

低温レーザー干渉計CLIOによる研究

# 共同利用タイトル:「神岡坑内における精密地球物理観測と地殻活動のモデリング」

新谷 昌人(東大地震研)

## 神岡坑内での観測

地下観測の目的

これまでの共同利用研究課題

## 本年度の研究報告

トンガ海底火山噴火に伴う全球的気圧変動・振動の観測

地震発生に伴う即時重力変動に関する研究

## 今後の計画

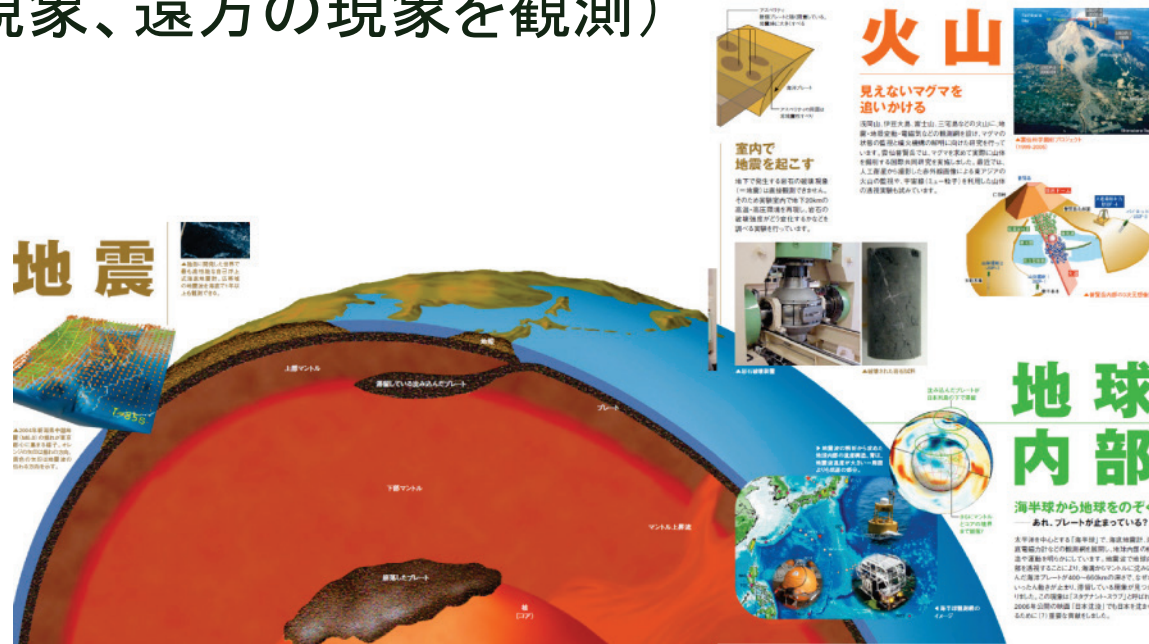
# 神岡坑内での観測

## □ 目的: 地殻活動・地球内部構造の研究

- 現象: 地震・地殻変動・自由振動・潮汐・火山活動など
- 観測手法: 地震波・地殻ひずみ・重力など

## □ 神岡坑内観測のメリット

- 安定、擾乱の少ない環境 ⇒ **高精度観測が可能**(より微細な現象、遠方の現象を観測)



# これまでの採択課題

## □ 2003～2005年度

- 神岡地下施設におけるレーザー伸縮計を用いた地球ダイナミクスの研究(竹本修三 他)

## □ 2007～2012年度

- レーザー伸縮計と超伝導重力計の同時観測による地球の固有振動の研究(森井亙、田村良明 他)

