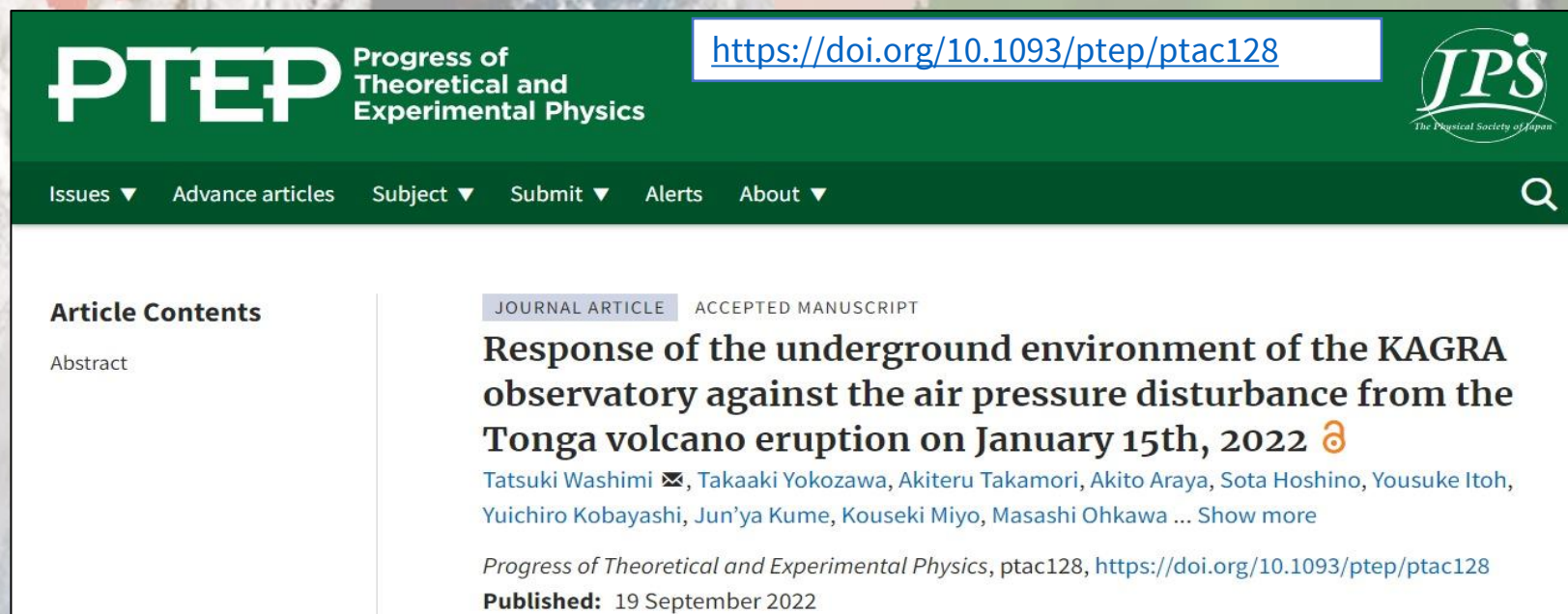


2022/11/23 つくば国際会議場  
新学術「地下宇宙」第3回若手研究会  
鷺見貴生 (NAOJ)

# 神岡で観測されたトンガ噴火信号



**PTEP** Progress of Theoretical and Experimental Physics

<https://doi.org/10.1093/ptep/ptac128>


JPS  
The Physical Society of Japan


Issues ▾ Advance articles Subject ▾ Submit ▾ Alerts About ▾

**Article Contents**

Abstract

JOURNAL ARTICLE ACCEPTED MANUSCRIPT

**Response of the underground environment of the KAGRA observatory against the air pressure disturbance from the Tonga volcano eruption on January 15th, 2022** 

Tatsuki Washimi , Takaaki Yokozawa, Akiteru Takamori, Akito Araya, Sota Hoshino, Yousuke Itoh, Yuichiro Kobayashi, Jun'ya Kume, Kouseki Miyo, Masashi Ohkawa ... Show more

Progress of Theoretical and Experimental Physics, ptac128, <https://doi.org/10.1093/ptep/ptac128>

**Published:** 19 September 2022

# 2022年1月15日トンガ海底火山の噴火



<https://weathernews.jp/s/topics/202201/150195/>

## 気圧変化

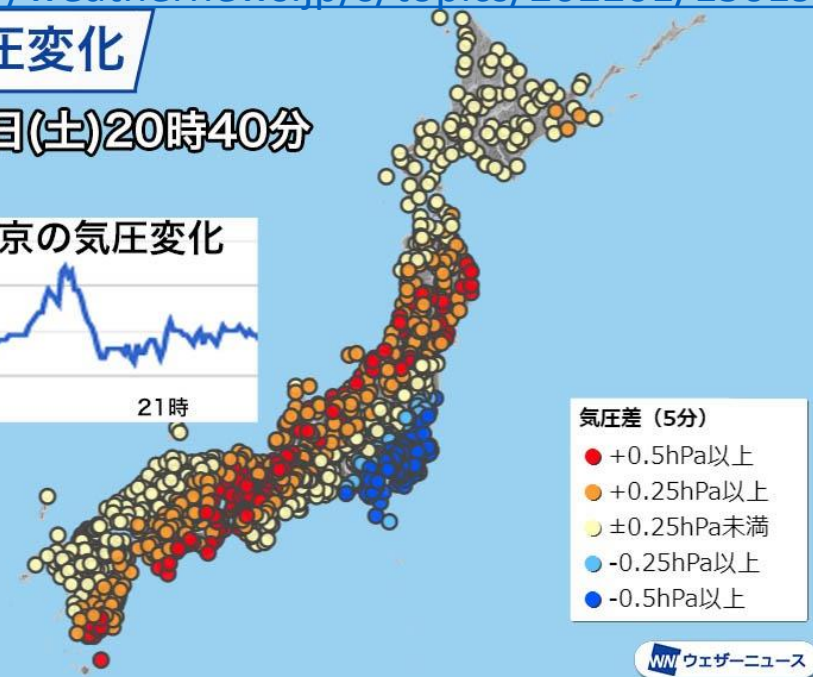
15日(土)20時40分

### 東京の気圧変化



20時

21時

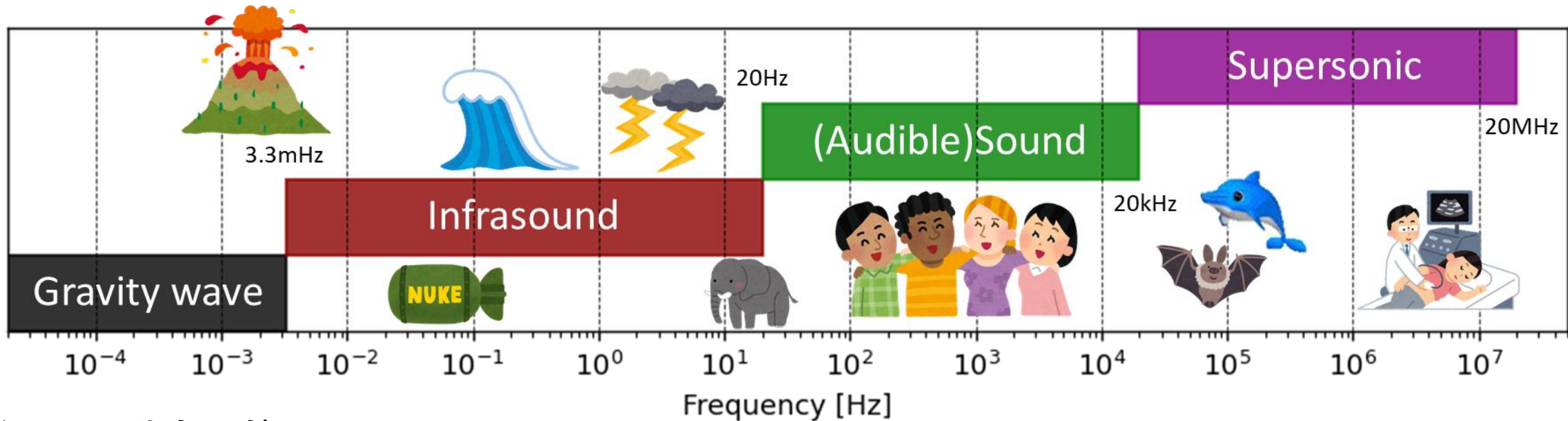


WV ウェザーニュース



- 2022-01-15 04:14:45 (UTC)
- 南緯 20.546度、西経 175.390度 (± 8.1 km)
- 火山爆発指数 VEI 6 (100年に1度クラス)
- 噴煙の高さ~57km
- 空振(大気波動)が地球上を周回
- 40万発の火山雷を誘発

