

# 火山噴火と圧力波の関係について

市原美恵（東京大学地震研究所）

## 与えられた課題

- 空振の大きさと噴火様式や噴火規模との関係等、火山噴火に伴う大気の振動現象について、どのような知見があるか.
- 噴火→大気振動→潮位変動 の最初の部分について

## 発表の流れ

- 空振と噴火様式・規模との関係等の多様性
- トンガ噴火の大気波動発生場について(序報)

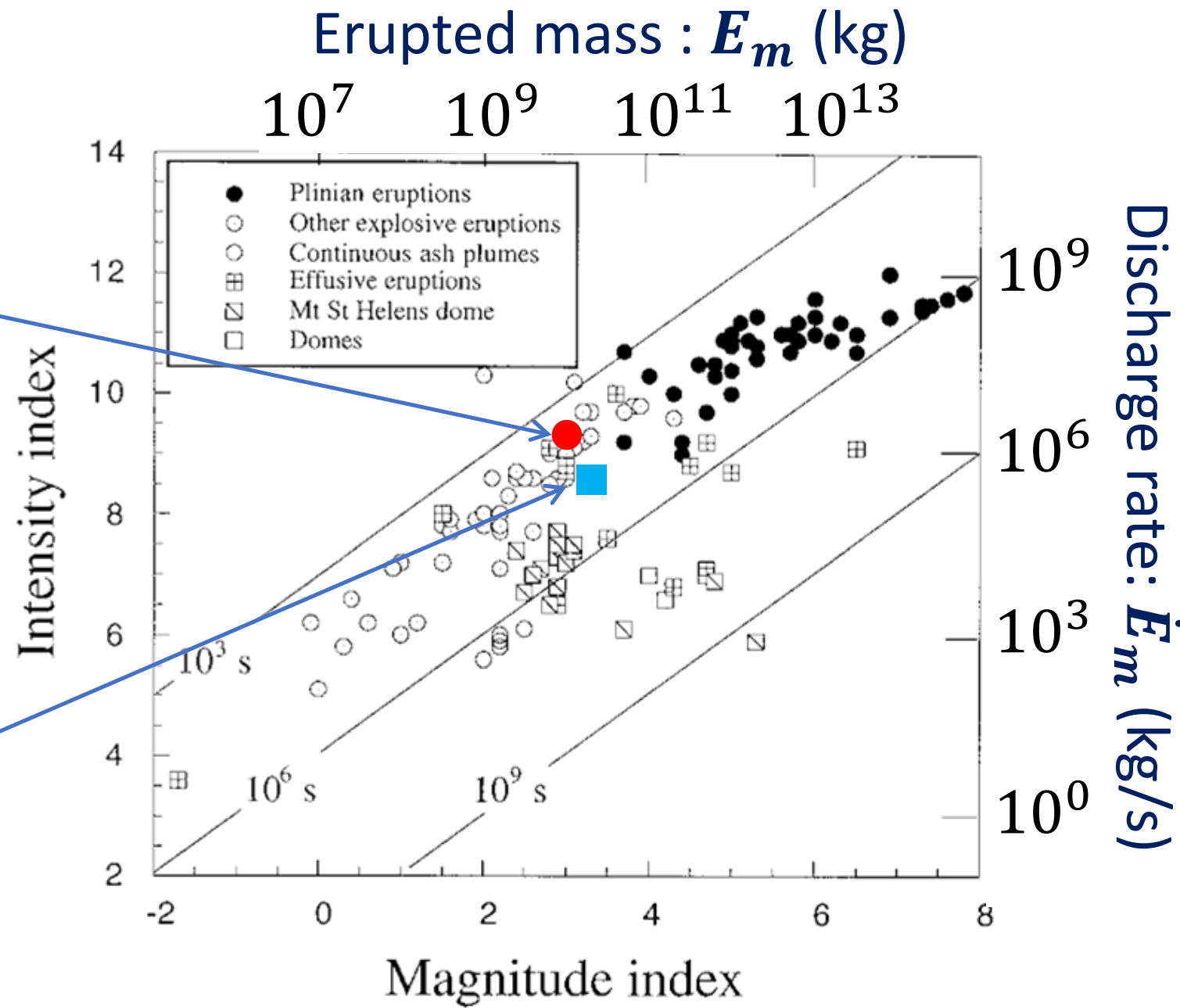
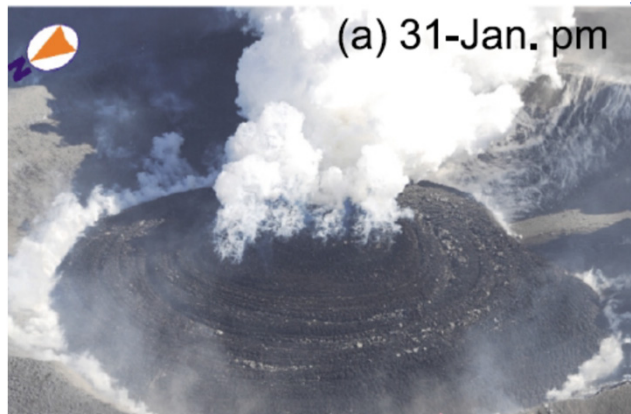
# Discharge rate $\dot{E}_m$ & Erupted mass $E_m$

Shinmoe 2011

● Subplinian phase



■ Effusive phase



Pyle (1999)

噴火の「大きさ」を決める指標

- 噴出量  $E_m$
- 噴出率  $\dot{E}_m$
- 継続時間
- ピーク噴出率
- 波動(地震・空振)