## □ 2013～2016年度

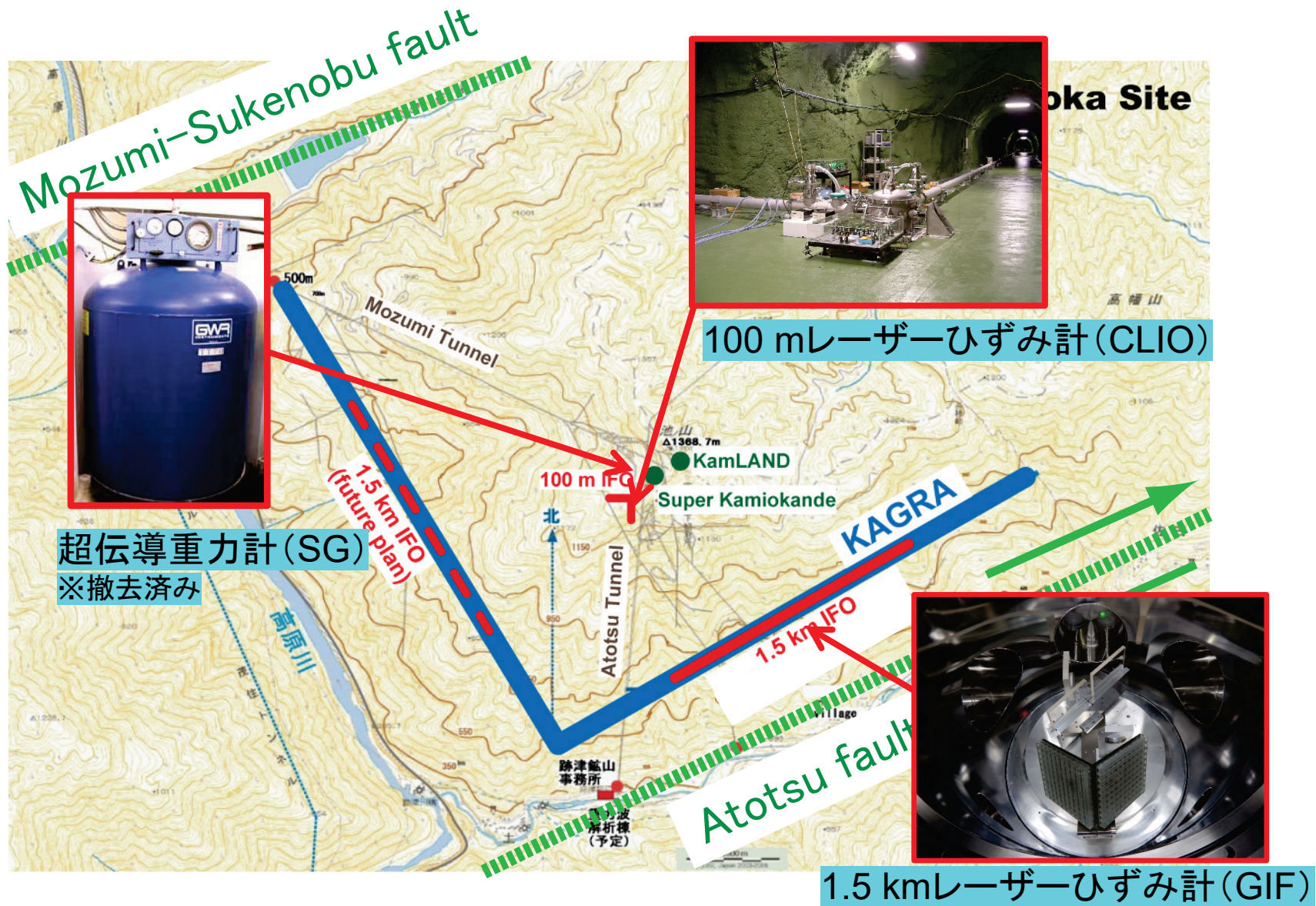
- 坑内地球物理観測でとらえる水と雪のダイナミクス(今西祐一、新谷昌人 他)

