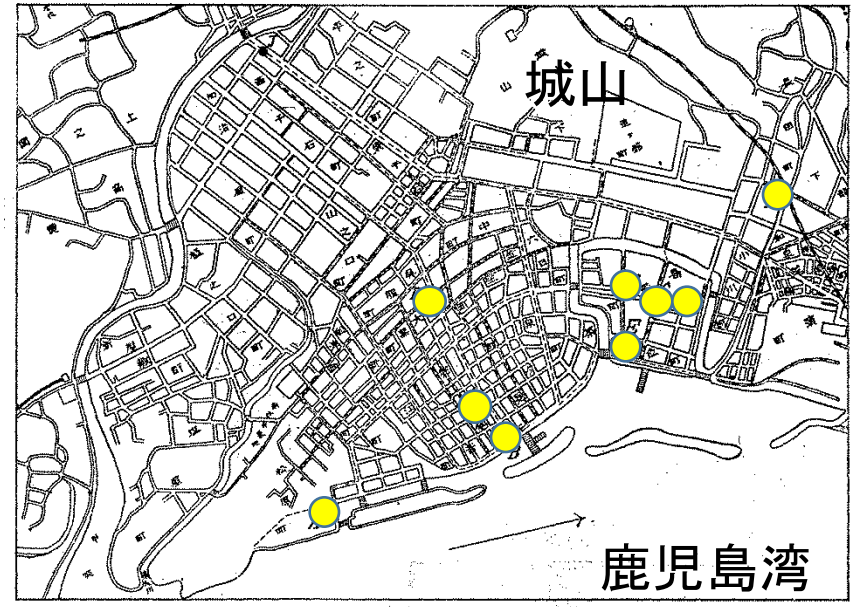


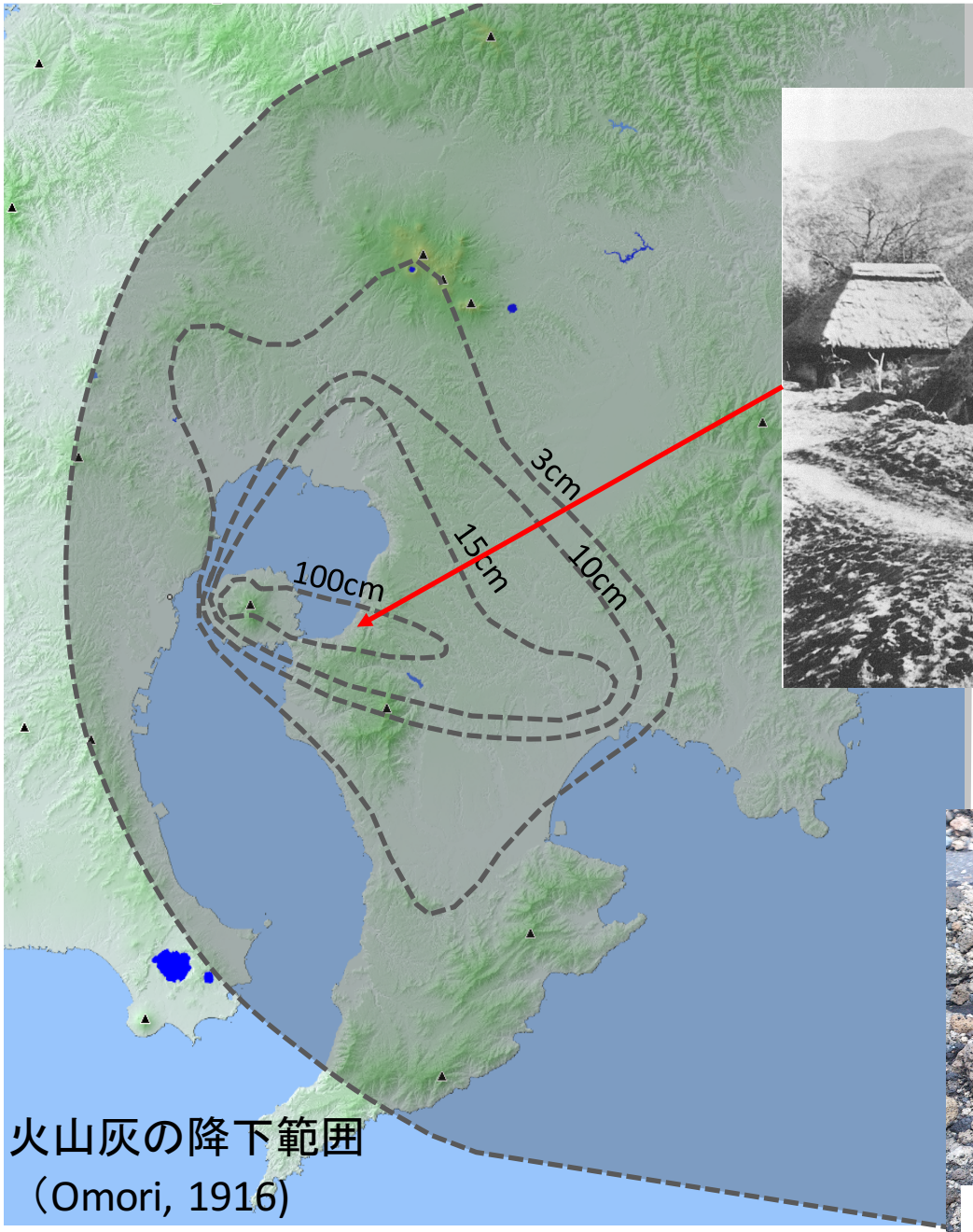
Fig. 24. Map of the City of Kagoshima, showing the Places (A, B, C.....J) where the gas pipes were broken by the earthquake of Jan. 12, 1914. (Dotted lines indicate the location of the 2″ to 8″ gas pipes.)

ガス管の破断個所

桜島地震 M=7.1
大正噴火開始の約8時間後（噴火継続中）

大正噴火による死者の半数はこの地震による

火山灰（軽石）被害



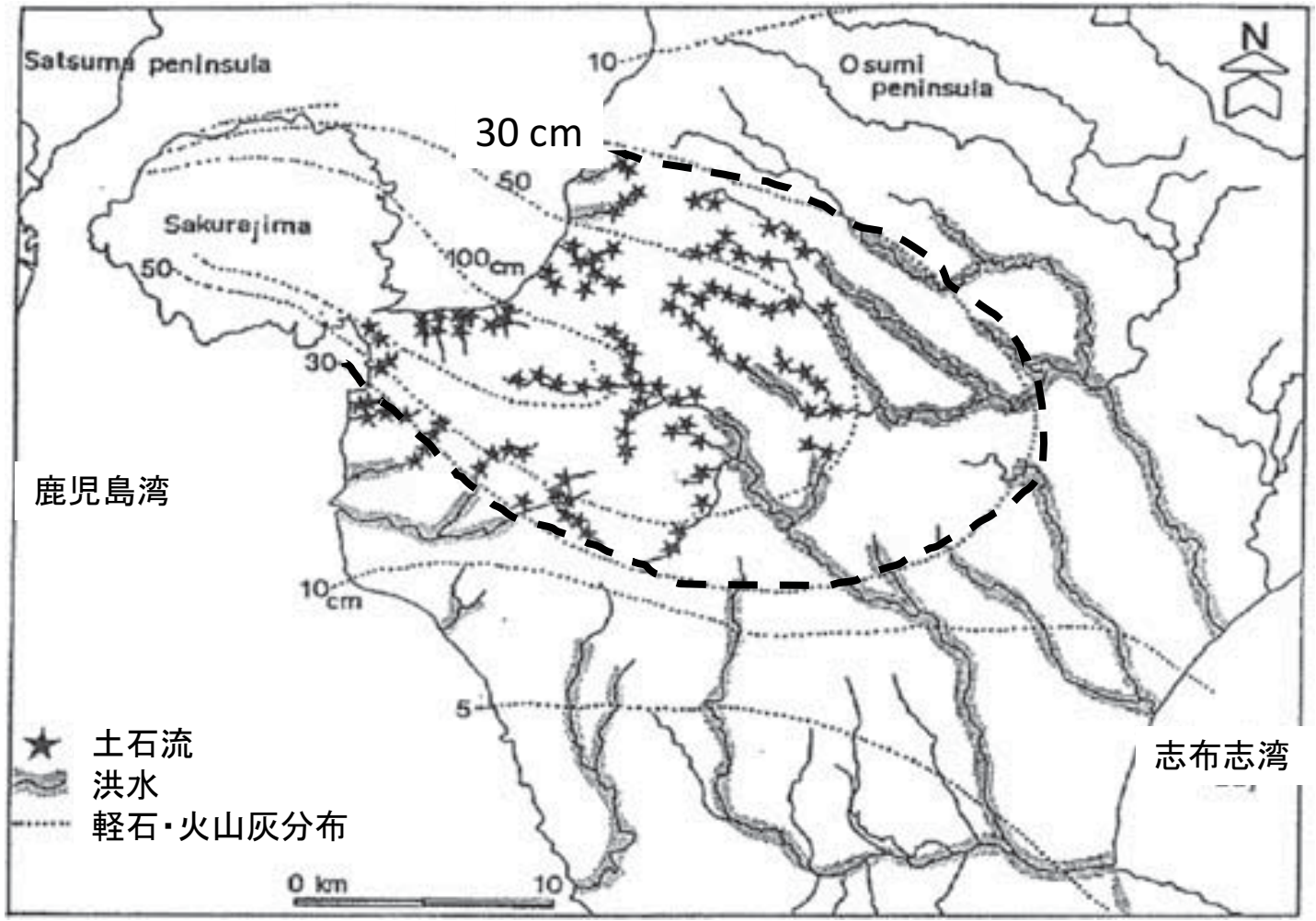
火山灰の降下範囲
（Omori, 1916）

火山灰を被った民家

そのすべてが灰というわけではない．軽石が大半でその上に灰が積もる．

軽石（インドネシア・ケルート2014噴火）

大量降灰後の土石流・河川氾濫

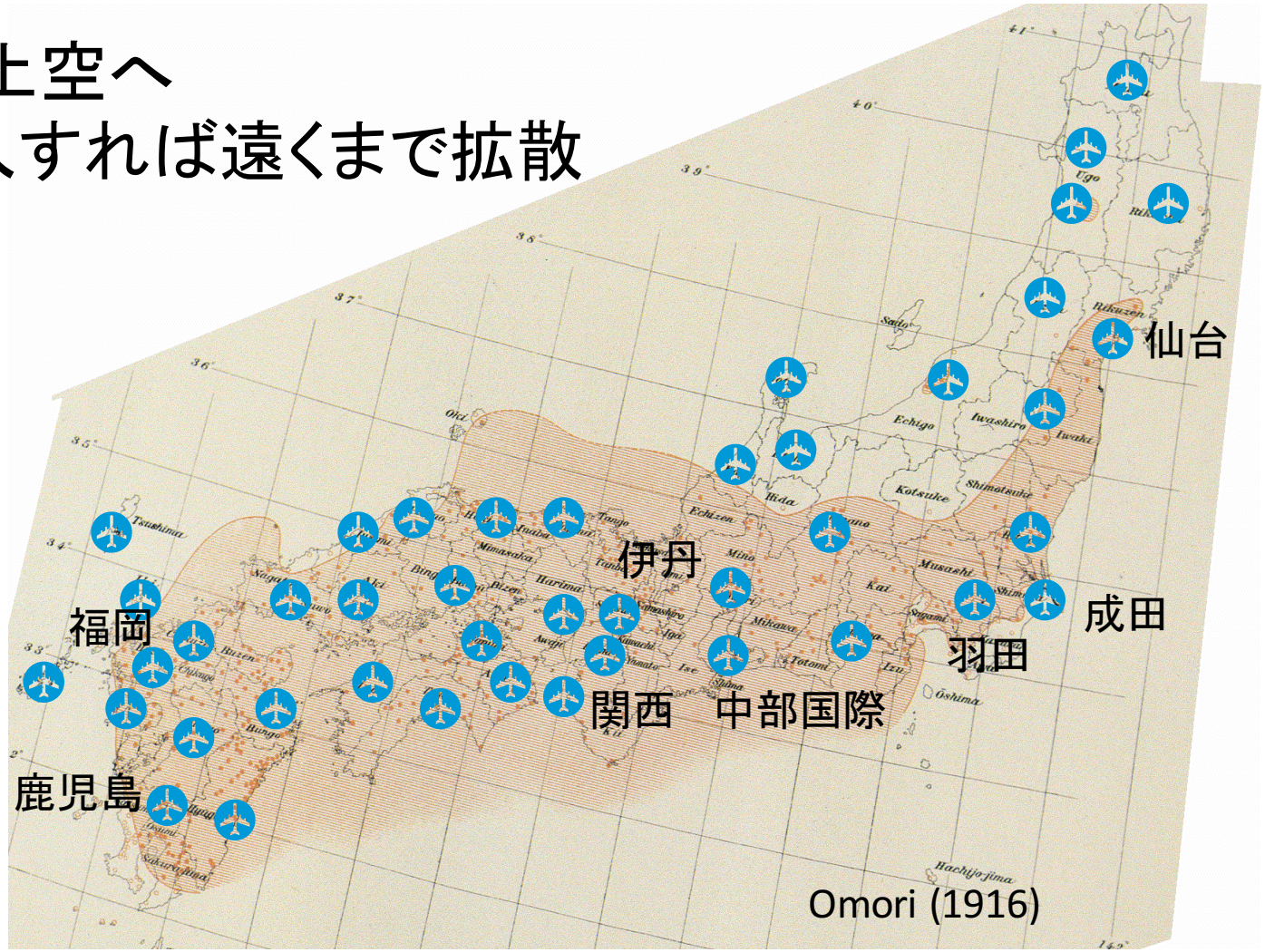


軽石・火山灰の分布（金井, 1920を改変）と土石流・洪水の発生河川　　出典：下川・他（1991）

- 土石流は，軽石・火山灰が30cm以上積もったところに分布
- 河川の氾濫は，鹿児島湾だけでなく志布志湾に流入する河川でも発生
- 噴火直後から10年間にわたり頻度は低下しながらも，集中降雨後に発生した.