$E_m$   $\dot{E}_m$  は地質学的評価法もあり、事例の蓄積がある。

それぞれの指標の間には緩い相関関係はあるものの、数桁以上のばらつきがある。

ばらつきが、噴火様式の多様性を表し、その要因を追求することが重要である。

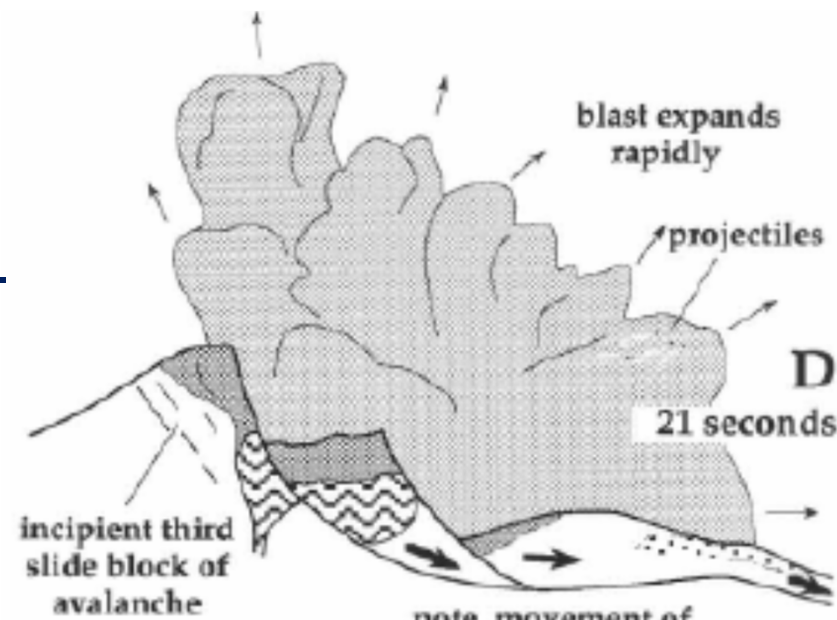
# May 18, 1980 eruption at St. Helens

最初の数分間のBlast は大きな波動エネルギーを放出。世界中で地震波や気圧波が観測された。

(Kanamori et al., 1984;1994 Mikumo & Bolt, 1985)

火山周辺でも1面の木をなぎ倒すなど甚大な被害

大半のマグマ(熱エネルギー)は、その後の9h 続く連続噴火によって放出。最初のBlast に伴う波動は、噴火全体の規模を必ずしも反映しない。



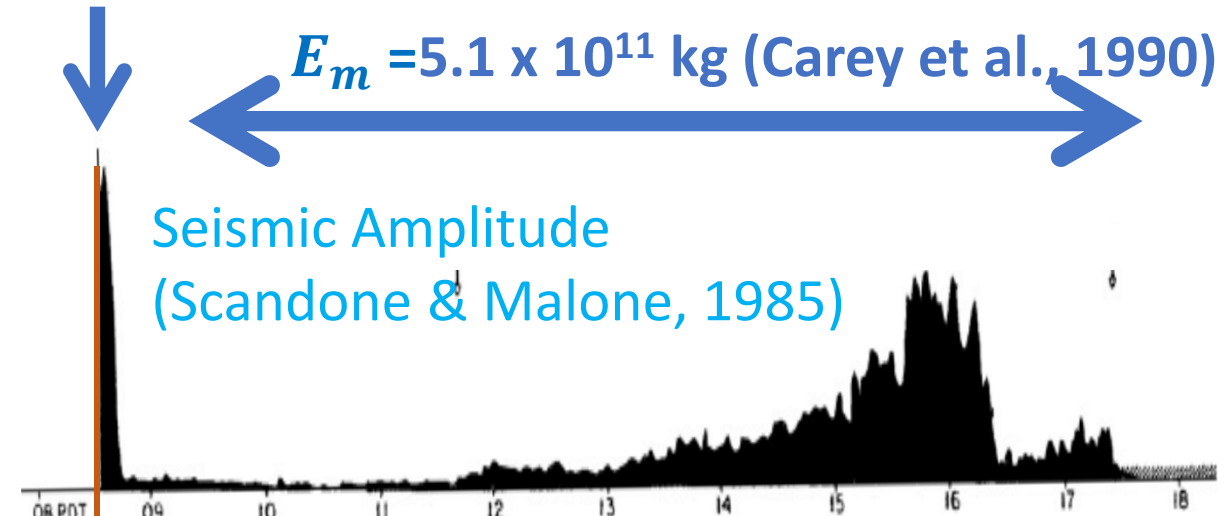
USGS

$E_m = 3-4 \times 10^{11}$  kg (Brodsky et al., 1999)

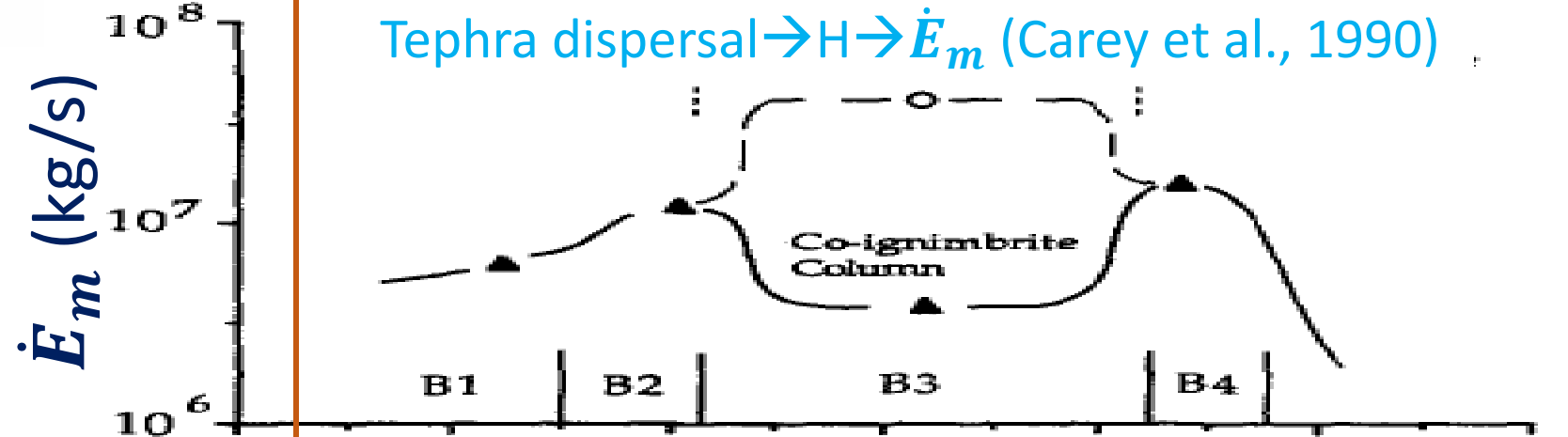
40 wt% of nonjuvenile (Hoblitt and Harmon, 1993)