## □ 2017年度～継続中(本課題)

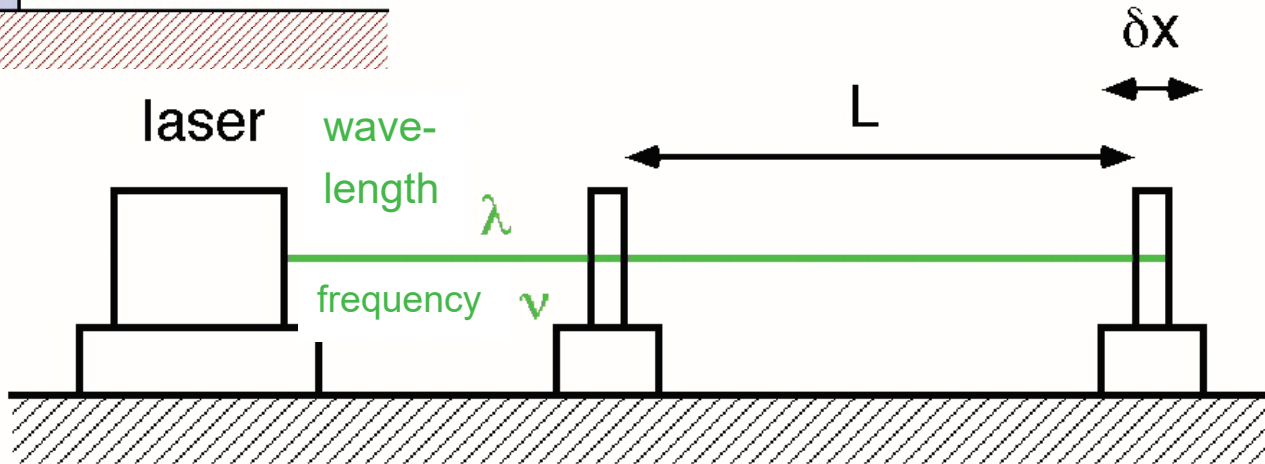
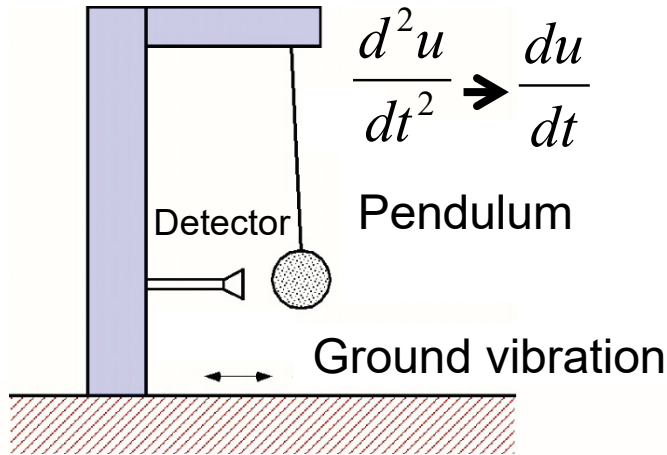
- 神岡坑内における精密地球物理観測と地殻活動のモデリング(新谷昌人 他)

2022年度査定額:20万円(全額旅費として使用)

# 神岡地下観測装置



# Seismometer and Strainmeter



optical phase :  $\phi = 2k(L + \delta x)$   
 ( $k = 2\pi/\lambda$ )