# 周波数による大気波動の分類

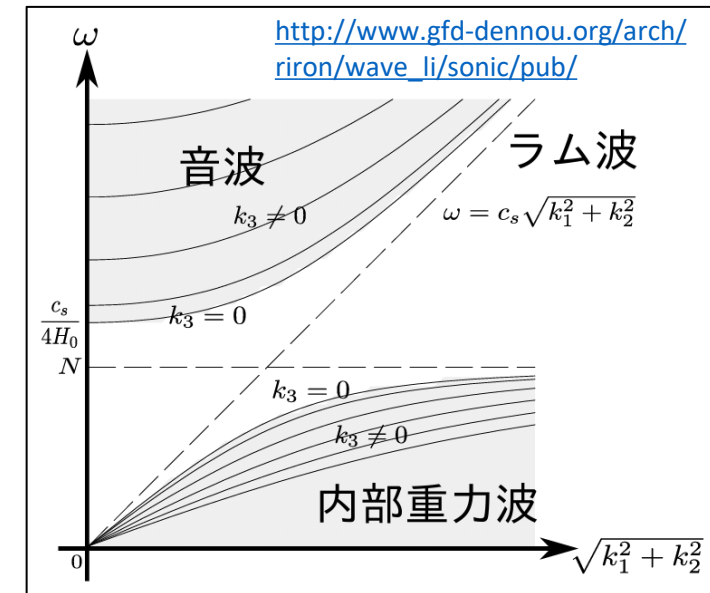


## ● インフラサウンド

- 人間の耳の可聴域(20Hz~20kHz)よりも低い周波数の音響波動 (縦波)
  - 波動伝搬の分散性によるカットオフ周波数(3.3mHz)以上
- 地震, 雷, 噴火, 津波, 雪崩, ダム放水, 隕石, 核実験などで発生する
- 減衰長  $\propto$  (周波数)<sup>2</sup> のため、低周波音ほど長距離を伝搬する

## ● 大気重力波 (Gravity wave)

- 空気にかかる重力と浮力による上下振動が伝搬する気圧波動 (横波)
- 時空の重力波 (Gravitational wave) とは全く別の現象

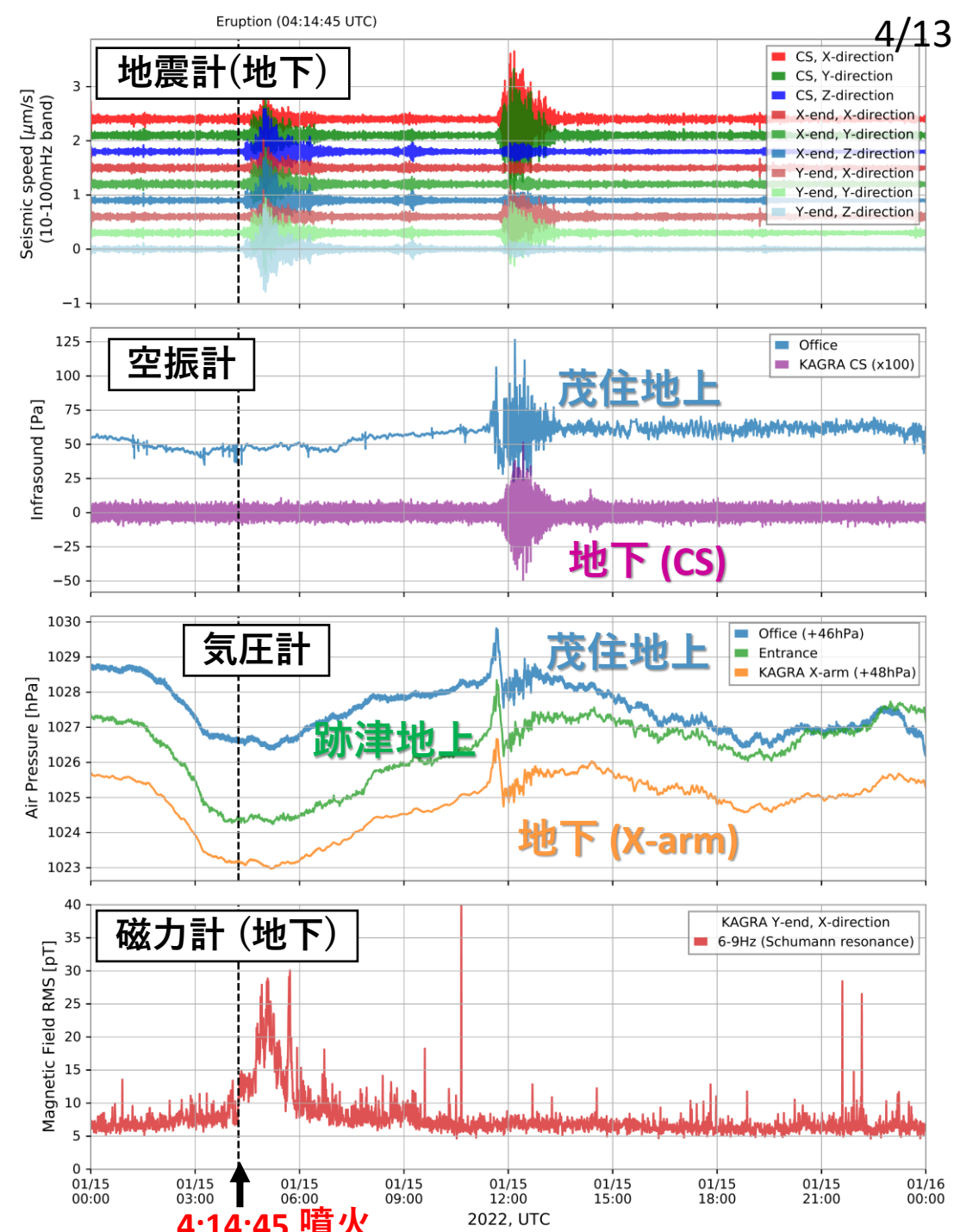


# KAGRA環境モニター信号



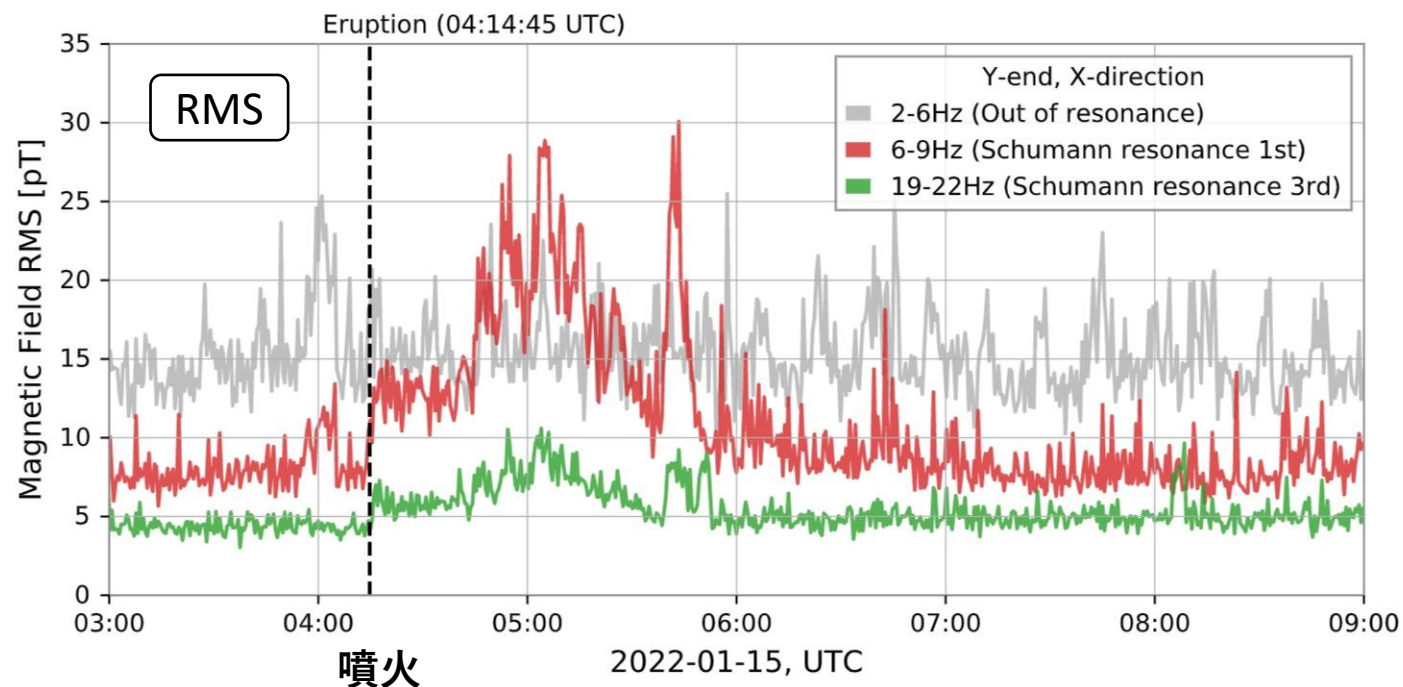
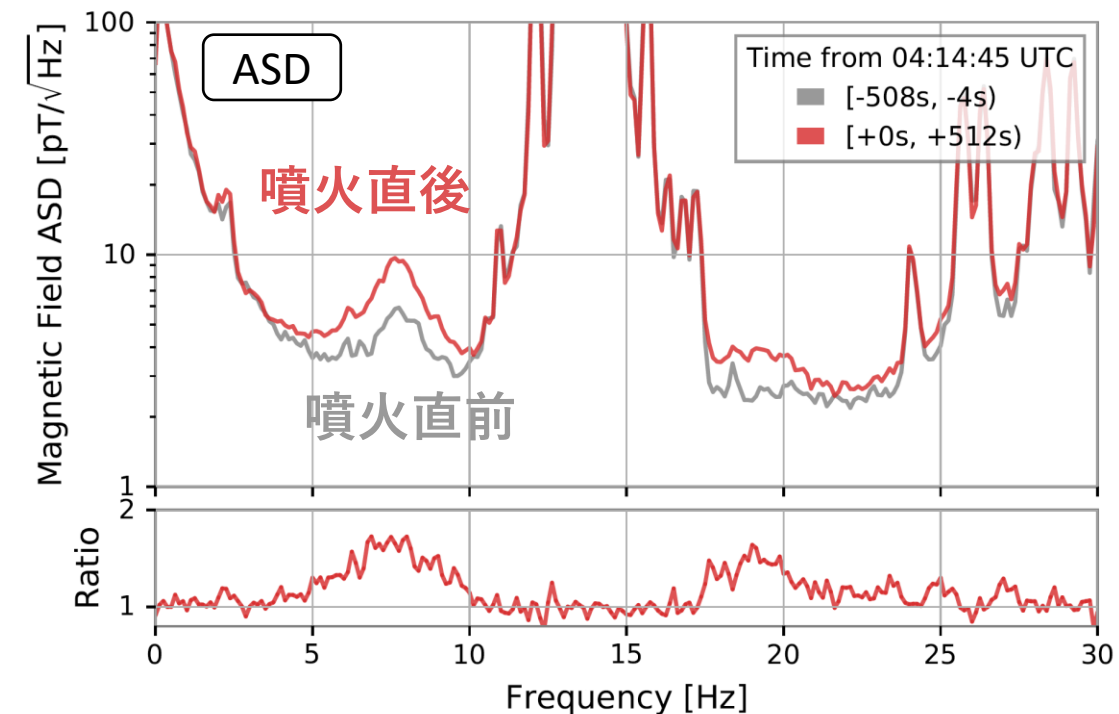
**Table 1** List of the environmental sensors used in this study.