$E_m = 5.1 \times 10^{11}$  kg (Carey et al., 1990)

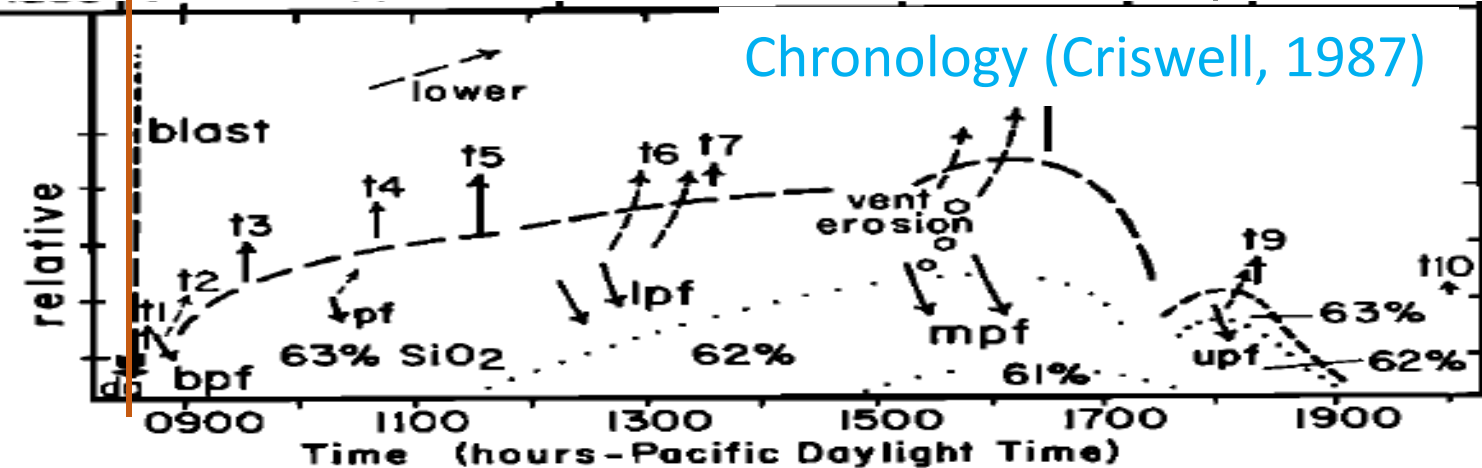
Seismic Amplitude  
(Scandone & Malone, 1985)



Tephra dispersal  $\rightarrow H \rightarrow \dot{E}_m$  (Carey et al., 1990)



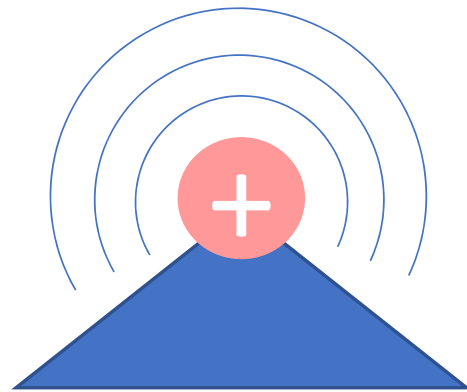
Chronology (Criswell, 1987)



# Estimation of mass rate ( $\dot{E}_m$ ) or volume rate ( $\dot{V}_m$ ) by infrasound

A) Lighthill's monopole point source  $p_{ac}(t) = \frac{\rho_{atm}}{4\pi r} \dot{V}(t - \frac{r}{c})$

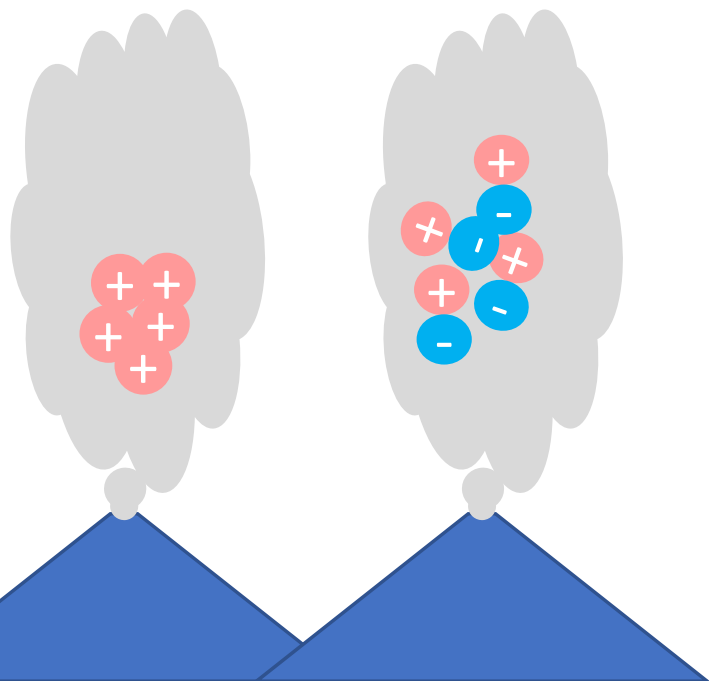
*e.g. Vergnolle and Brandeis [1994], Oshima and Maekawa [2001]*



$$\dot{V}_m = \frac{4\pi r}{\rho_{atm}} \int_0^t p_{ac}(t') dt' \quad V_m = \frac{4\pi r}{\rho_{atm}} \iint_0^t p_{ac}(t') dt'$$