strain :  $\epsilon = \delta x/L = \underline{\delta \nu/\nu}$

Laser frequency stability

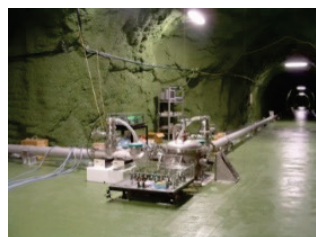
$\sim 10^{-13}$

Advantages of laser strainmeters ----- very broadband observation

# 観測ネットワーク

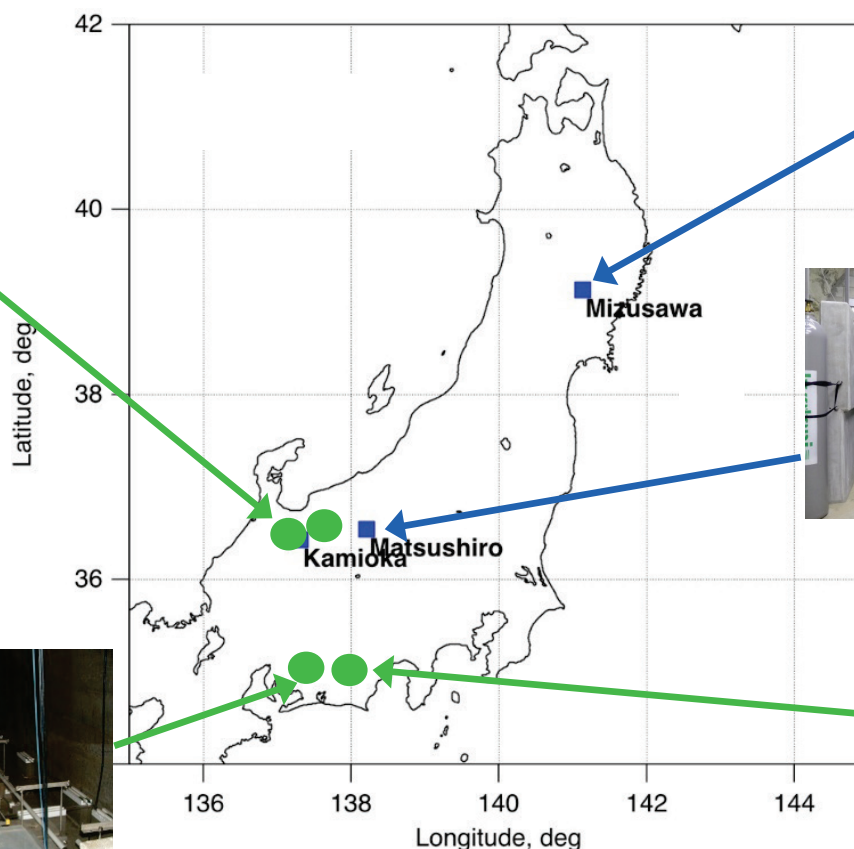
## □ 高精度観測装置の面的展開

- レーザーひずみ計(●)と超伝導重力計(■)



神岡 GIF & clio  
(東大)

犬山 30 m  
(名大)



水沢(国立天文台)



松代(東大・気象庁)



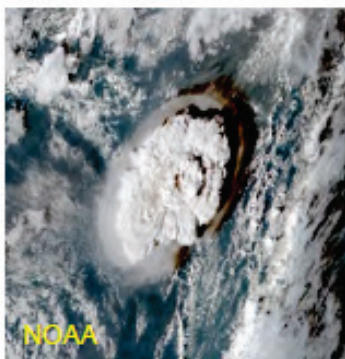
船明400 m(気象研)

# 研究報告(1)

## トンガ火山噴火(2022.1.15)に伴う全球的な気圧変動

### □ 2022年のトンガ海底火山噴火

- 2022年1月15日 4:14(UTC)頃、フンガ・トンガ海底火山が噴火
- 地球規模で様々な影響を観測
  - ◆ 地震波, 大気震動(Lamb波), 津波, 電磁場の擾乱など
  - ◆ KAGRA(GIF)の環境センサーでも観測(Washimi 2022)
- GIF: 大気Lamb波により引き起こされたひずみ変化を観測



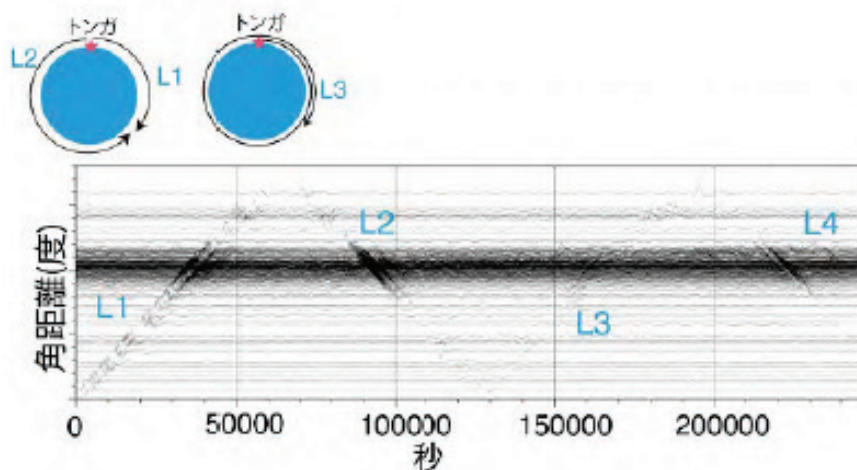
(Takamori, 2022)

# トンガ火山噴火(2022.1.15)に伴う全球的な気圧変動

## □ 噴火による大気Lamb波

- 長波長音波 (> 100 km)
  - ◆ 平面波, 気圧変動として観測
- 地球を周回
  - ◆  $L_n$ 波:  $n$ (奇数)北回り,(偶数)南回り
    - 日本には南南東と北北西から到達( $L_1$ 波:約7時間後に神岡に到達)
  - ◆ 伝搬速度~310 m/s(インフラソニック波)
    - 気流の影響などを受ける