Sensor type	Product name	Catalog $f$ range	Location
Seismometer	Nanometrics Trillium 120QA	10 mHz–10 Hz	CS, X-end, Y-end
Microphone	ACO 4152N	20 Hz–20 kHz	CS
Infrasound sensor	SAYA INF01LE	0.3 mHz–6 Hz	Office
Barometer	SAYA INF01LE	DC–1 Hz	Office
Barometer	Davis Vantage Pro2	DC (1 min/S)	Entrance
Barometer	Vaisala BAROCAP PTB110	DC	X-arm 500 m
Magnetometer	Bartington Mag-13MCL100	DC–3 kHz	Y-end

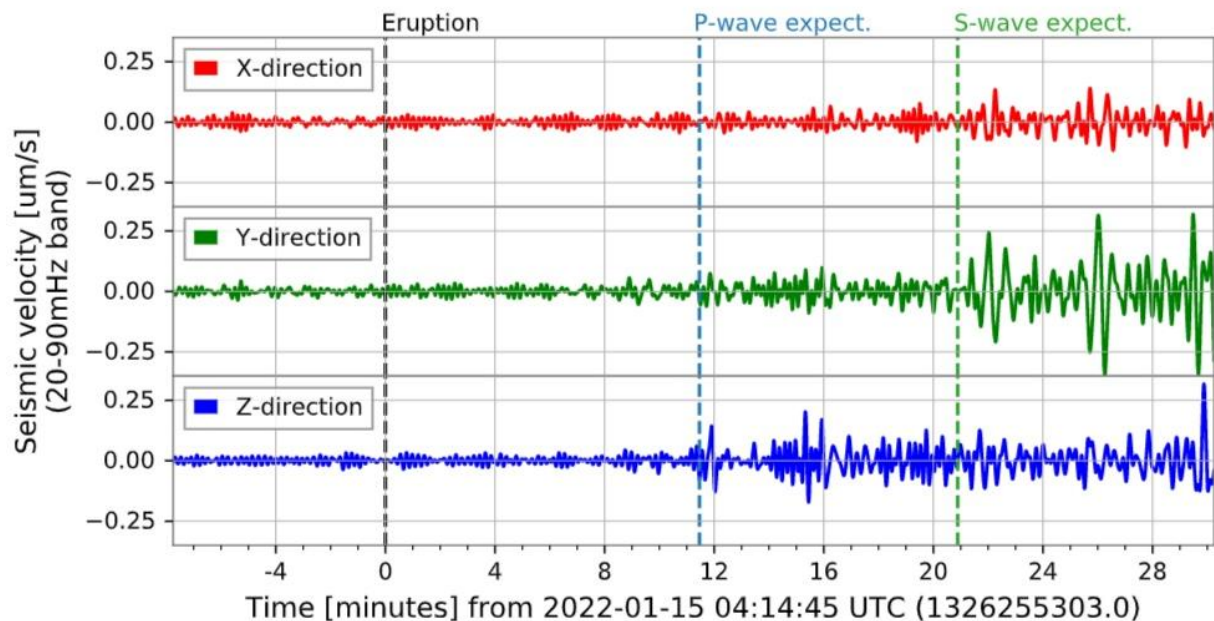


# 磁力計信号

- シューマン共振：地表と電離層が共振器となる電磁場の固有モード(8, 14, 21, ... Hz)
  - KAGRA Y-end(地下)の磁力計では、1次モードと3次モードが観測できている
- トンガ噴火の直前と直後で比較すると、シューマン共振ピークのみ増加している
- 1分ごとのBand limited RMSを時系列にすると、共振周波数では噴火直後から遅れることなく増加し、2時間ほど継続した。
  - 磁場信号が地震動によって局所的に誘導されたのではなく、トンガから直接来たと言える