B) Jet noise model → Power-law relation

$$|p_{ac}|^2 \propto (\dot{E}_m)^\beta$$



$\beta$	MODELS	REFERENCES
4,6,8	Monopole, dipole, quadrupole based on Lighthill's aerodynamic source models	<i>Woulff and McGetchin [1976]</i> <i>Vergnolle and Caplan-Auerbach [2006]</i>
5 -10	Jet noise empirical law	Matoza et al. [2009, 2013]
3	Momentum flux	Takgi et al. [2013]

Ichihara (2016, JGR)

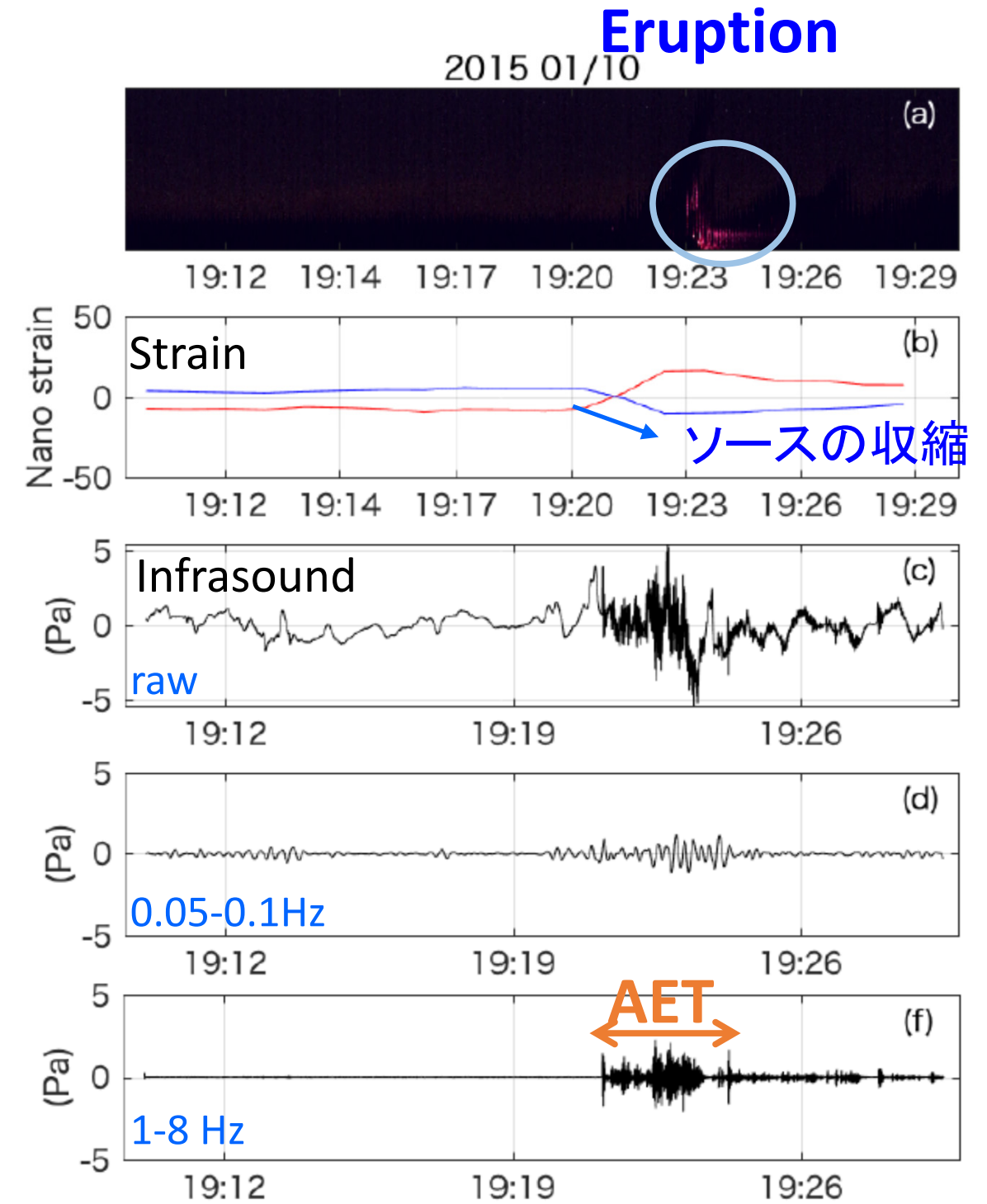
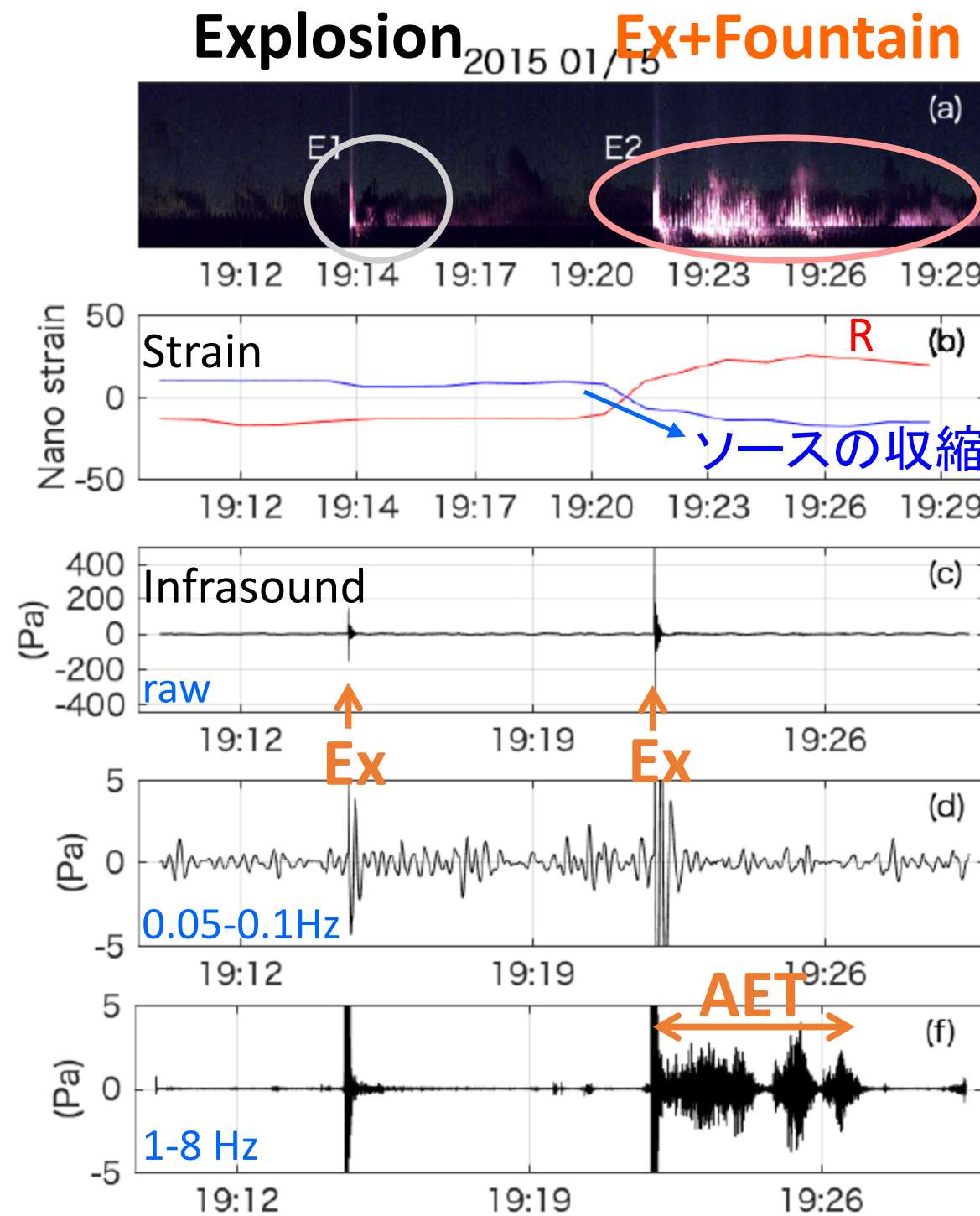
# A case study for Sakurajima Showa-Crater eruptions