微気圧計記録



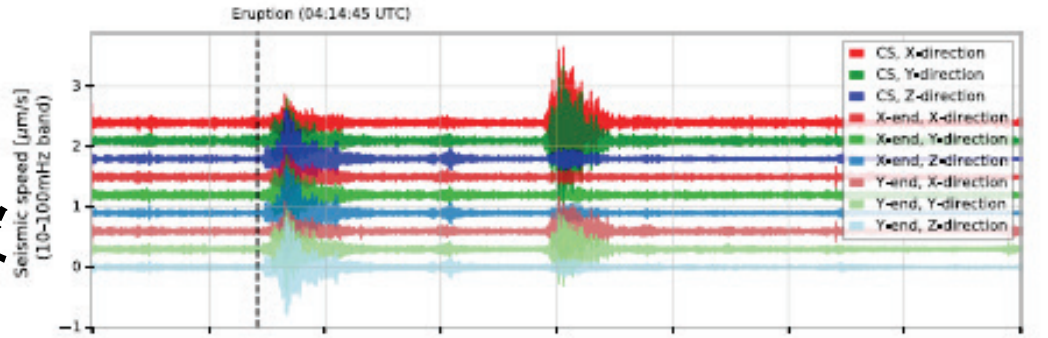
西田 (2022)

(<https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/news/15712/>)