# 地震計信号 (時系列波形)

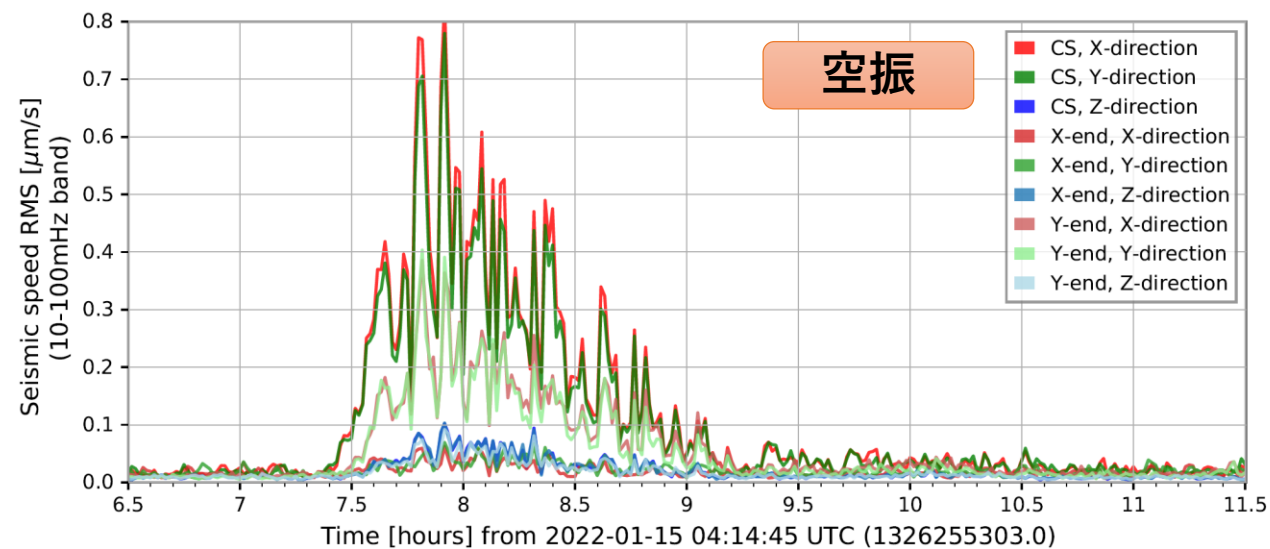
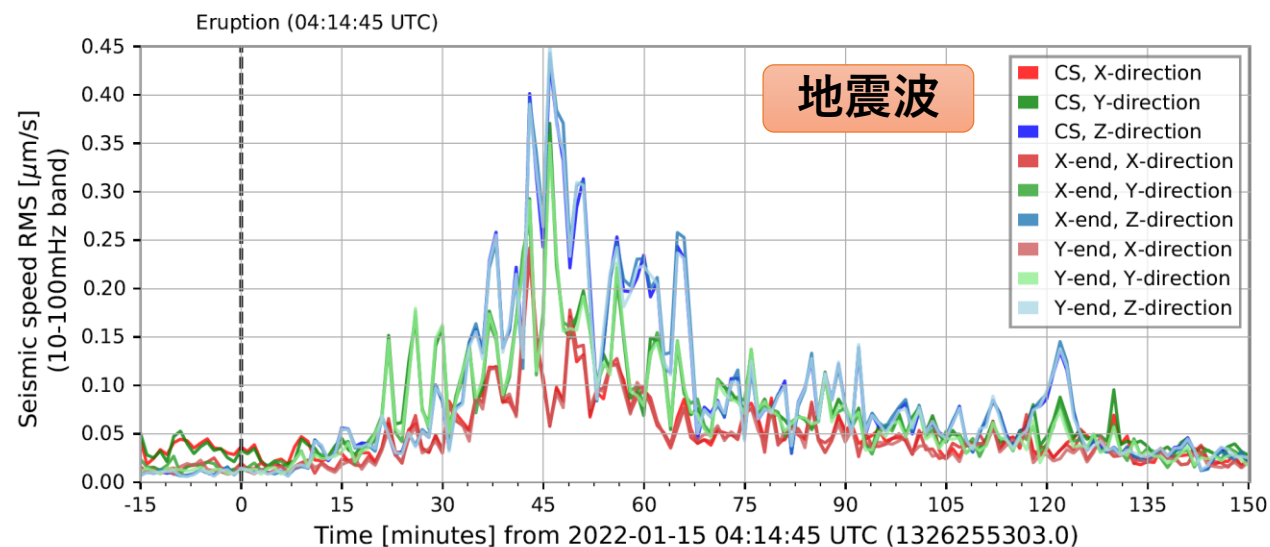


## 【地震波】

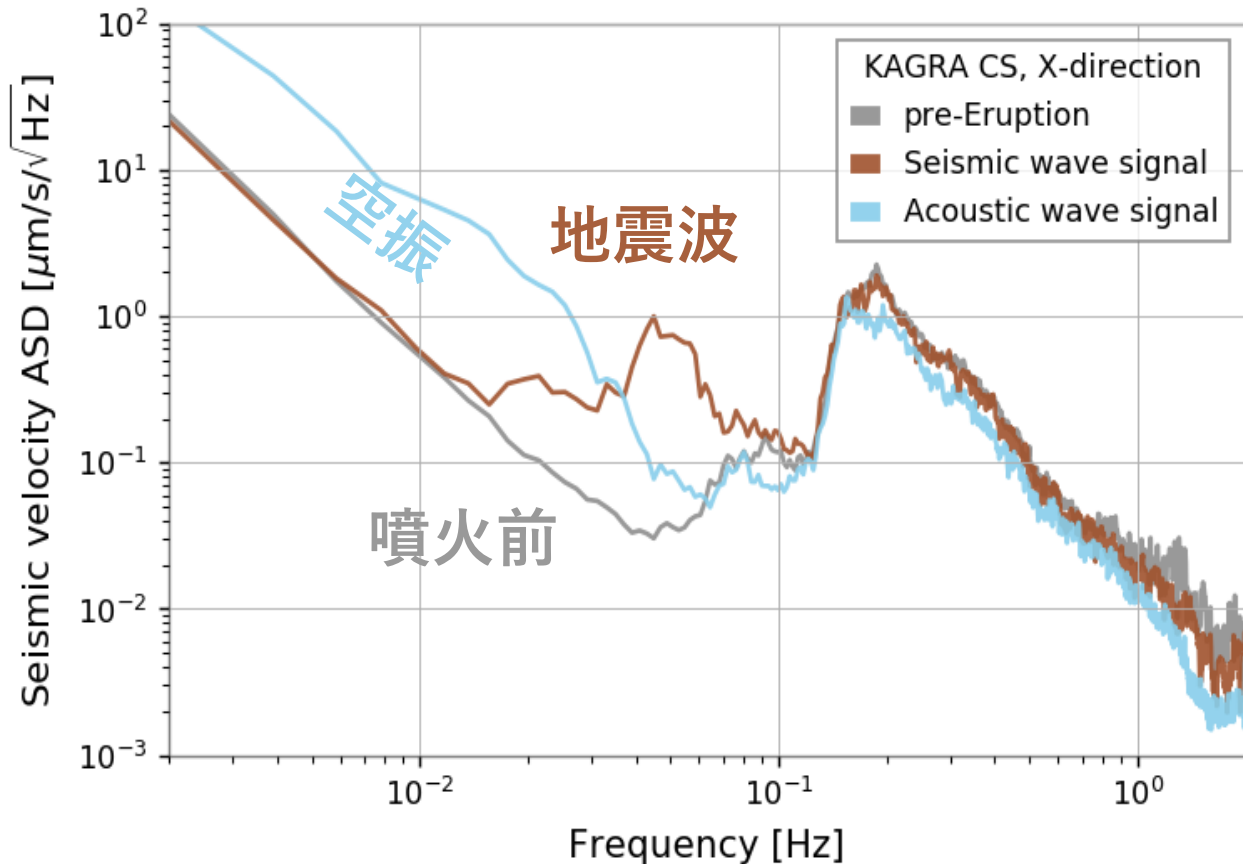
- P波とS波がそれぞれ噴火の約11分後と約21分後に検知された。(理論的に予測される値とよく一致)
- 振動方向によって大きさが異なり、場所依存はない