Y. Kanno (2019, PhD thesis) with M. Ichihara, M. Ripepe, G. Lacanna, & M. Iguchi  
 image data provided by K. Aizawa

歪変化観測から推定された噴火ごとの体積収縮量( $V_g$ )と噴出量には相関関係が確認されている(Iguchi et al., 2013)

強い爆発空振を伴うもの (Explosion), 爆発空振のあと連続的噴火が続くもの (Ex+Fountain), 爆発空振なく噴火が発生するもの (Eruption)の3種類がある.

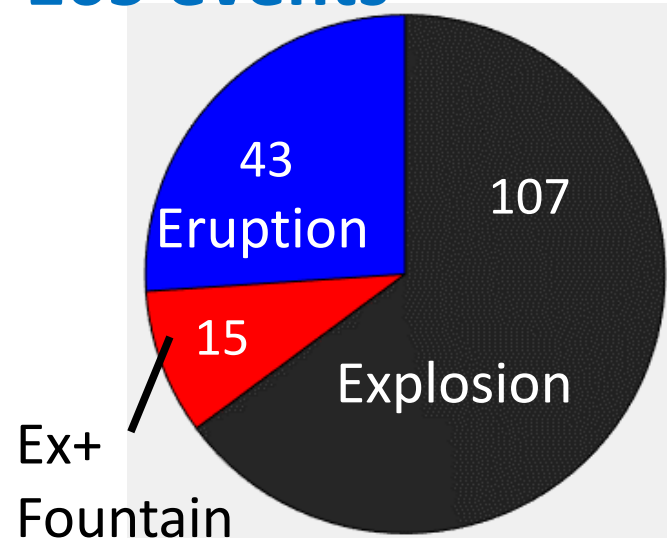
噴火・ソースの収縮・弱い噴火空振(Acoustic Eruption Tremor)は数分続くが, 爆発空振は数秒スケール.