大正級噴火の火山灰により空港機能停止

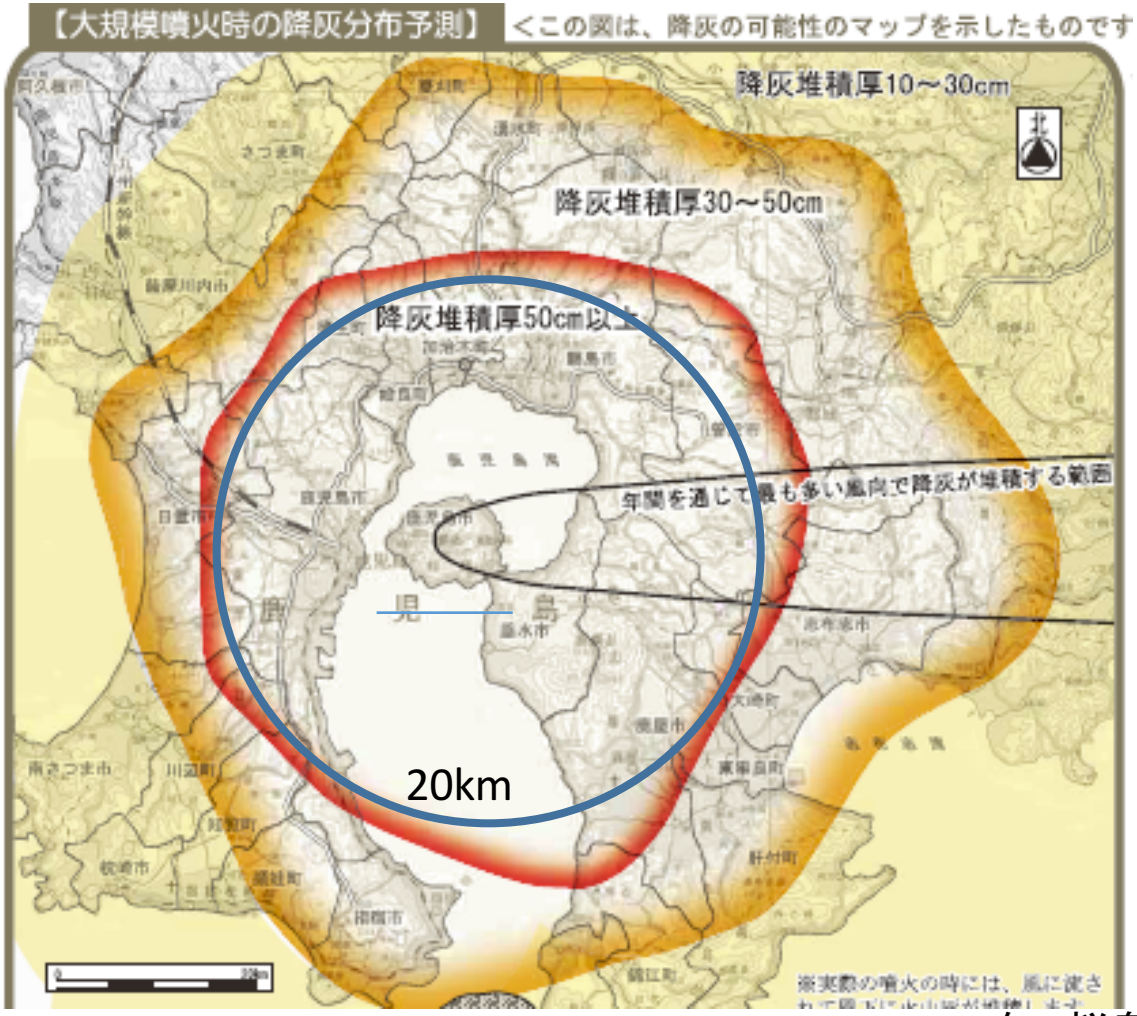
噴煙は20km上空へ
成層圏に突入すれば遠くまで拡散



桜島大正噴火の降灰分布に現在の空港の位置を重ねた．国内の主要空港をほぼカバー
九州での大規模噴火は首都圏・近畿圏・中部圏の人にとって他人事では済まされない．

大規模噴火時の火山灰・軽石堆積分布予測

有史以降に最も多くの火山灰・軽石を噴出した文明噴火時の噴出量を想定

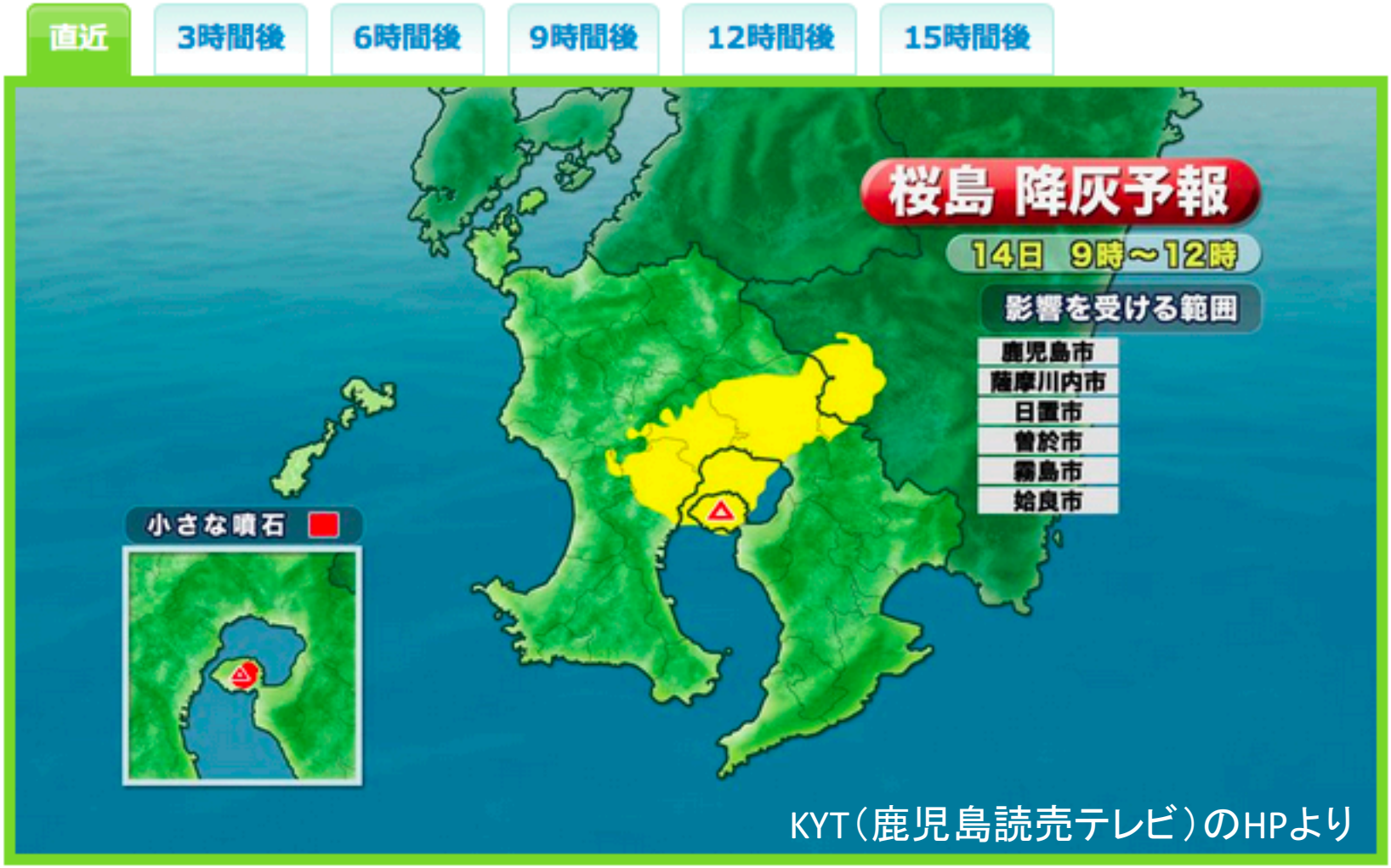


※実際はこの想定通りにならないことは，既に分かっている．想定は年間の風向・風速を考慮して全方向に分布させたものだから．

H19年　桜島火山防災検討委員会

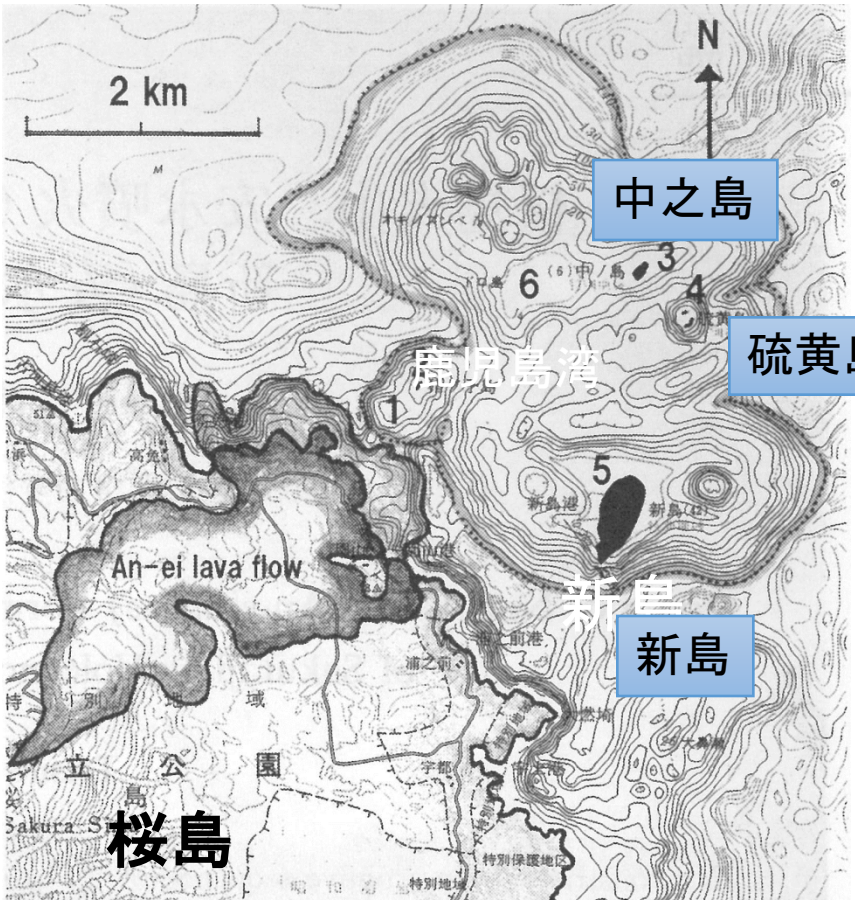
- 風下になれば，桜島から20 km圏で50 cm以上，50 km圏で30 cm以上の火山灰・軽石が堆積する．
- 大正噴火では垂水市の堆積67 cmのうち，軽石が58 cmで火山灰が9 cmであった．

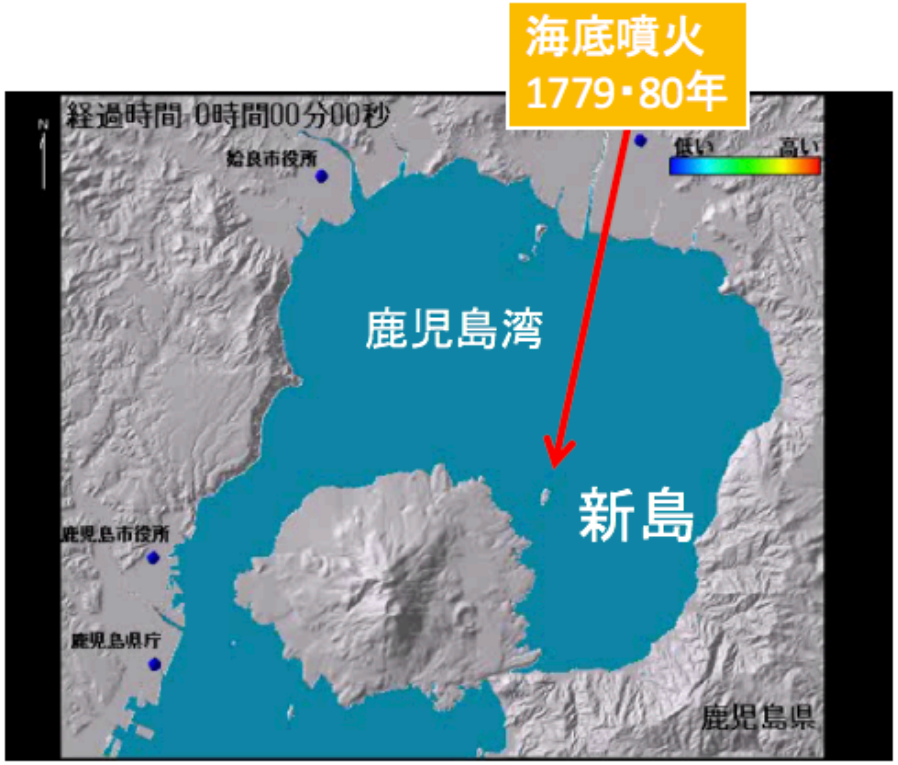
降灰予報が普段の生活の一部である



※鹿児島では日常的に予想降灰範囲が天気予報で解説されている.
普段は洗濯物干しや外出の意思決定に役立っている. 大規模噴火時においての各レベルにおける意思決定に役立つ！