## 【空振】

- 噴火から約7時間後に空振が日本に到達した際にも、地震計信号が見られた
- 空振信号では場所ごとに振幅が異なる

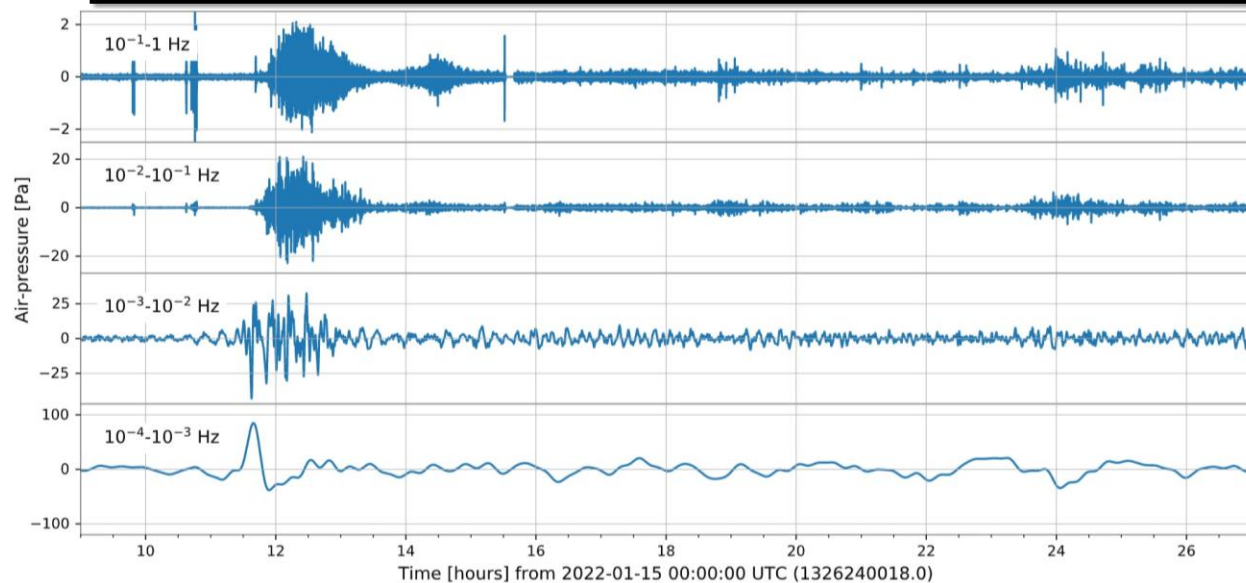


# 地震計信号 (スペクトル)

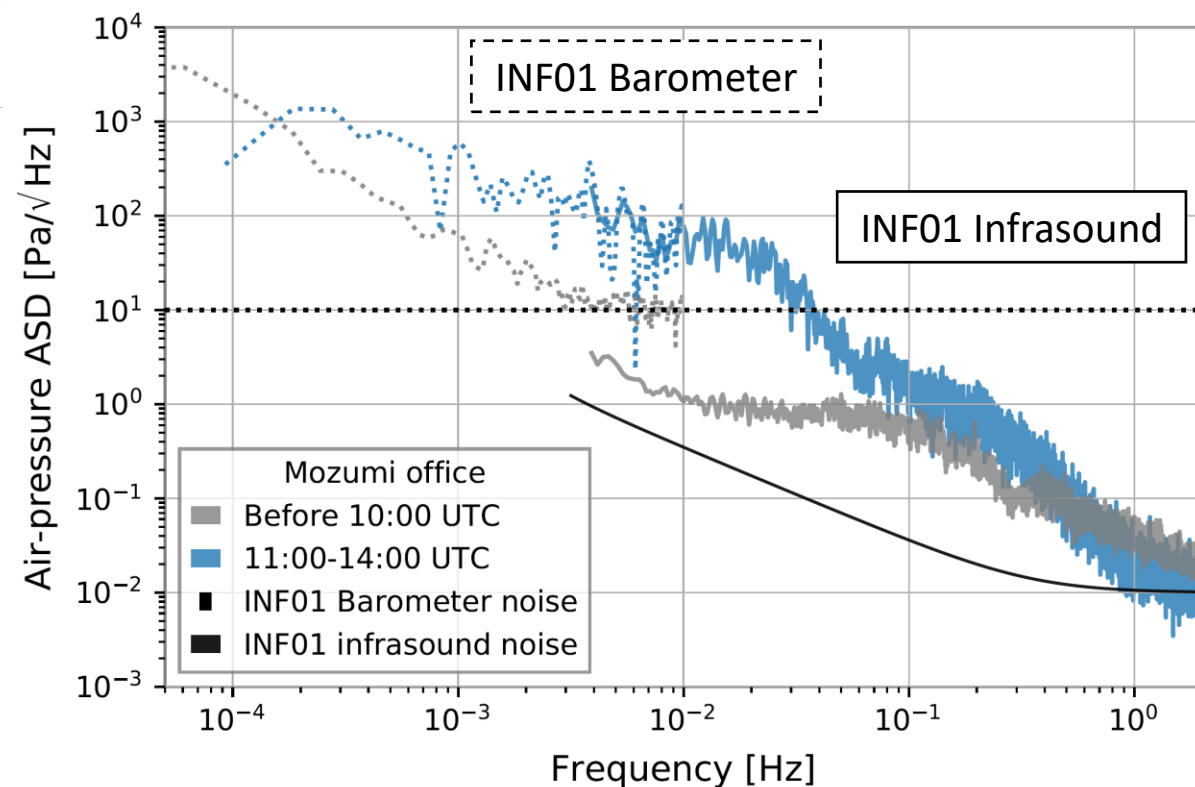
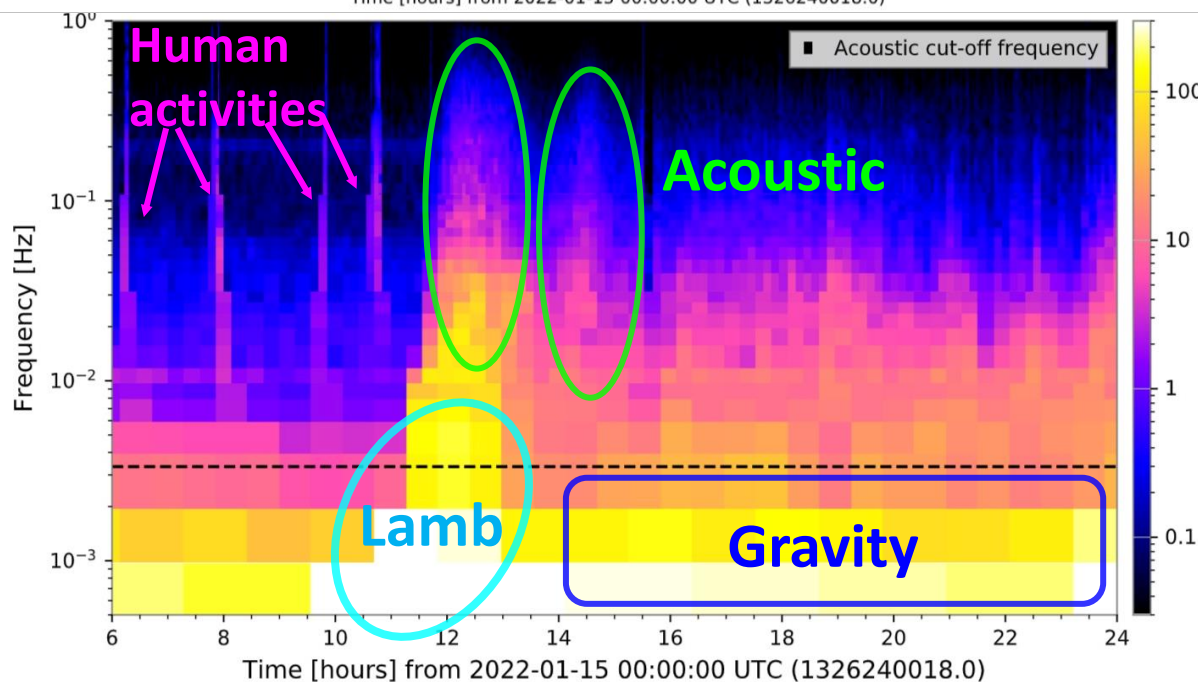


- 地震波は30~80mHz付近に分布
  - 断層ズレによる普通の地震 (~1Hz) よりも周波数が低いが、火山性地震ではありうるらしい
- 空振は70mHz以下に分布
- 0.2Hzピークは海洋波浪による脈動で、噴火の信号とは無関係