# Comparison of geodetic volume change ( $V_g$ ) and infrasound

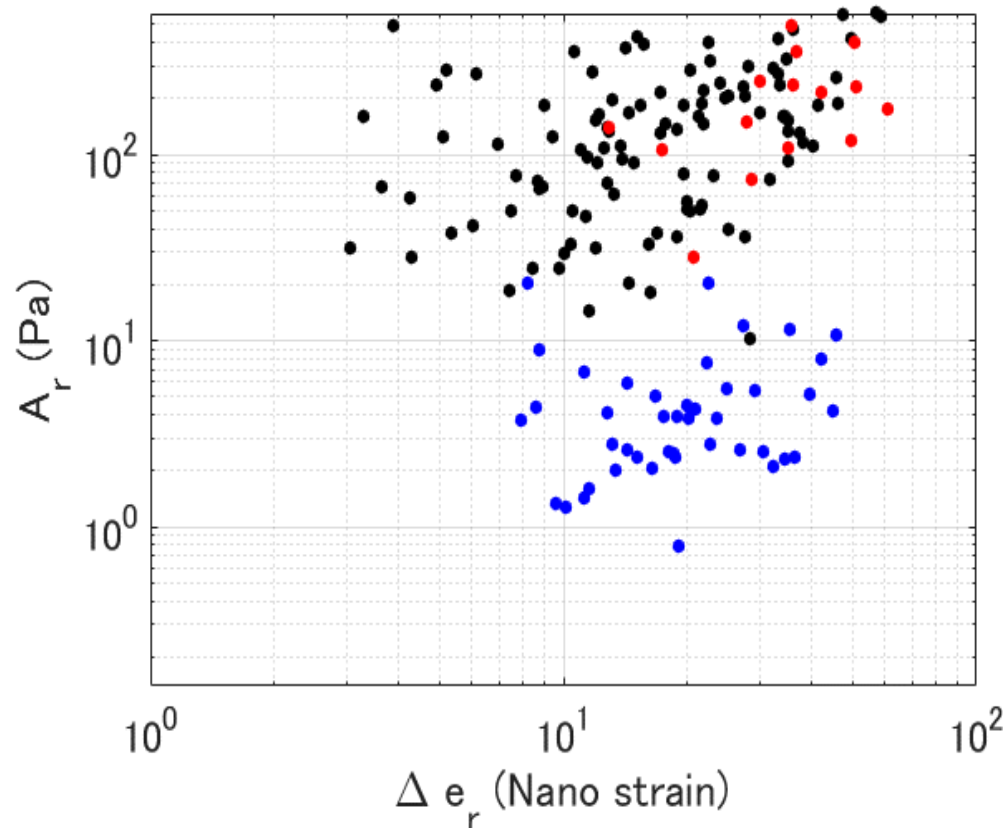
Y. Kanno (2019, PhD thesis)

165 events

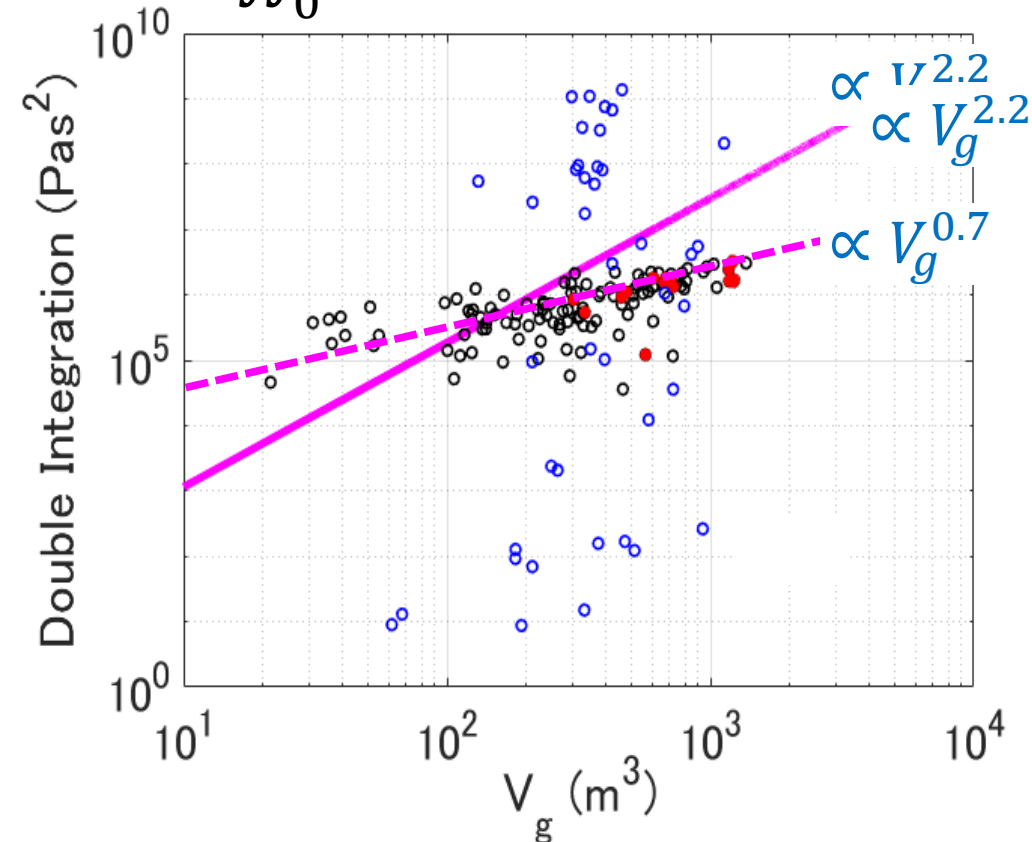


歪変化から推定された地下の体積収缩量( $V_g$ )と空振から得られる各種指標の比較.  
 Lighthill のmonopole ソースを仮定した空振の2回積分は, 噴火タイプに依存.  
 空振の積算パワーは噴火タイプによらず $V_g$ と良い相関があるが一桁以上のばらつき.  
 同様の結果は, スロンボリ火山においても報告されている(Delle Donna et al., 2016)  
 爆発を伴うイベントのみを見れば, 空振2回積分も $V_g$ と対応→爆発強度がその後の噴火に関係.