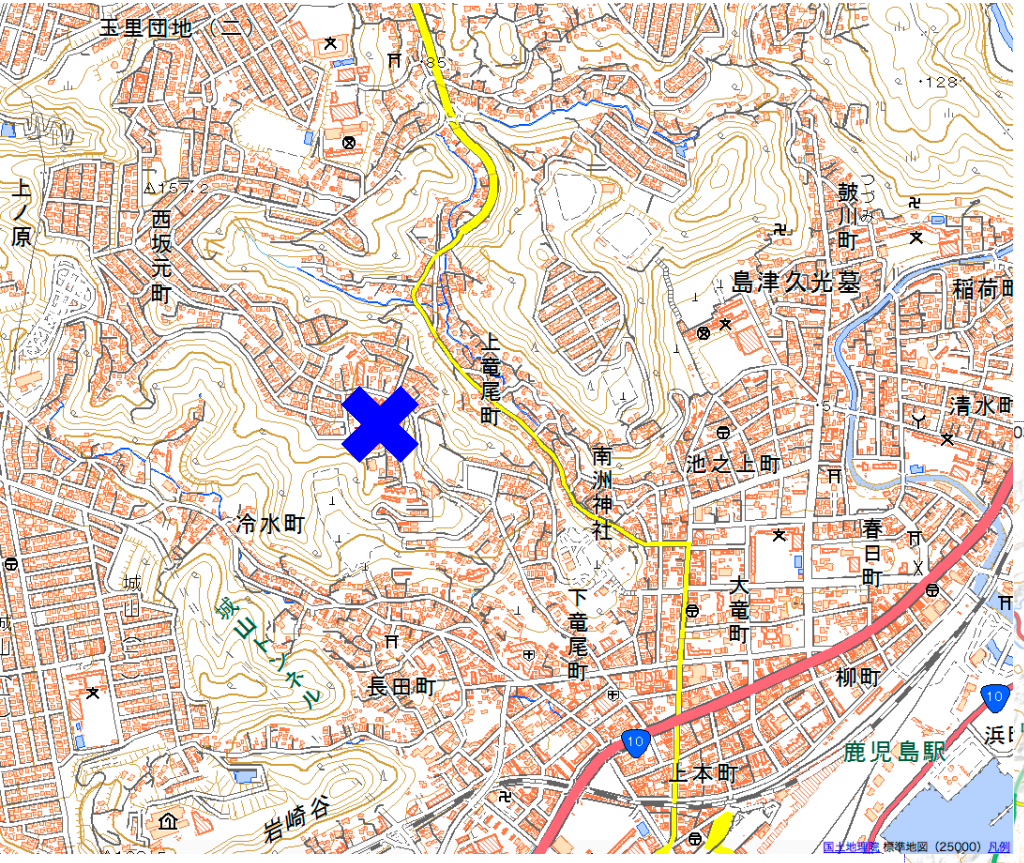
安永噴火では海底噴火により津波発生



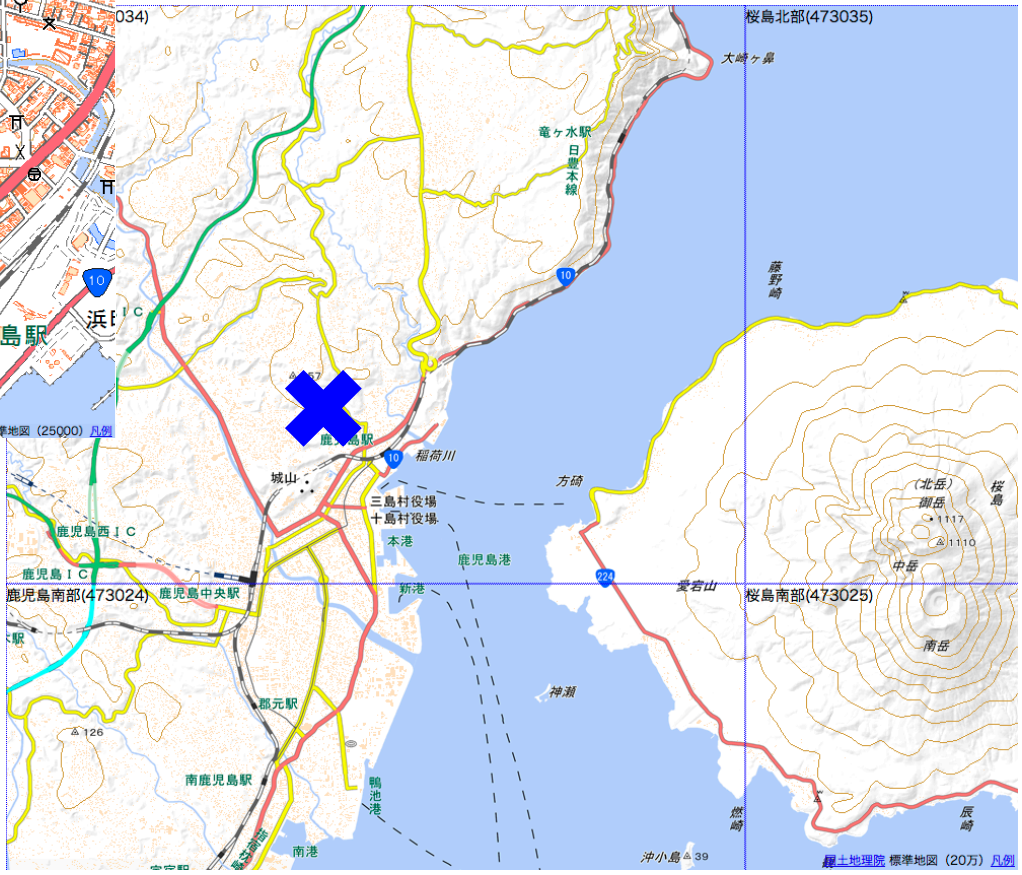


鹿児島県地震等災害被害予測調査（平成24年度～）

当時の鹿児島測候所



南岳から西北西に10 km のところ



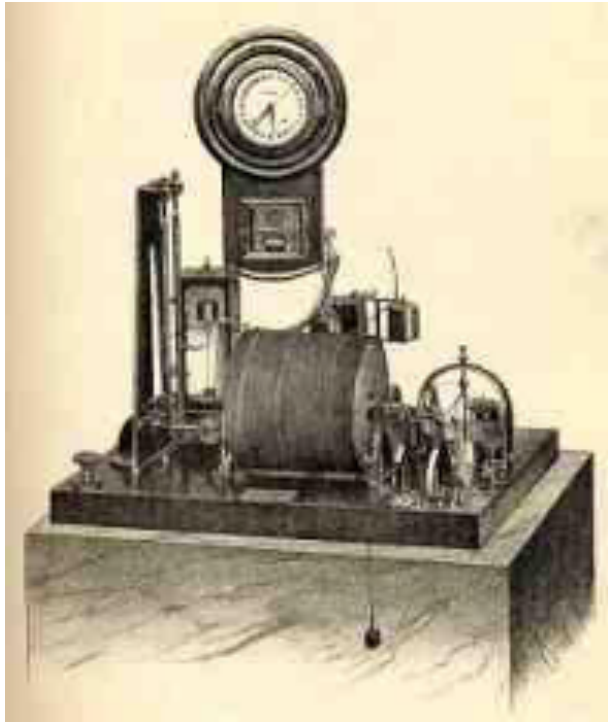
★グレイ･ミルン式地震計1台

【この場所にあった時期】
1897(明治30)年10月～1915(大正4)年7月

グレイ・ミルン式地震計

- 鹿児島測候所では1888年11月～1914年1月16日運用
- 周期およそ3秒以内
- 倍率　上下動10倍
- 　　水平動5倍
- 【参考】

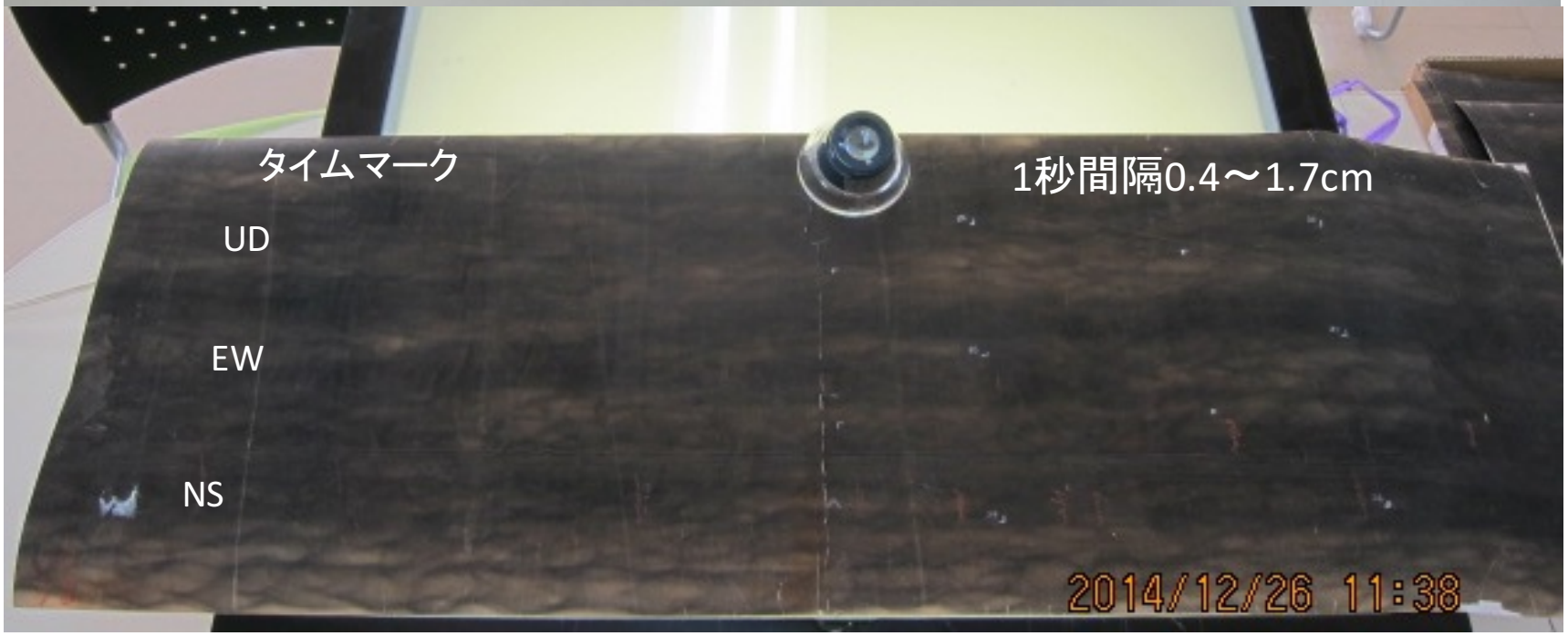
中央気象台で公式地震計として設置され，1885年から1893年まで8331個の地震が記録された.