# 茂住地上の気圧計・空振計信号

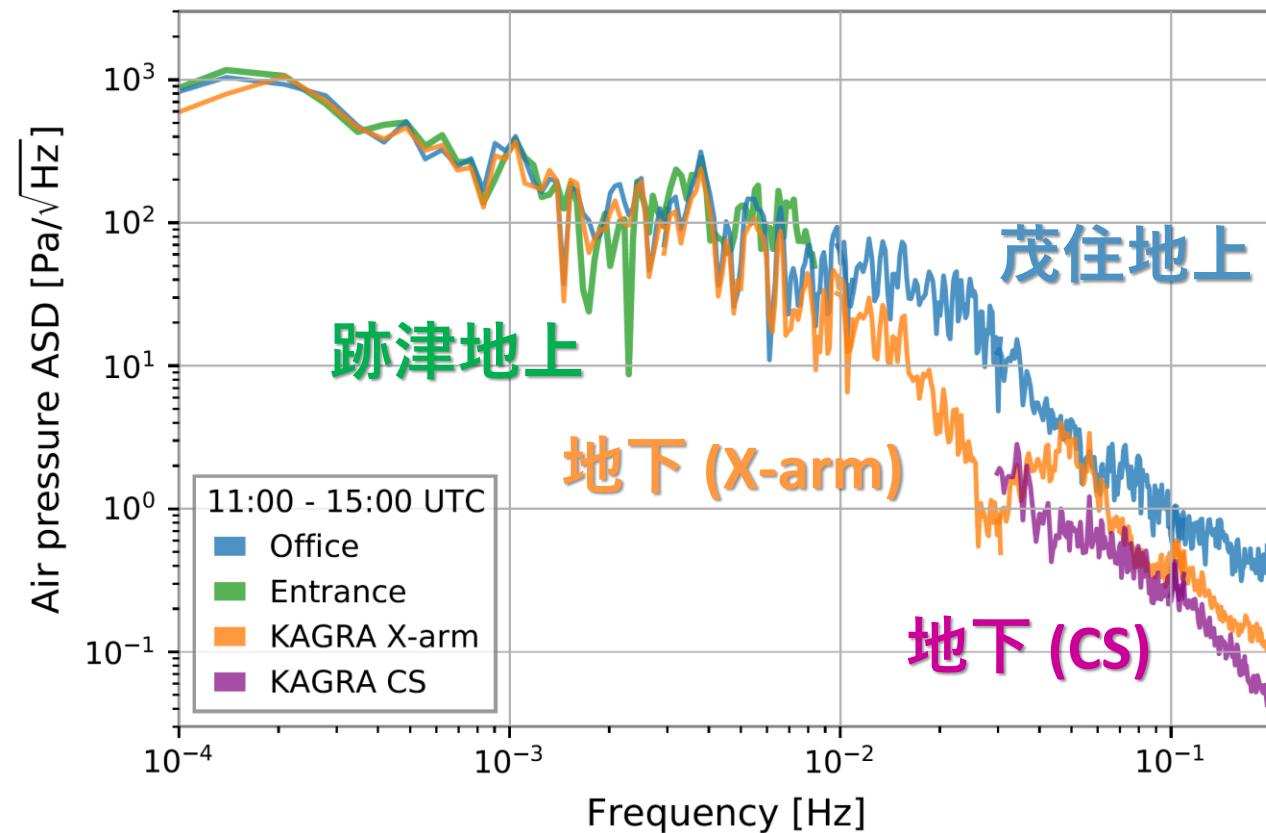
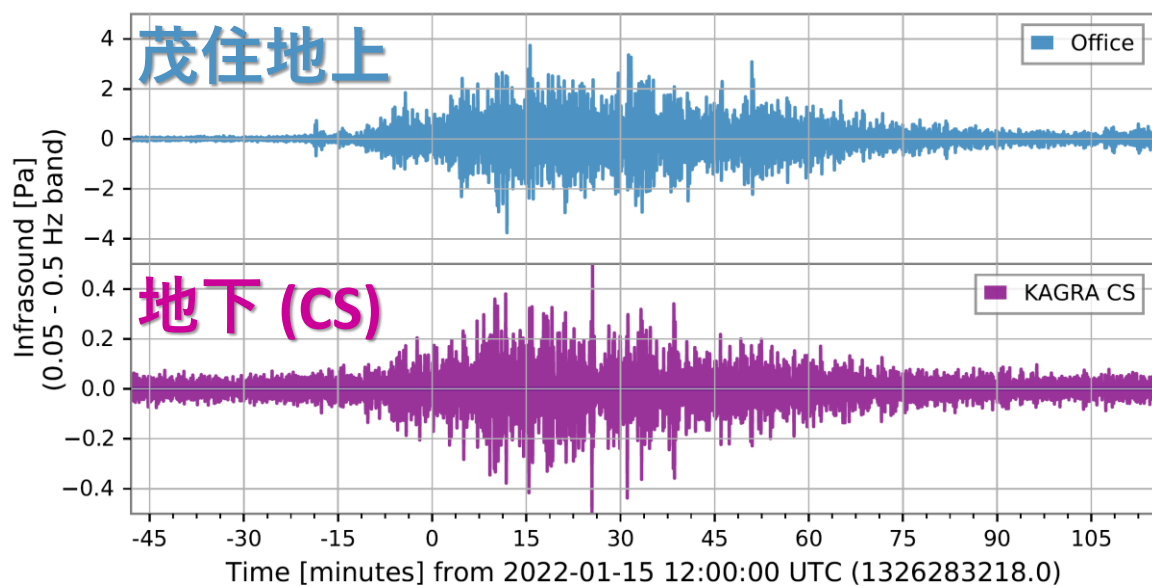
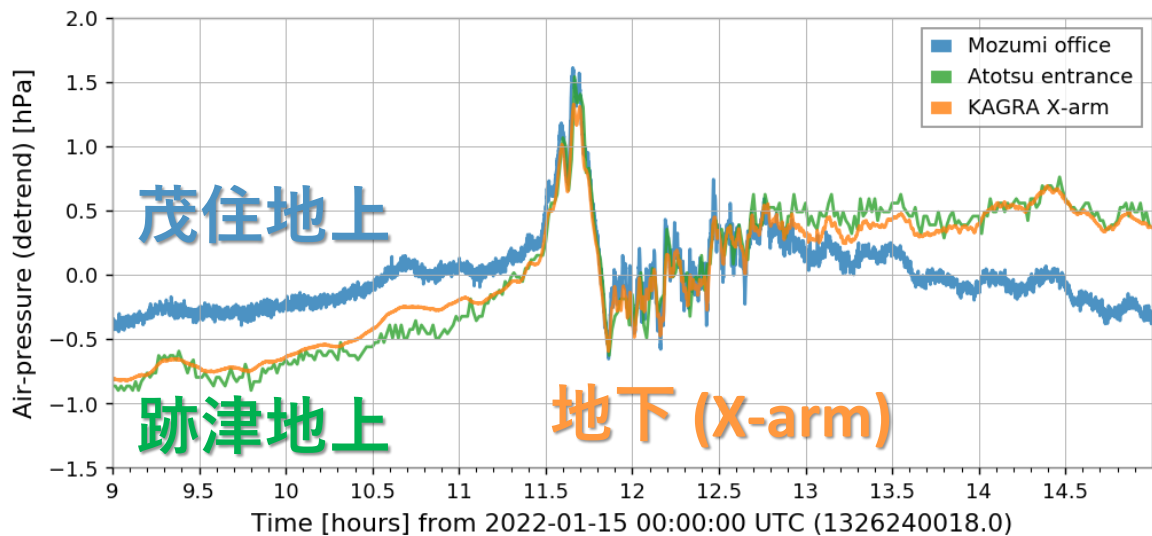


- 11:30 (UTC)頃に大気ラム波 (~310m/s)が観測され、その後長時間にわたってミリHzオーダーの大気重力波が観測された。
  - これは日本での他の報告と一致
- スペクトログラムでは大気ラム波、大気重力波、音響振動などの構造が確認できる。