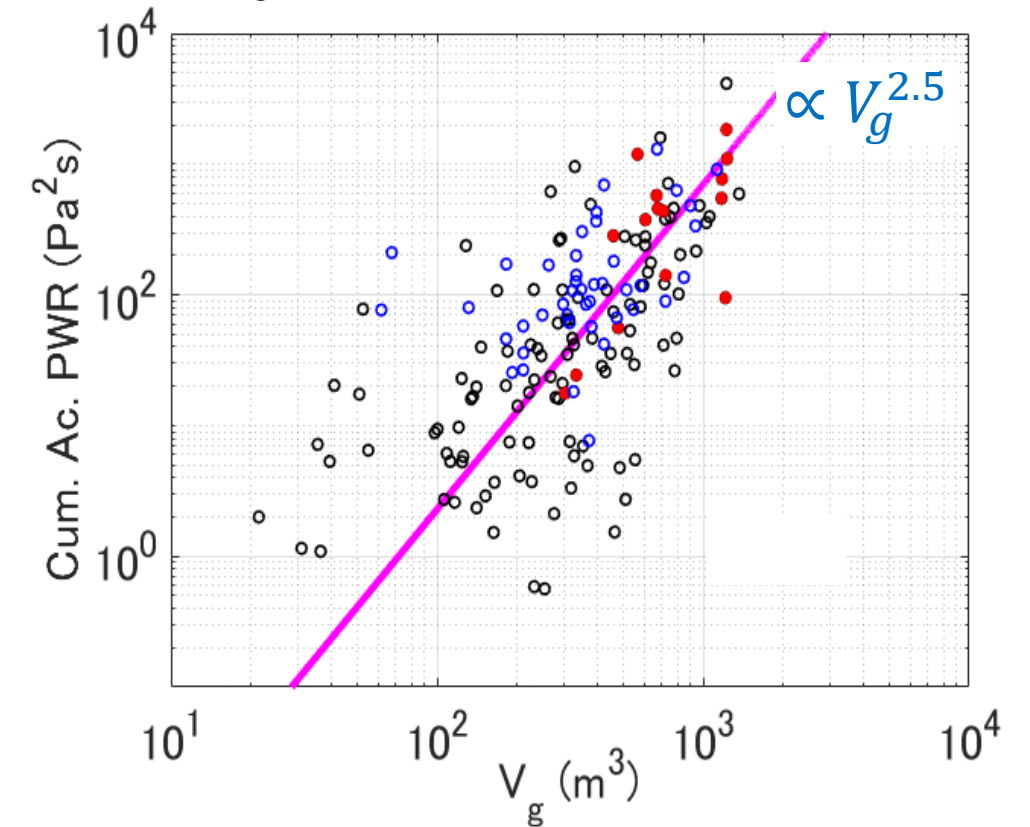
$P_{peak}$  vs. strain



$\int_0^{t_{ex\ or\ er}} P_{ac} dt^2$  vs.  $V_g$



$\int_0^{t_{deflation}} |p_{ac}|^2 dt$  vs.  $V_g$

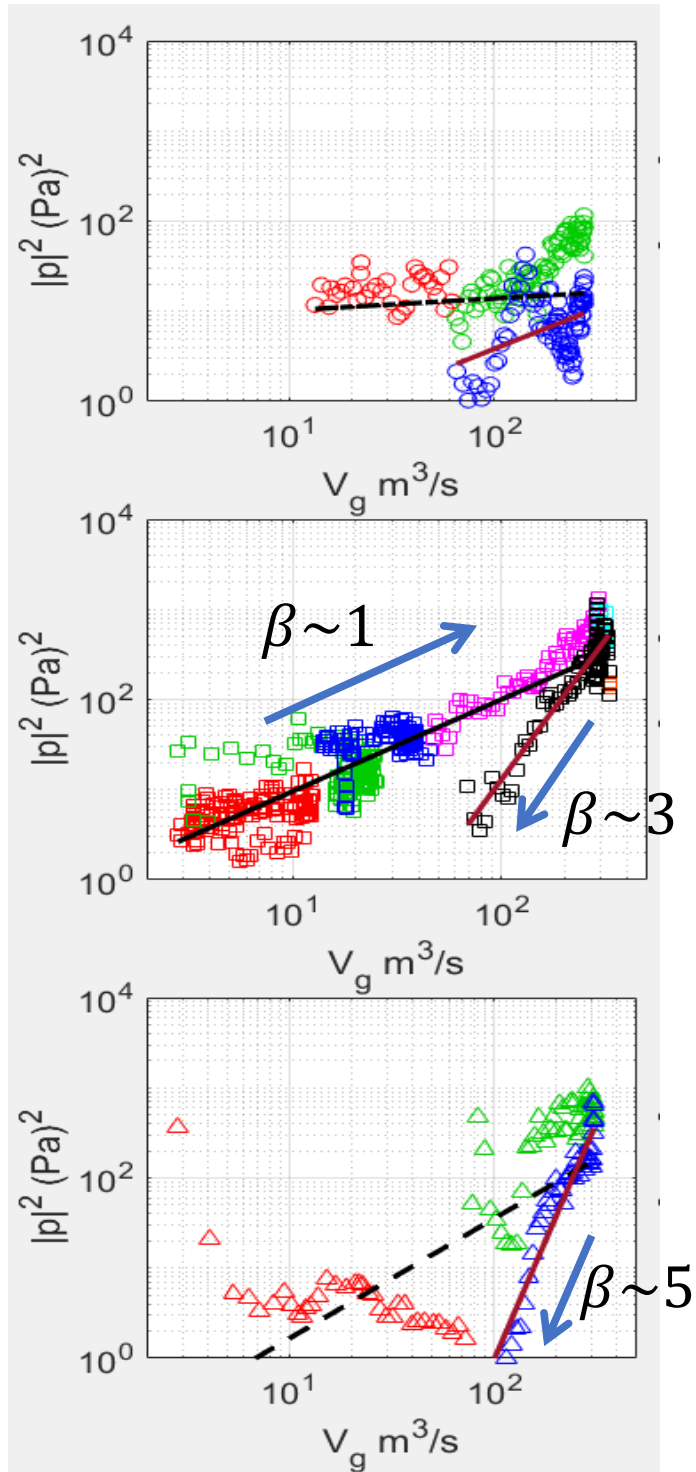


# Infrasound power vs. $\dot{E}_m$ for the 2011 Shinmoe-dake eruption

Ichihara (2016, JGR)