Gray-Milne地震計
中央気象台（東京）で使用されたもの

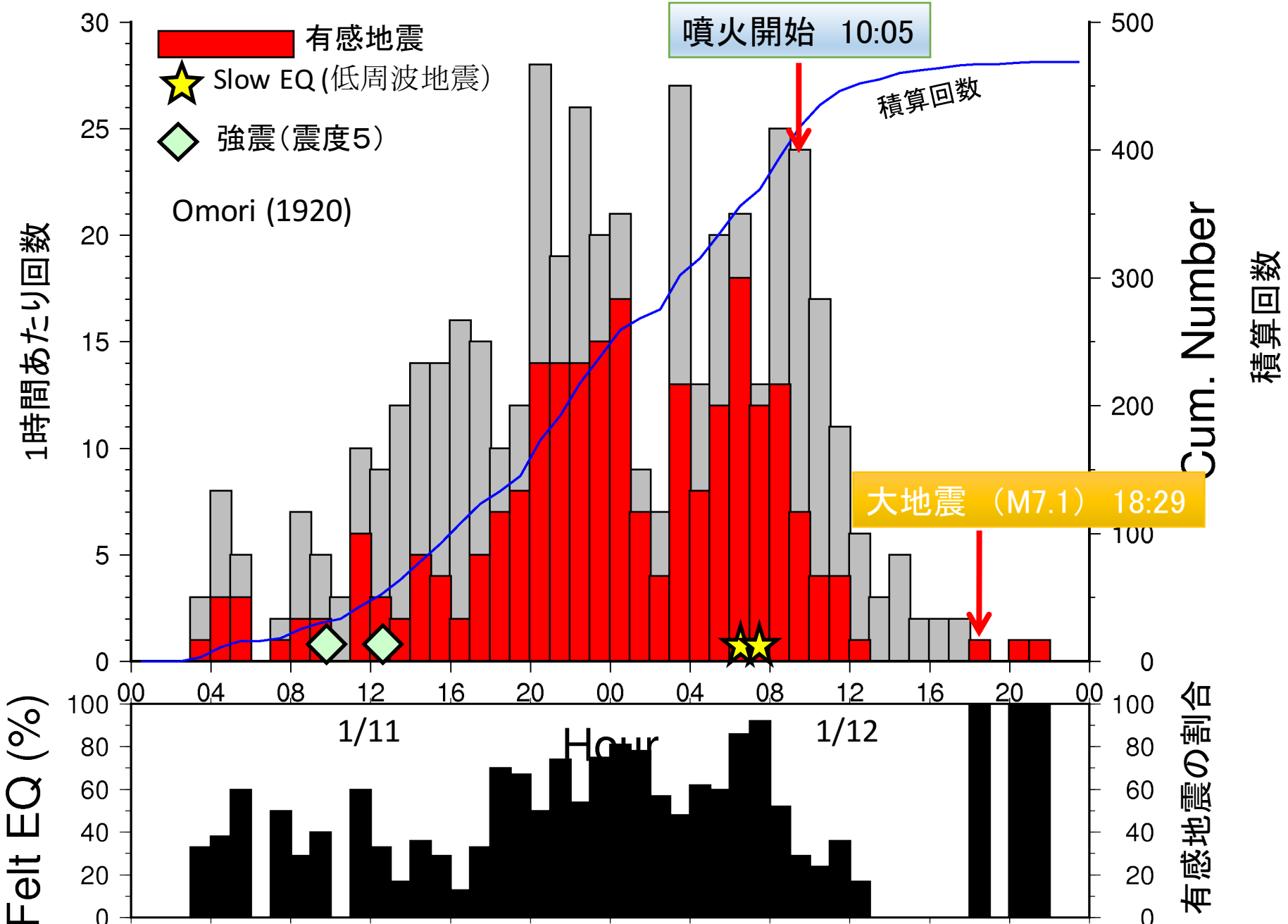
大正噴火時の地震記録

鹿児島地方気象台にて保管

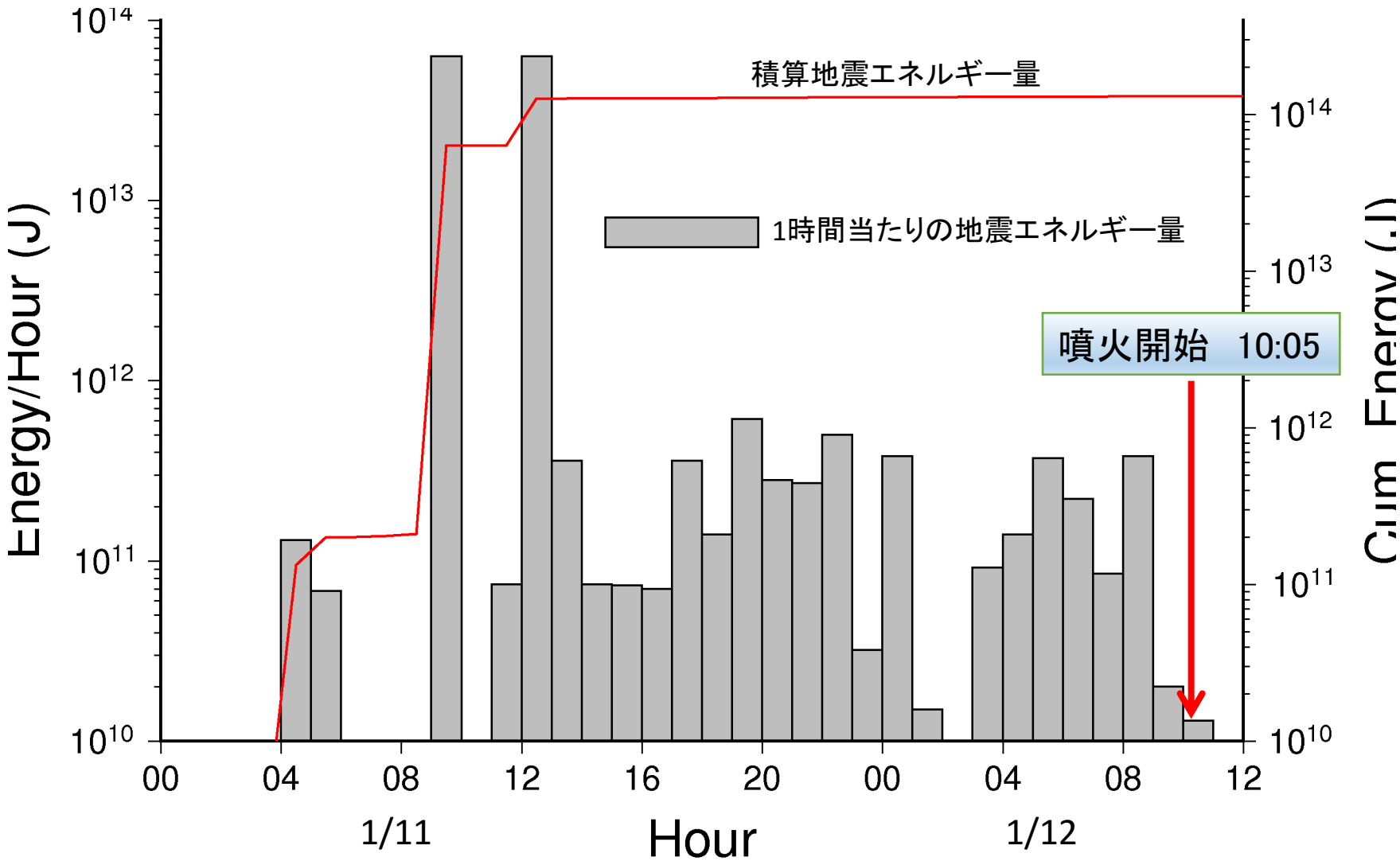


幅95cm 時間：56秒～238秒　相当

桜島大正噴火の地震活動

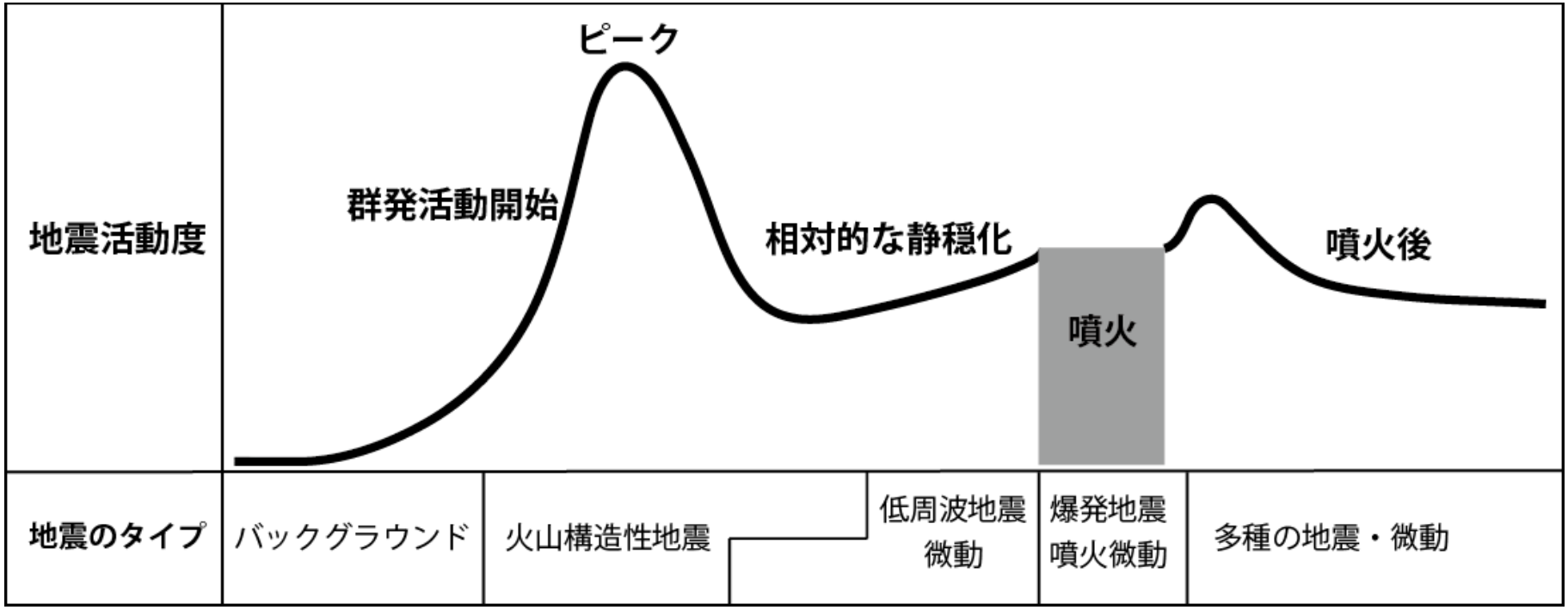


前駆地震のエネルギー



Omori (1920)の震度からエネルギー換算して求めた.

Generic Volcanic Earthquake Swarm Model
火山性地震活動推移“教科書的”モデル



McNutt (1996)を改変

規模と時間スケールは異なるが，桜島大正噴火も御嶽山2014年噴火も有珠山2000年噴火も前駆する地震の発生はこのモデルに従っている.

2015年8月15日
桜島噴火危機

〇井口正人防災研教授の当日の対応

8:00　気象庁福岡管区気象台から桜島火山に関して電話連絡
10:00 気象庁福岡管区気象台と電話で協議
10:15 気象庁は、桜島噴火警戒レベルをレベル4に引き上げ。
気象庁発表を受けて鹿児島市は「避難準備情報」を出す。
鹿児島市に対して、避難準備対象地域について助言　火砕流想定入れた設定

噴火警戒レベル導入（2007年12月）以降で国内で初めてのレベル4
しかし，全島避難ではない範囲限定.

桜島 警戒レベル4

2015.8.16 南日本

噴石、火砕流の恐れ

3キロ圏 77人避難

鹿児島地方気象台は15日午前10時15分、鹿児島市の桜島で規模の大きな噴火が切迫しているとして噴火警報を出し、噴火警戒レベルを3（入山規制）から4（避難準備）に引き上げた。市は火口周辺約3キロの51世帯77人に避難勧告を発令し、全員が避難した。桜島は同日、火口直下で火山性地震が急増し、急激な山体の膨張を示す地殻変動が観測された。2007年に警戒レベルの運用が始まって以降、桜島のレベル4は初めて。（30、31面に関連記事）

消防車両で避難所に搬送される住民＝15日午後1時15分ごろ、鹿児島市東桜島町の島静児福祉センター東桜島（中芝貴史撮影）

気象台によると、15日午前7時ごろから、南岳山頂の北東側で火山性地震が急増。午前9時から午後2時まで1時間ごとに100回以上発生し、午後10時までに計千回を超えた。大半がマグマの通り道である火道周辺で岩石を破壊して発生する地震だった。島内を始点にカルデラの噴火後、約2万6千年前にできた火山島。5千年前までは北岳が活動していた。2078世帯448人（7月1日現在）。

Q―ズーム　桜島

山性地震が急増。午前9時から午後2時まで1時間ごとに100回以上発生し、午後10時までに計千回を超えた。大半がマグマの通り道である火道周辺で岩石を破壊して発生する地震だった。島内を震源とする最大震度1～2の有感地震も4回観測された。

気象台は居住区域に噴石や火砕流など重大な被害が起きる可能性が高いと判断。原田哲史次長は「昭和火口から噴火する可能性が高いが、別の新たな場所からの噴火も考えないといけない。噴火が起きないとしても最低1週間は様子を見る必要がある」と話した。

市は午前11時15分、避難所を設置し、午後11時までに36世帯56人が避難した。市は避難勧告の対象地域に住民がいないことを確認している。

勧告の対象地域以外でも、介助が必要な病院の患者などが自主的に避難した。

桜島は今年に入ってから山体膨張が確認され、昭和火口の爆発回数は691回（14日時点）に上っている。（廣庭直之）

噴火警戒レベル

噴火警報	5 避難	口永良部島（鹿児島）	特別警報に当たる
	4 避難準備	桜島（鹿児島）	
噴火警報	3 入山規制	箱根山（神奈川）	
火口周辺警報	2 火口周辺規制	雌阿寒岳（北海道）	
		吾妻山（山形、福島）	
		浅間山（群馬、長野）	
		草津白根山（群馬、長野）	
		御嶽山（長野、岐阜）	
		霧島山［新燃岳］（宮崎、鹿児島）	
		諏訪之瀬島（鹿児島）	
		阿蘇山（熊本）	
噴火予報	1 活火山であることに留意	十勝岳（北海道）	
		岩手山（岩手）	
		三宅島（東京）	
		富士山（山梨、静岡）など	

噴火警報と噴火警戒レベル

あすの朝刊は休みます
きょう16日は新聞製作を休み、あす17日（月）付朝刊は休刊とさせていただきます。不便をおかけしますが、ご了承ください。最新ニュースは南日本新聞ホームページか携帯サイトをご覧ください。