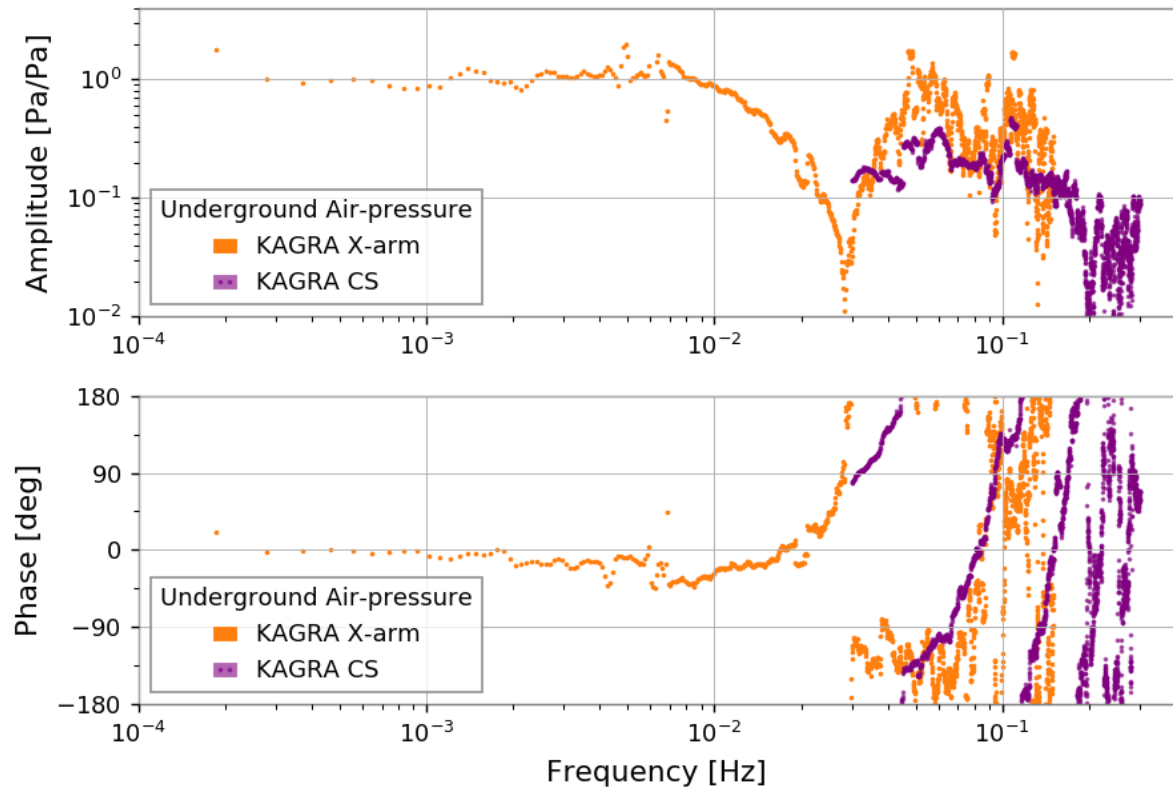
# 地上と地下の気圧計・空振計信号比較



- 10mHz以下の気圧変動は場所によらずほぼ同程度
- それよりも高周波では地上に比べて地下では減少

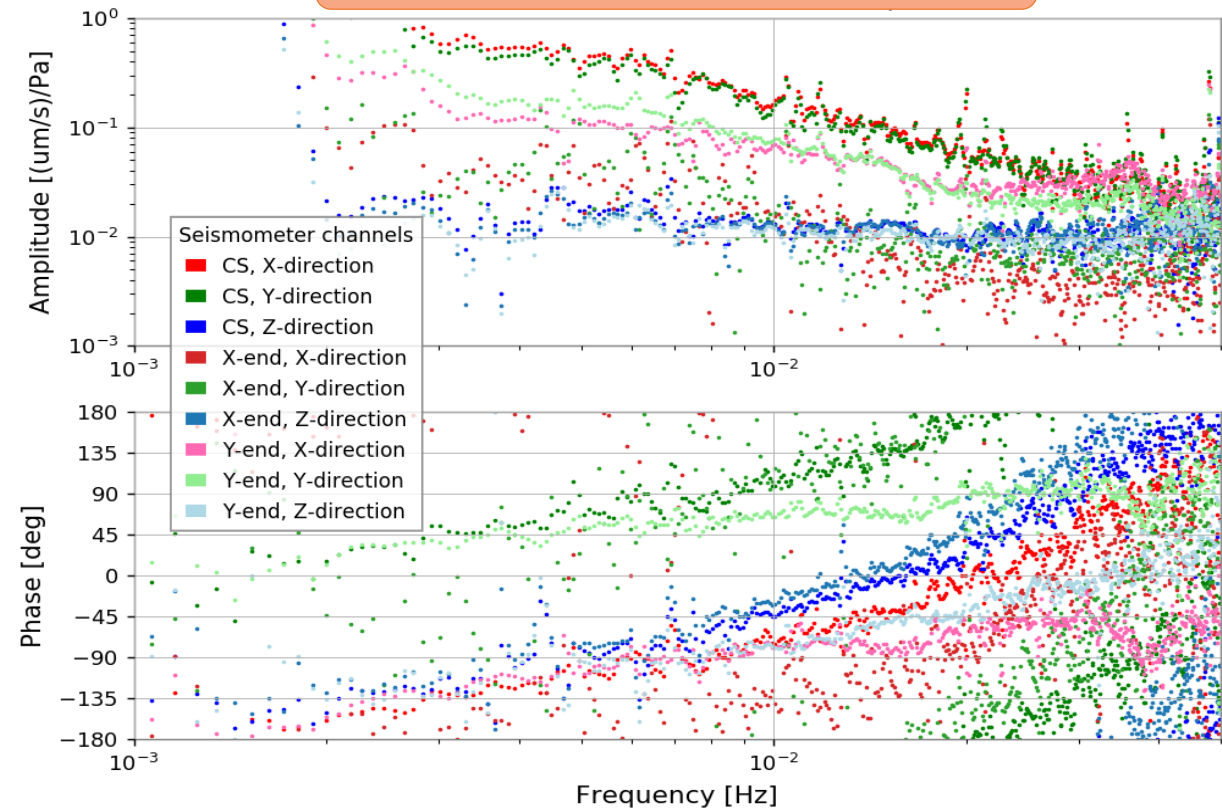
# 地上の空振から地下環境への伝達関数

## 空振計



- 10mHz以下ではほぼ1
- 28mHz, 57mHzに反共振・共振構造
  - トンネル長 (3km)から予想される値と一致
- CSでは0.1Hz付近で約1/10

## 地震計

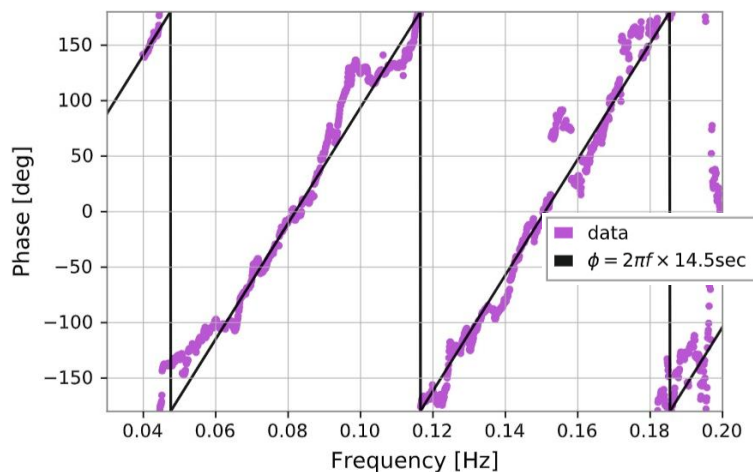


- 垂直方向では3カ所で同程度
- 水平方向ではCSで最大、X-endで最小
  - CSは山の端に位置し、X-endはさらに先まで山が続いているという地形による性質だと解釈できる。

# 伝達関数の位相

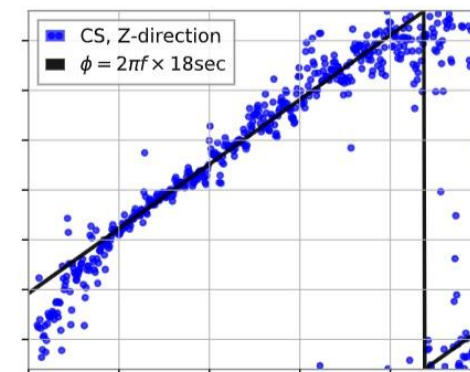
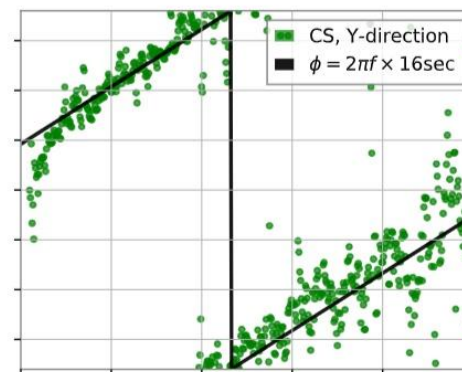
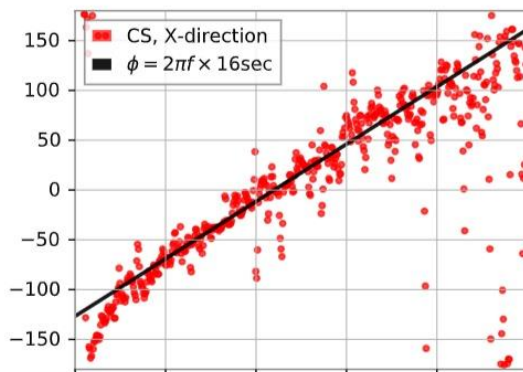
伝達関数の位相は  $\phi = 2\pi f \Delta t$  と書けるので、これが周波数の1次関数の場合は信号の到達時間差  $\Delta t$  によるものであると解釈できる

## 空振計@CS

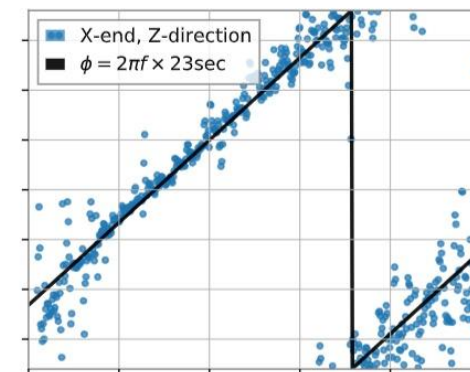
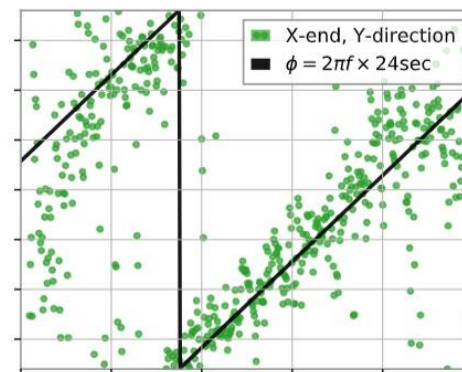
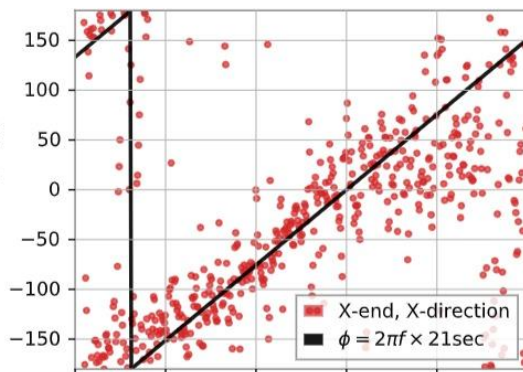