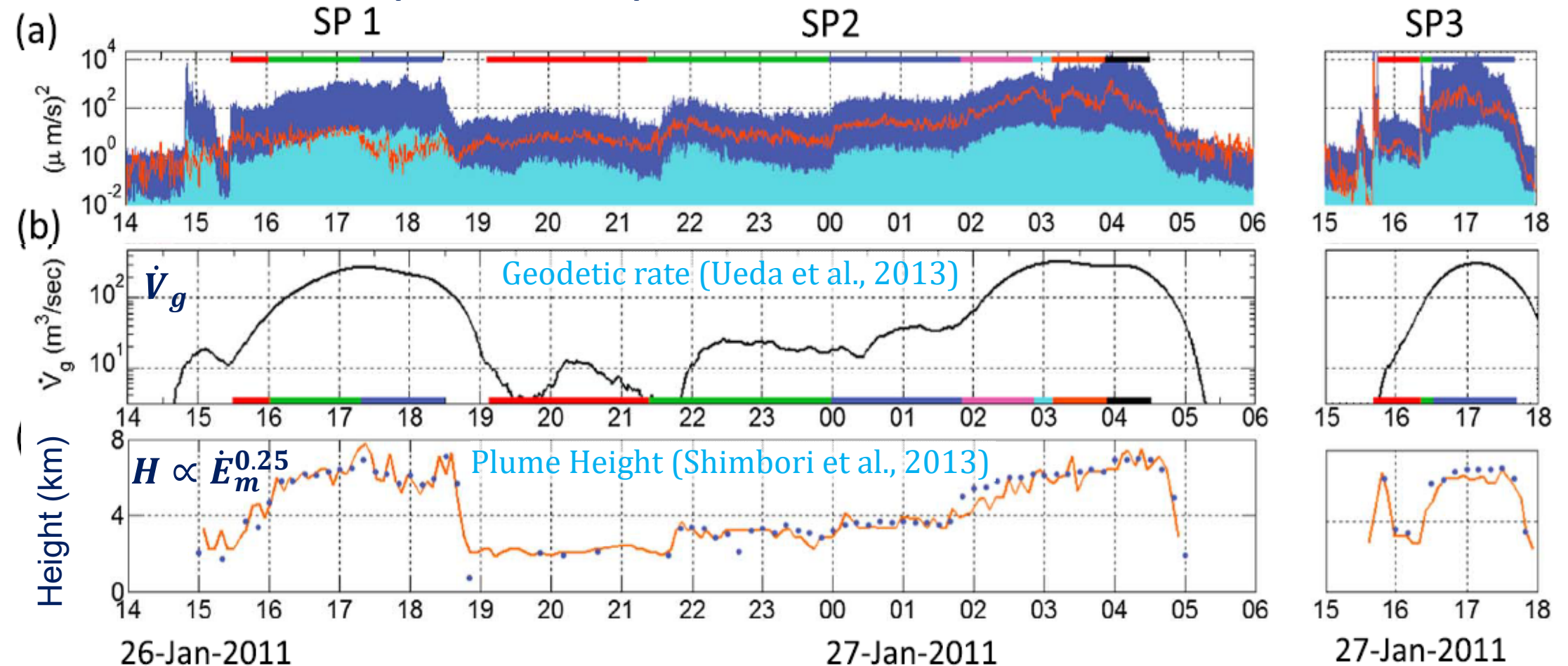
多項目観測データを用いて空振強度と噴出率の関係  $|p_{ac}|^2 \propto (\dot{E}_m)^\beta$  を検証した。正の相関があり、定性的には空振や噴火微動のパワーから噴火強度(噴出率)の相対的な時間変化を把握することができる。ただし、噴火挙動によって、両者の相関関係は変化する。また、絶対量は、噴火様式や観測状況に大きく依存すると考えられるため、空振パワーから噴出量の逆算は何桁もの不確実性が含まれるはずである。

Acoustic eruption tremor power



Geodetic discharge rate

## Seismic & Acoustic eruption tremor powers



## 空振と噴火様式・規模との関係等の多様性

火山噴火の規模を決める主な指標である噴出量と噴出率には、全体として正の相関があるものの個々には数桁のばらつきがある。

空振と噴出量・噴出率の間にも全体としては正の相関があるものの、個々のばらつきは大きい。

マグマのエネルギーから空振や地震のエネルギーへの変換効率は噴火ごとに異なり、噴火中にも変化する。

現状では、空振からの噴出量や噴出率の見積もりには何桁もの不確定性があることに注意してほしい。

噴火の様式や相対的な強度の時間変化は、比較的近傍の空振・地震データから推察可能。

## トンガ噴火の大気波動発生場について

世界中で計測された波動データから、大気波動源のエネルギーやその時間関数は制約されるはず。

(e.g., Mikumo and Bolt, 1985; Kanamori et al., 1994; Watada and Kanamori, 2010) + 新しい知見

火山近傍の波動データから爆発前や爆発後の推移を明らかにすることで、爆発の要因や噴火の全体像に迫ることが出来る。