テレビ・ラジオ番組は15～18面

南日本新聞社

毎日のお食事に
キユーピーマヨネーズ

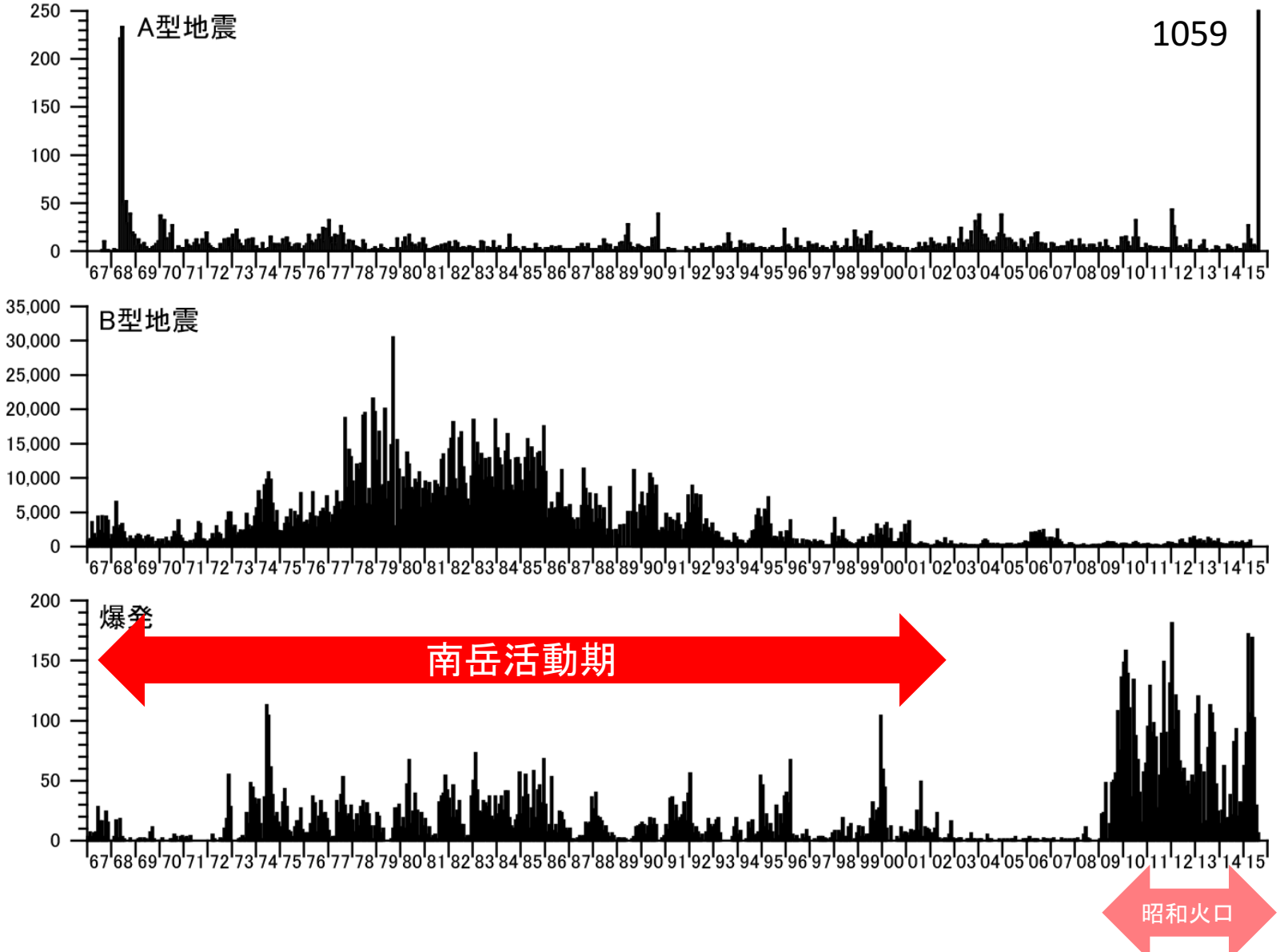
噴出量とマグマ量の関係

- 8/15以降に一気にため込んだマグマ量　約200万m^3
- 2013/8/18昭和火口噴火　火山灰量　約7.5万m^3
- 2012/7/24南岳山頂噴火　火山灰量　約14万m^3
- 桜島の昭和噴火　溶岩量　約2億m^3
- 桜島の大正噴火　溶岩量＋火山灰など　約20億m^3
- 大正噴火以降、姶良カルデラにため込まれている
  マグマ量　約18億m^3
- 御嶽山2014噴火　火山灰量　約25万m^3