## 地震計

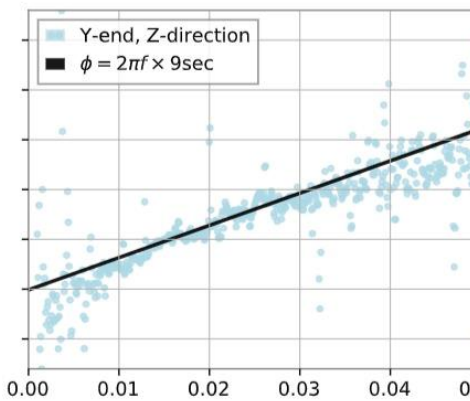
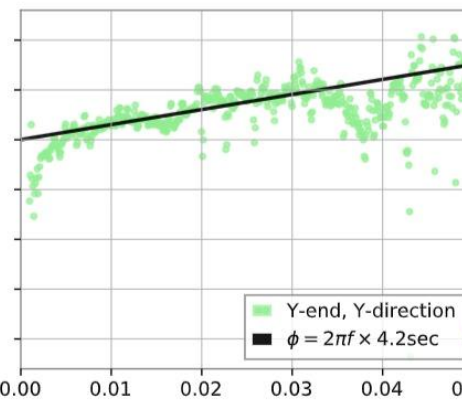
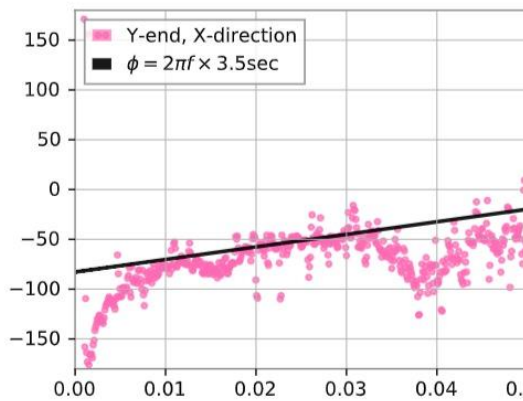
CS



X-end

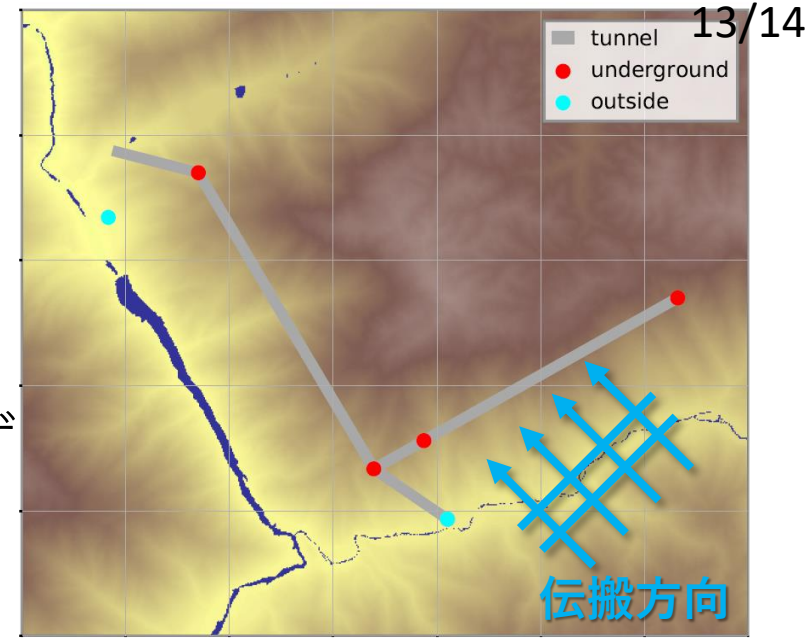


Y-end

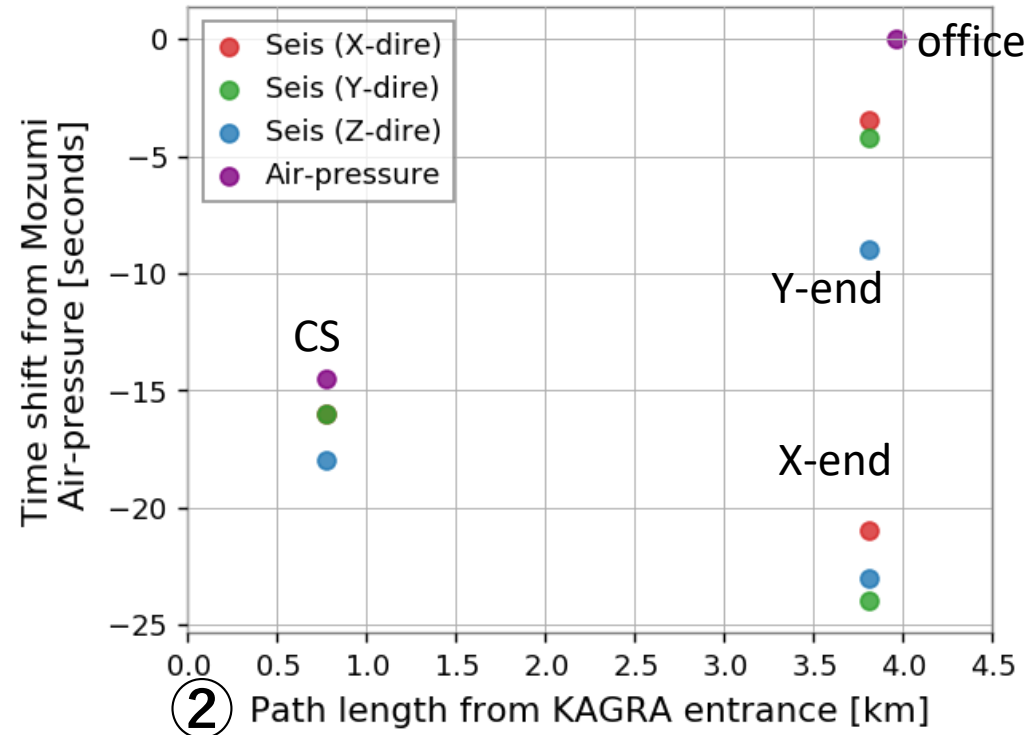
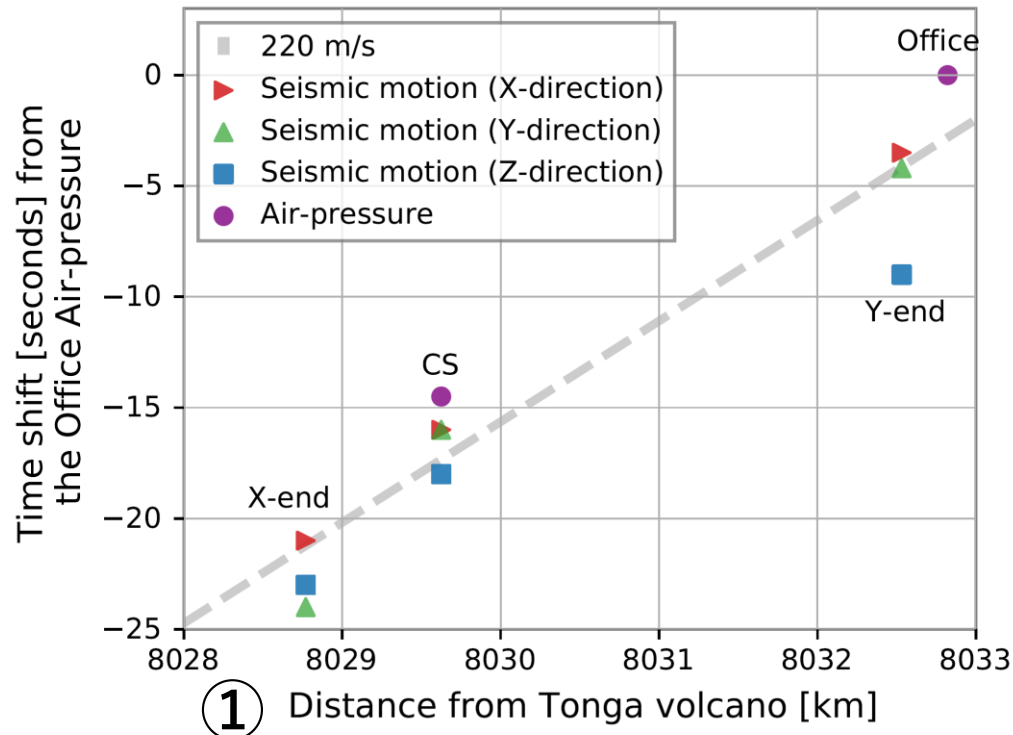


# 時間差の解釈

- ① 地上の気圧変動が直接地下に影響している場合
  - 到達時間はトンガからの距離に比例するはず
- ② 気圧変動がトンネルを通過して地下に影響している場合
  - 到達時間はトンネル入口からの経路長に比例するはず



plotしてみると、①の解釈の方が整合性がある



# まとめ

- 2022年1月15日に発生したトンガ噴火からの様々な信号を、KAGRAの環境モニターで検出した
  - 磁場 (1分未満) @地下
  - 地震波 (~10分後) @地下
  - 空振 (~7時間後) @地下/地上
- 噴火からの空振を用いて、地上の気圧変動が地下環境に与える影響を評価した
  - 低周波の気圧変動は地下にほぼ直接伝わる
  - 気圧による地面振動は山の構造に依存
- このイベントの後、KAGRAにおける気圧・インフラサウンド観測を拡充した
  - 地下3ヵ所に気圧計を設置
  - 地下のマイクアンプを低周波対応タイプに変更
  - 地上インフラサウンドセンサーを2個追加