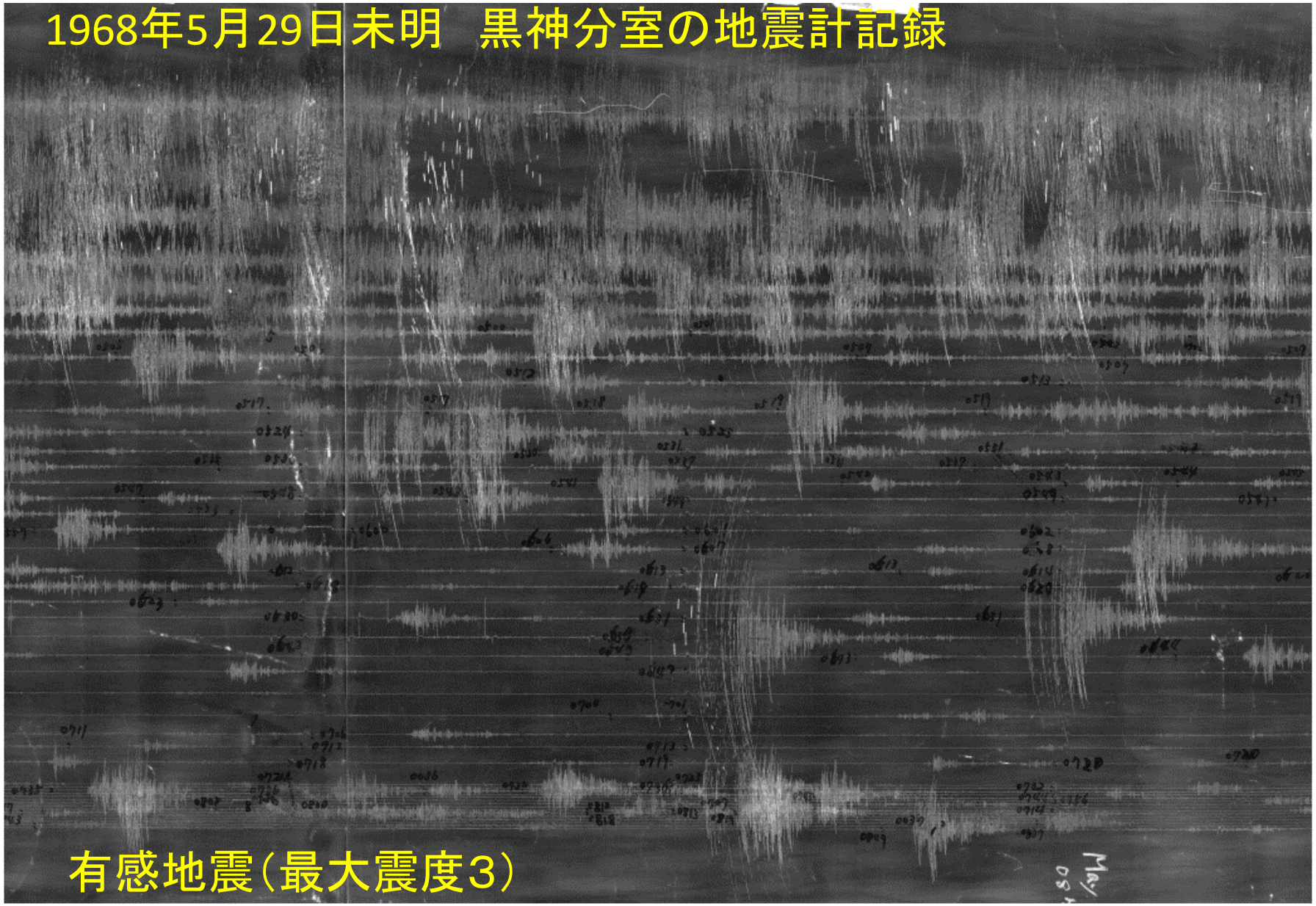
NPO法人桜島ミュージアムとの協働

理事長の福島大輔さん

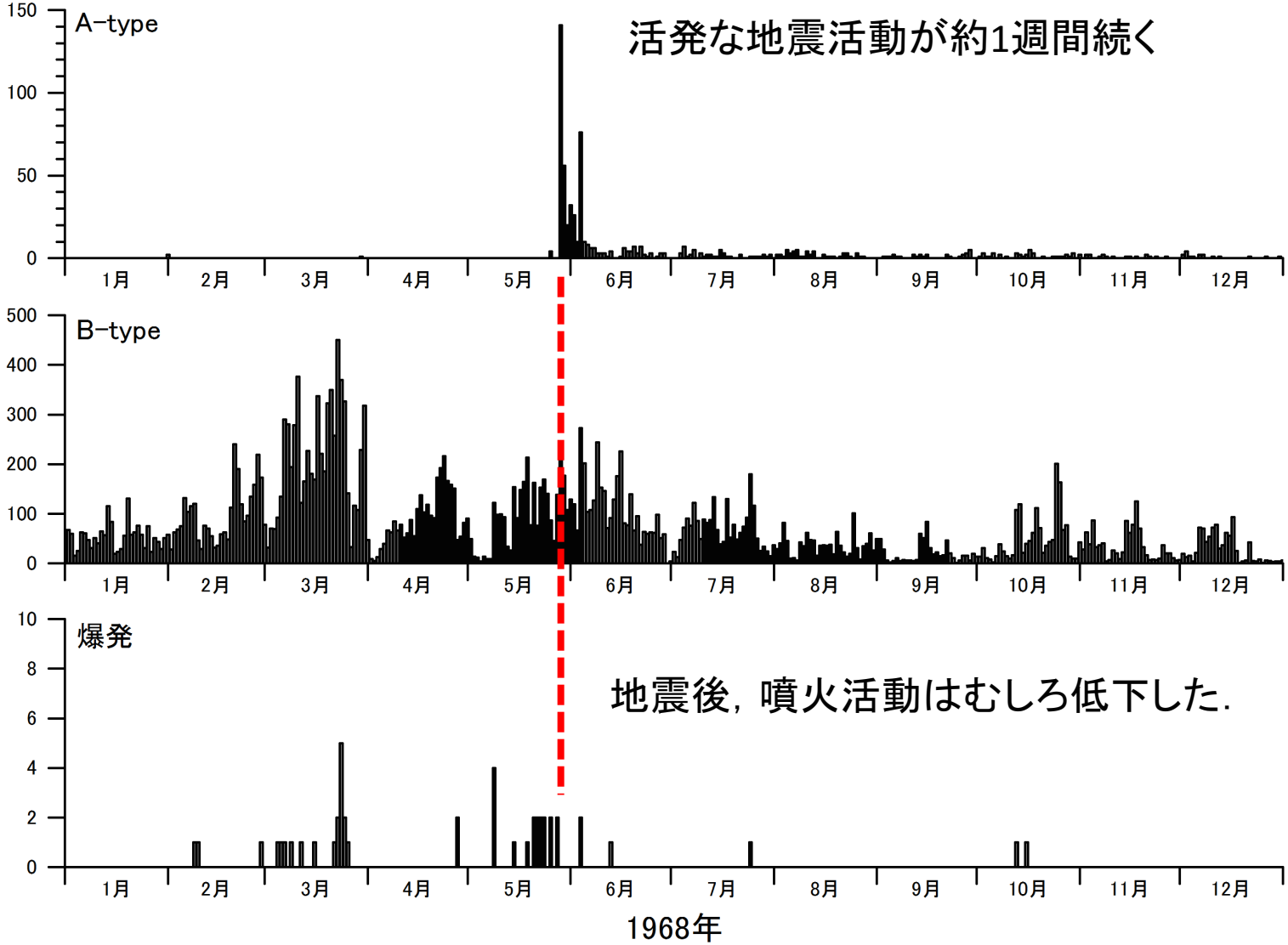
桜島の約50年間の地震活動（月別回数）



過去に起こった群発地震



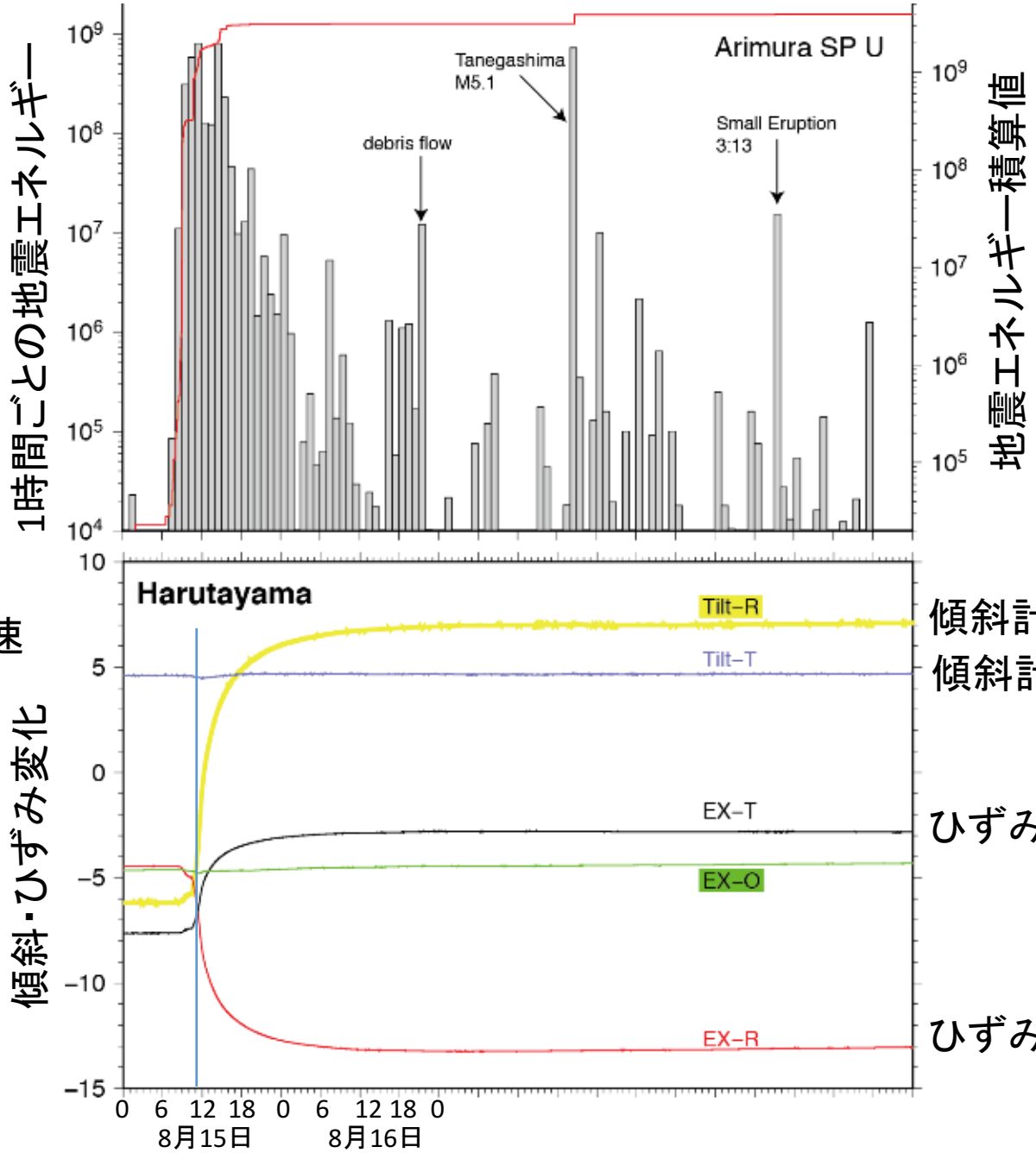
1968年5月の地震活動



前駆地震エネルギーは10^9Jで大正噴火の10^5分の1

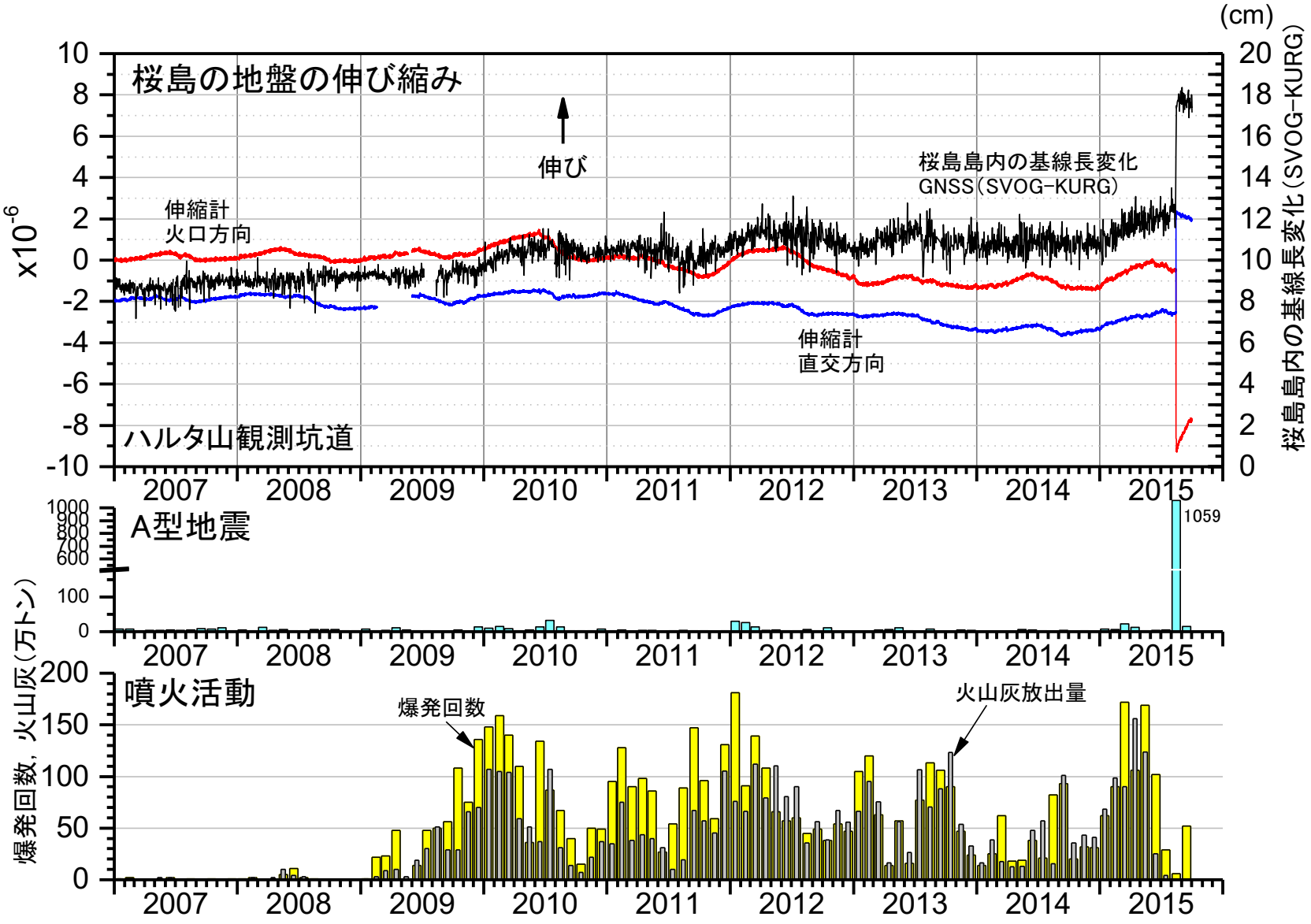
8月15日
7時　地震活動開始
8時　地盤変動開始
10時半 地盤変動加速

8月16日
深夜
地盤変動停止
収縮へ

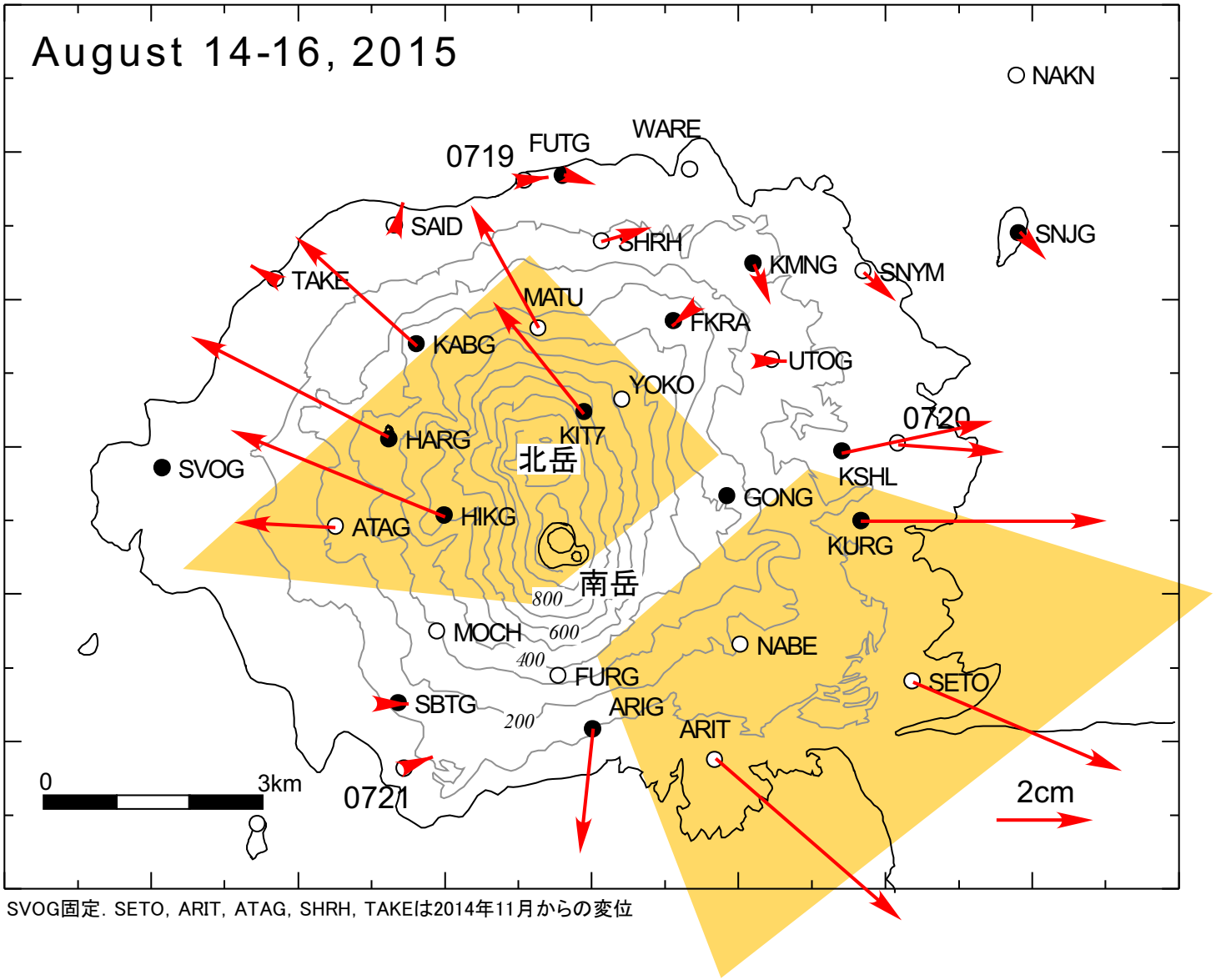


傾斜計火口方向
傾斜計直交方向
ひずみ計直交方向
ひずみ計火口方向

8月15日の地盤変動と地震活動

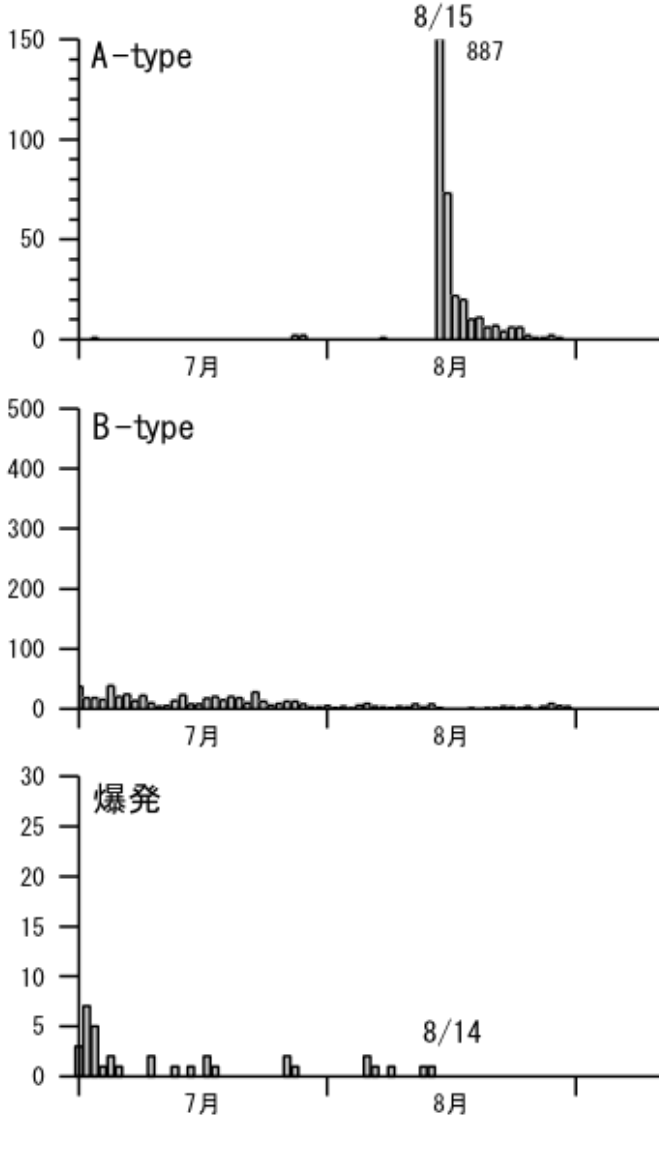


桜島が南東—北西方向に10cm伸びた



SVOG固定. SETO, ARIT, ATAG, SHRH, TAKEは2014年11月からの変位

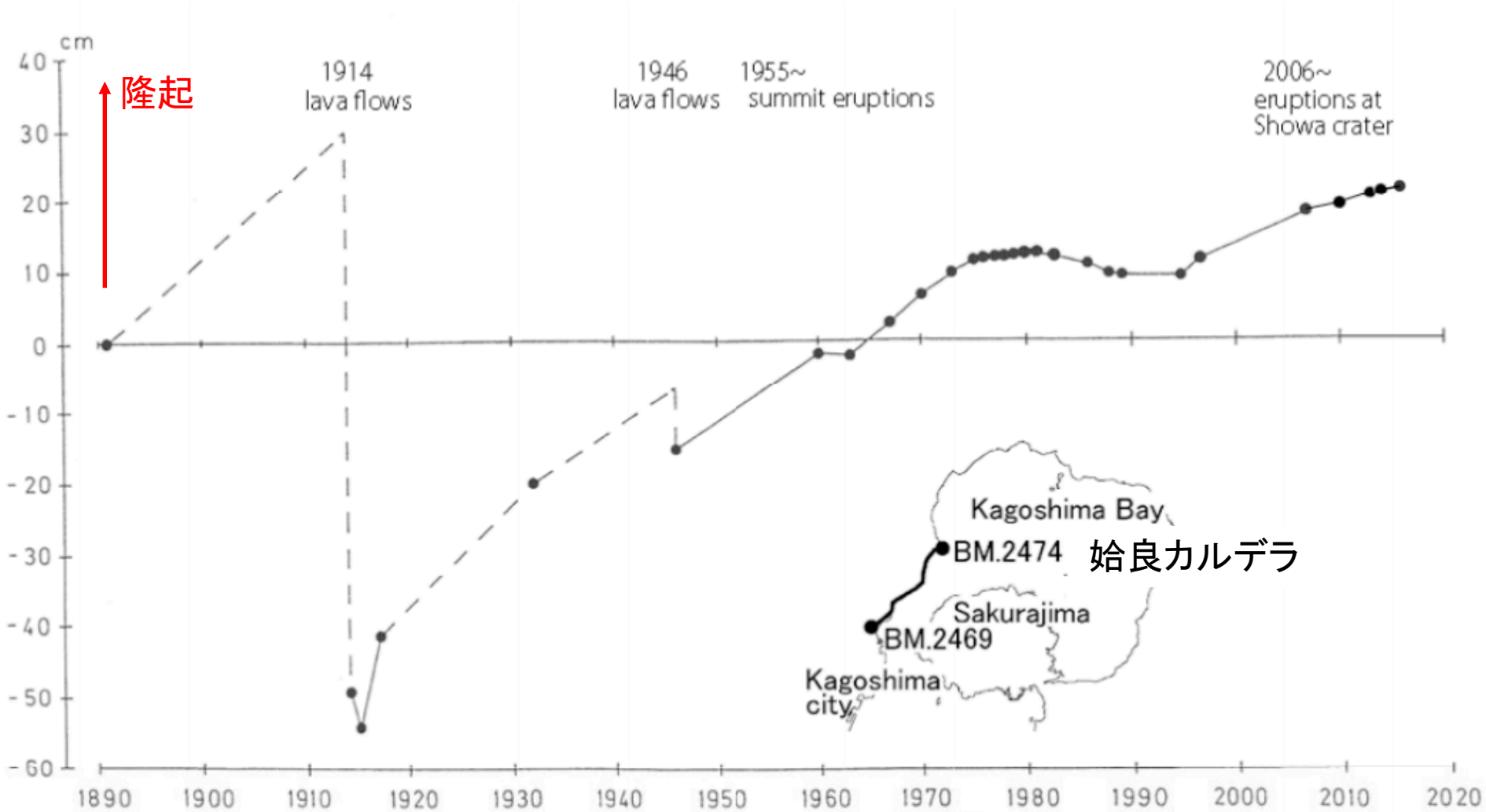
2015年8月末までの噴火と地震



- A型地震活動は急速に低下してきた．爆発はないものの小規模噴火は時々発生している．
- 7月以降の噴火活動の低下傾向の延長にある．8月15日のダイク状マグマ貫入は，現時点で桜島の活動に何も影響を与えていない．
- 8/15には有感地震が4回起こった．震度1と震度2

桜島における火山性地震（A型・B型）と爆発の日別発生回数（2015年8月31日まで）．

姶良カルデラの隆起が続いている



1年9ヶ月ぶりに姶良カルデラにおける上下変動検出を目的に水準測量を実施した．区間はBM2469（かごしま県民交流センター）からBM2474（大崎の鼻）である．前回測量を実施した2013年11月と比較するとBM2474（大崎の鼻）は8mm隆起しており，隆起傾向は継続している．8月15日のダイク貫入の影響はこの地点にはなく，姶良カルデラ下のマグマの蓄積量が依然として増加し続けていることになる．

インドネシア・ケルート山2014年噴火

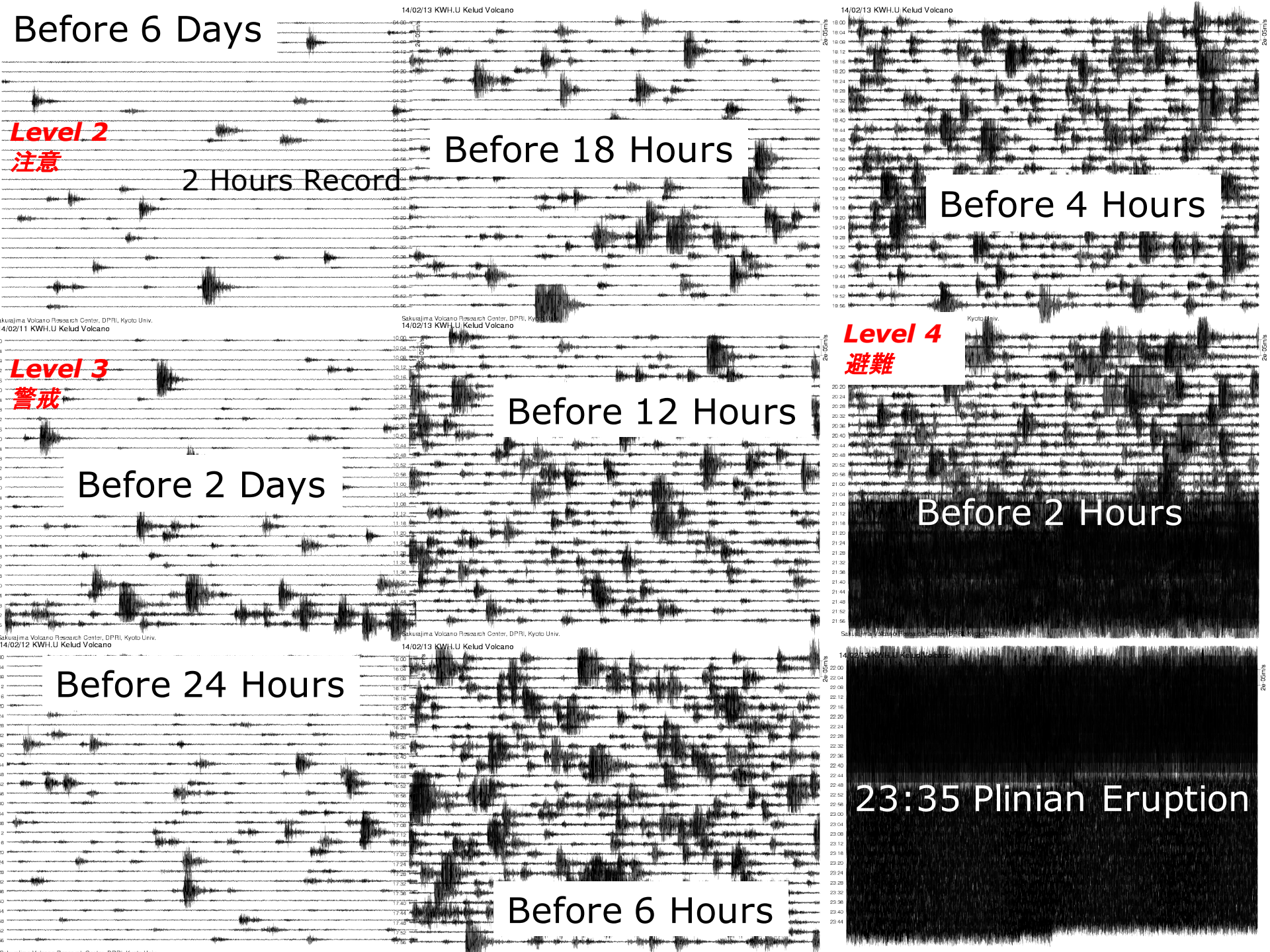
噴煙高度20km
噴出物量1億～2億m^3（桜島大正噴火の約半分）
20万人避難．死者2名

火口から10 kmにおいて10万人避難

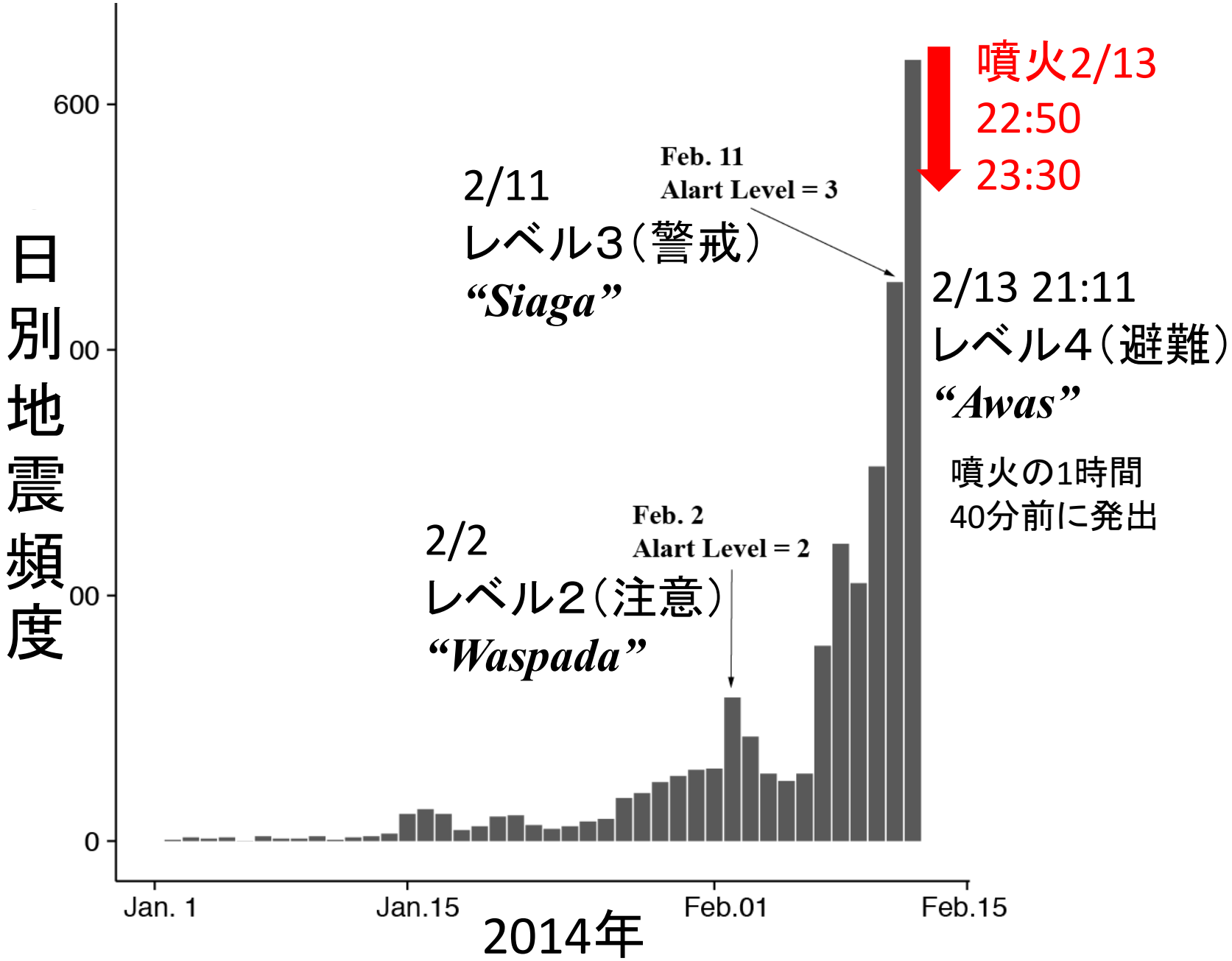
インドネシア・ケルート火山

2007年噴火前　　火口湖

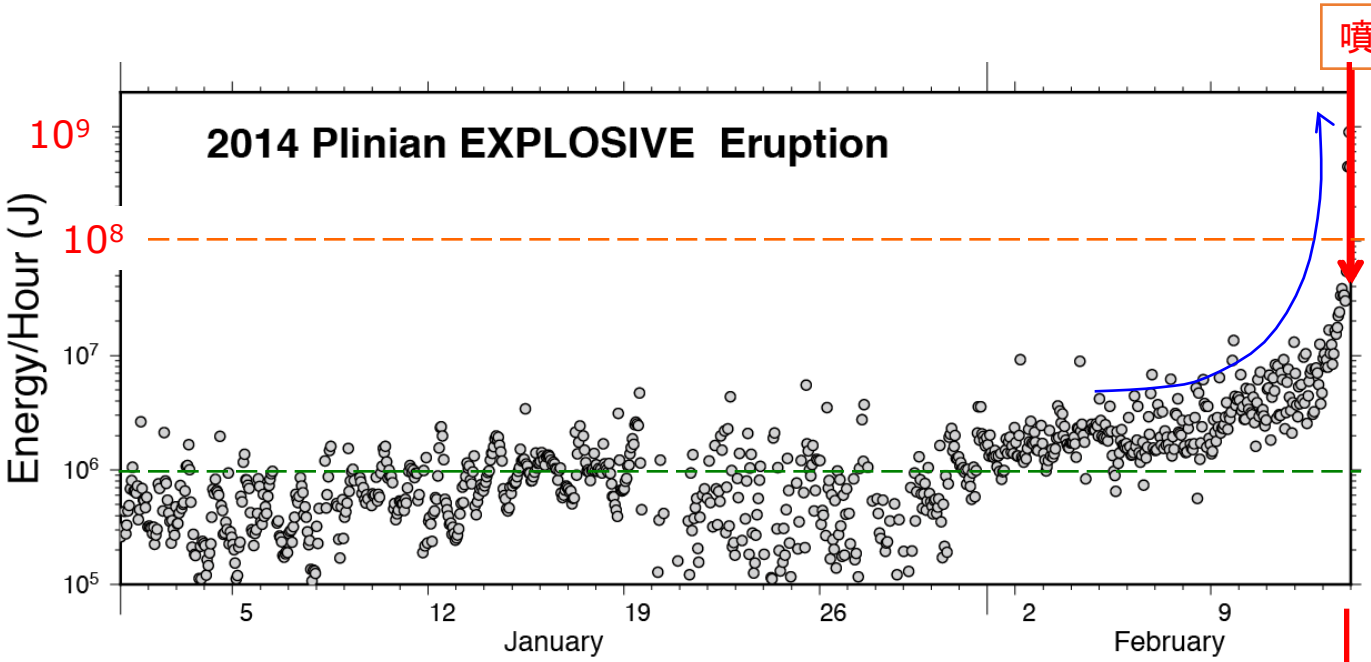
2007年噴火後　溶岩ドームが出来た


Before 6 Days
Level 2
注意
2 Hours Record
Before 18 Hours
Before 4 Hours
Level 3
警戒
Before 2 Days
Before 12 Hours
Level 4
避難
Before 2 Hours
Before 24 Hours
Before 6 Hours
23:35 Plinian Eruption
14/02/13 KWH.U Kelud Volcano
Sakurajima Volcano Research Center, DPRI, Kyoto Univ.
14/02/11 KWH.U Kelud Volcano
14/02/12 KWH.U Kelud Volcano

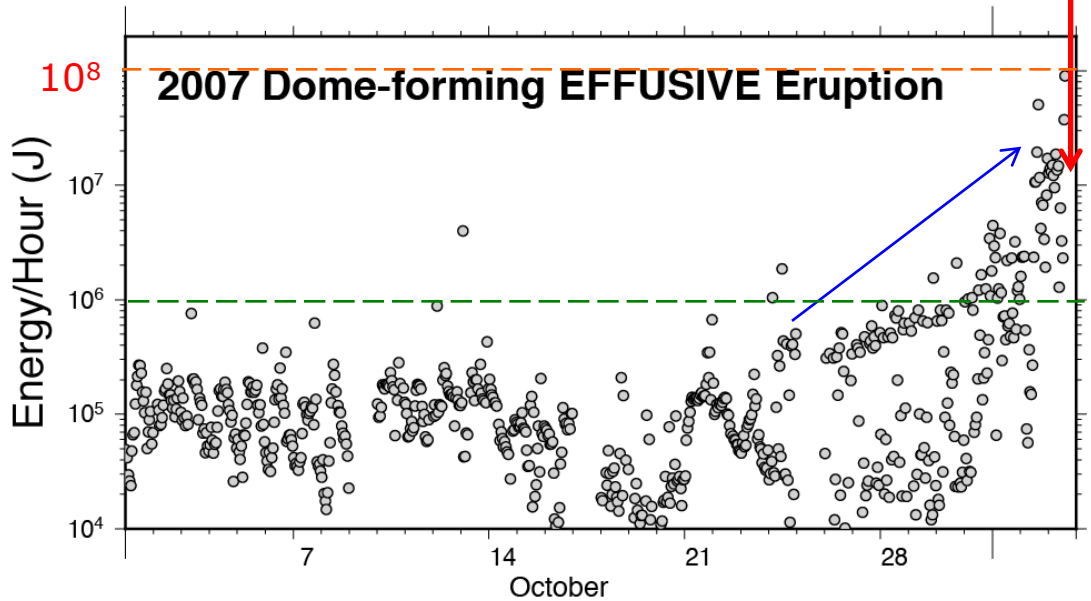
噴火に前駆する地震回数の増加



2007年と2014年の噴火

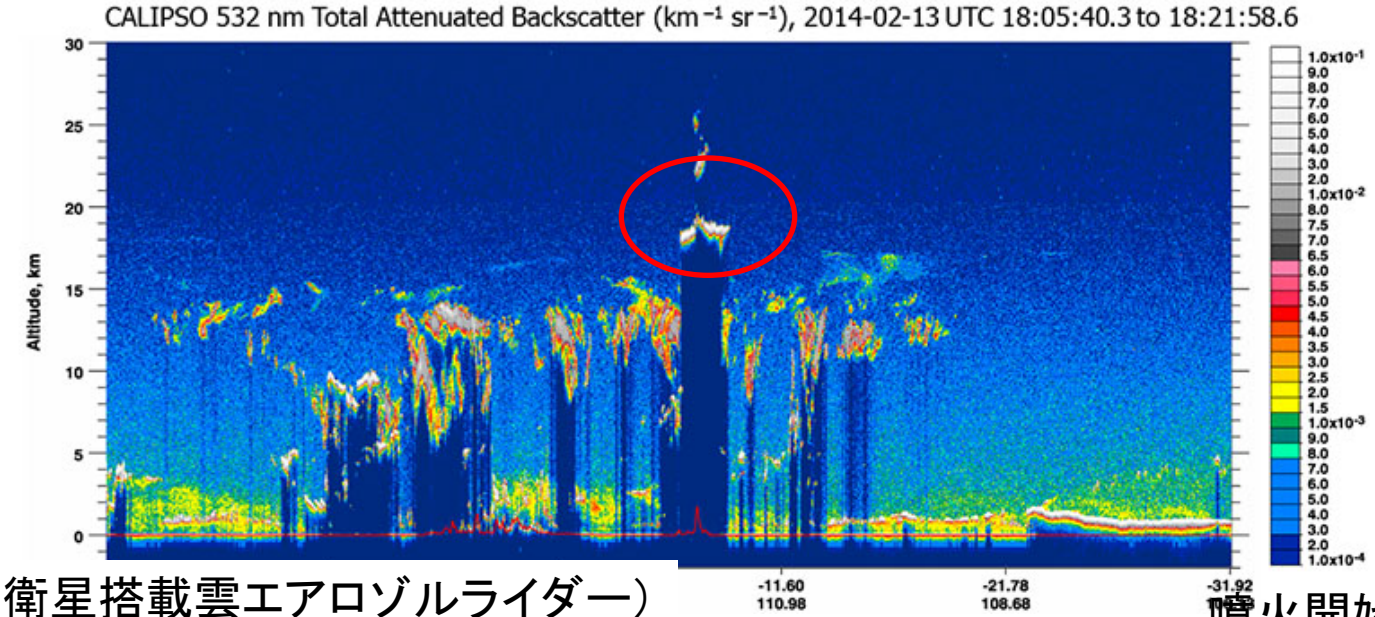


噴火に向けて地震エネルギーが増加していく



ケルート
2月13日
夜噴火

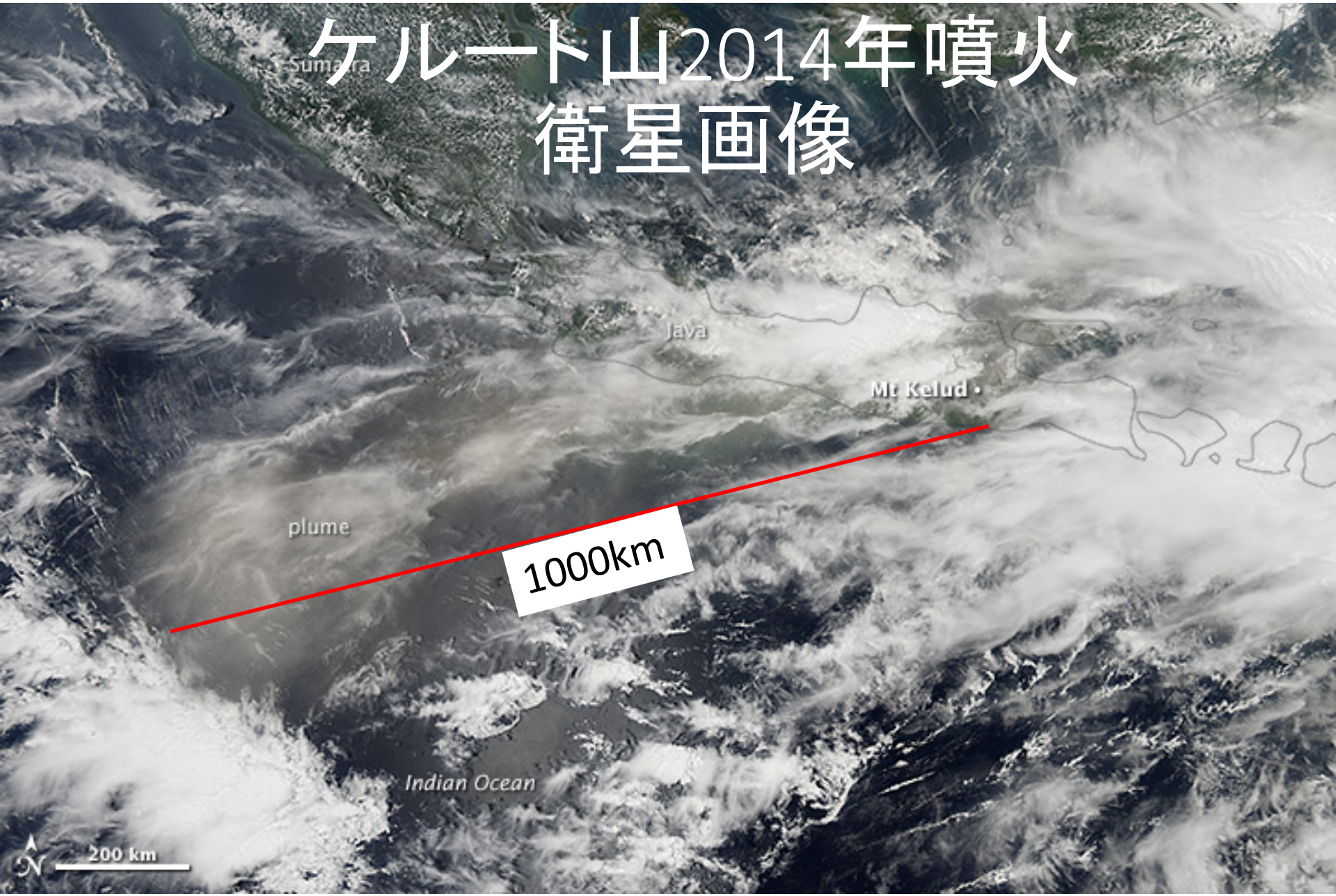
噴煙高20km達した.



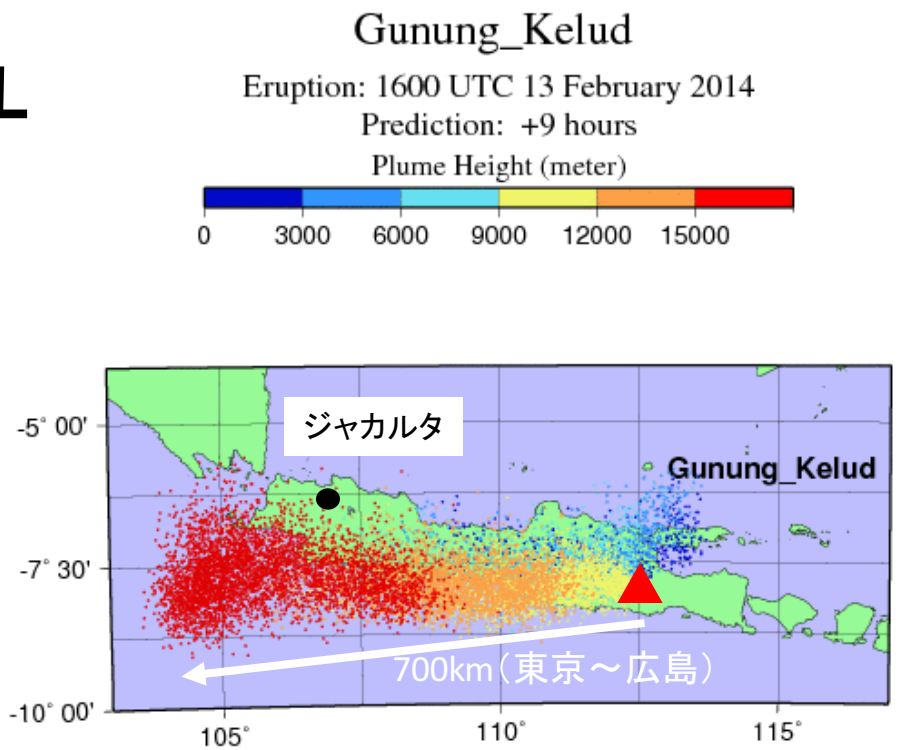
CALIPSO（衛星搭載雲エアロゾルライダー）

噴火開始　1時間半後

ケルート山2014年噴火衛星画像



火山灰拡散シミュレーション結果

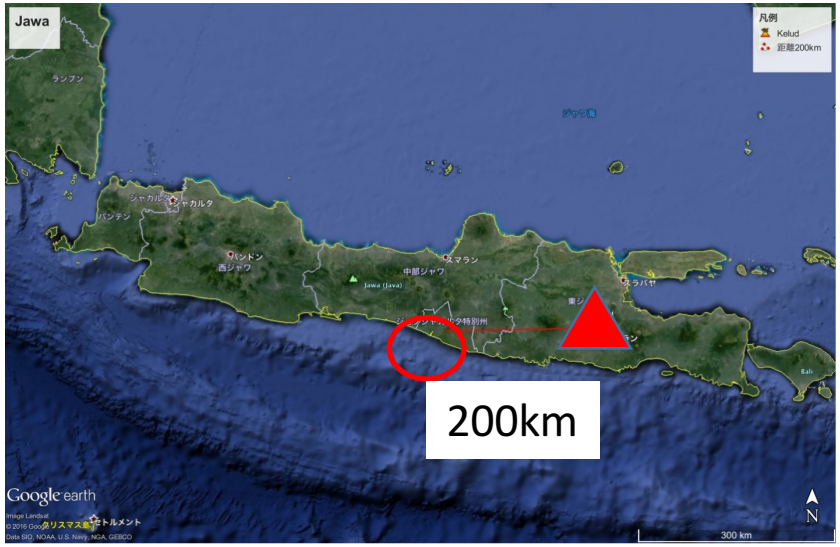


噴火9時間後の大気中の火山灰拡散分布

提供：筑波大学　田中博教授

ジョグジャカルタ市内の被害

200 km西にあるジョグジャカルタ市内においても降灰被害があった.



200kmは東京～福島の距離

噴火と前駆地震エネルギー

噴火	積算 (J)	率 (J/hour)	VEI
桜島 1914年	1.3×10^{14}	-	4
ピナツボ1991年	6.2×10^{13}	-	6
St.Helens1980年	1.8×10^{13}	-	5
メラピ2010年	8.8×10^{10}	-	4
メラピ2001年	2.5×10^{10}	-	2
ケルート1990年	5×10^{8}	-	4
ケルート2014年	5×10^{8}	2×10^{7}	4
ケルート2007年	1.6×10^{8}	10^{6}-10^{7}	2

終わりに

- 大規模噴火の頻度は世界で数年から10年に1回の頻度である.
- 降灰予報により噴火した場合の影響範囲が事前に分かっている.
- 一方，前駆現象から（上限の）噴火規模は予想出来るが，噴火の有無とタイミングを予想するのは難しい.
- 火山災害の程度と噴火規模は必ずしも比例しない．*火口と人や建物との距離で決まる．また，事前避難など適切な対応を取れば良い.*
- 大規模噴火による被害は地元だけにとどまらず広範囲に及ぶ．*首都圏も他人事でない.*