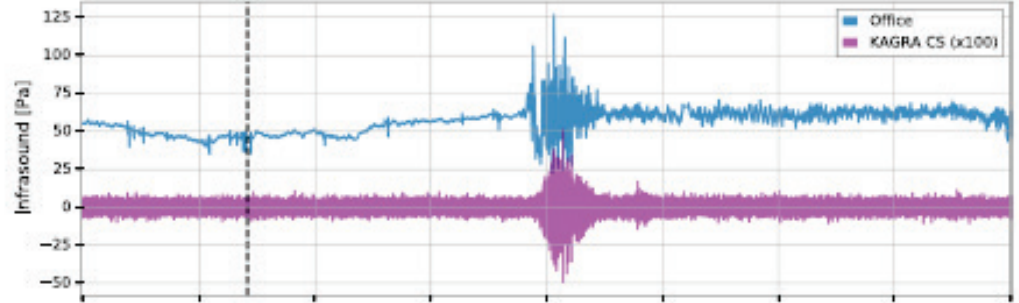


# トンガ火山噴火 (2022.1.15)に伴う 全球の変動 (KAGRAサイト)

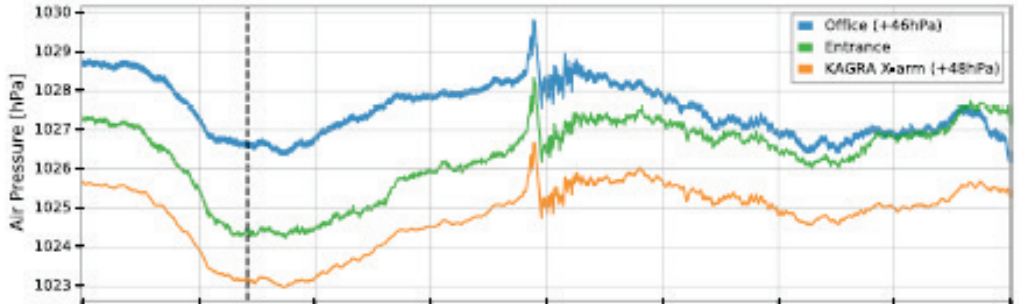
地震波



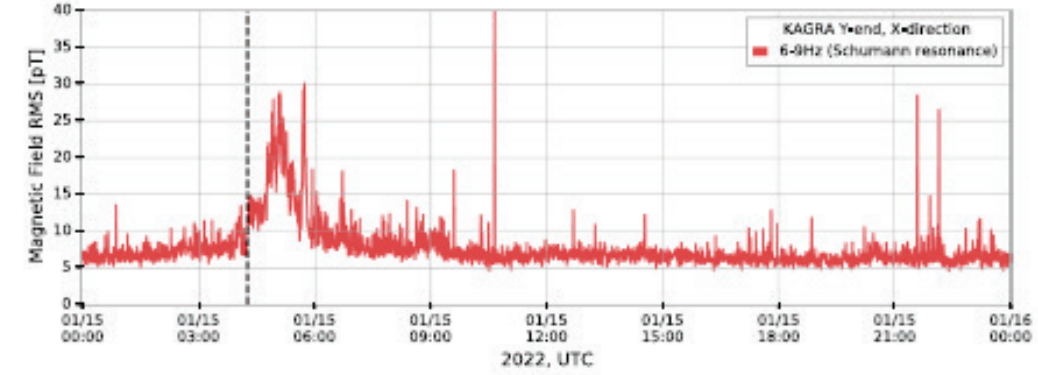
音波



気圧



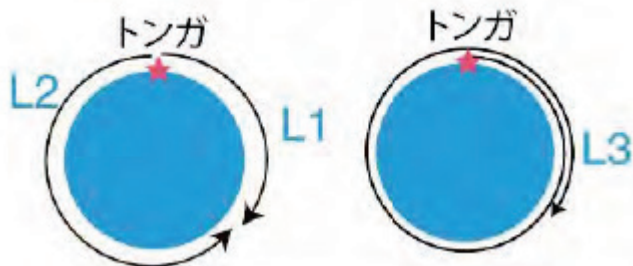
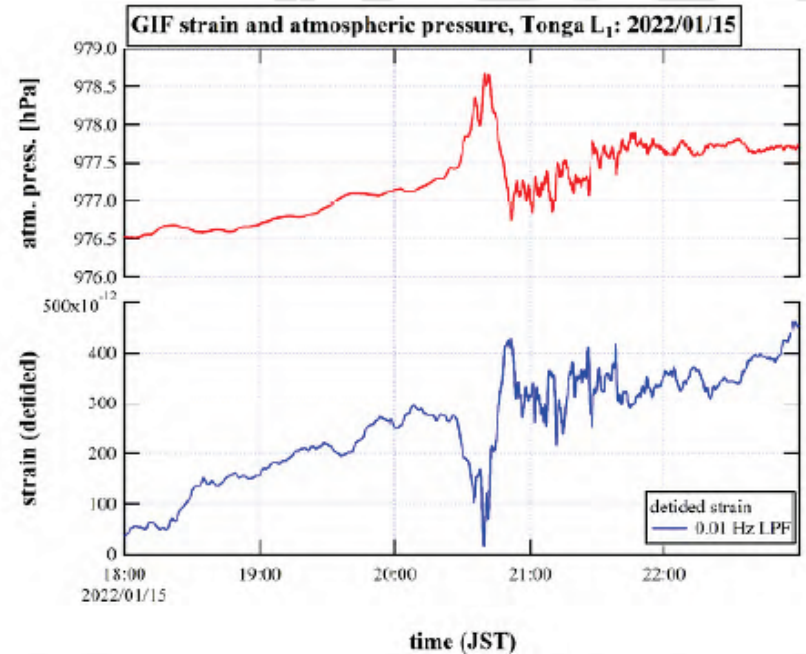
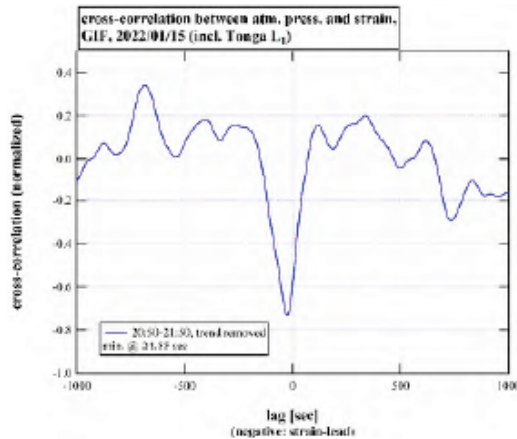
磁場



(Washimi, 2022)

# トンガ火山噴火(2022.1.15)に伴う全球的な気圧変動

- $L_1$ 波(北回り第1波): 2022/1/15 20:35(JST)到達
  - 気圧変動(最大値)  $\sim 1.9$  hPa(坑内気圧計), ピーク幅 $\sim 1000$ 秒
    - ◆ 地上とほぼ同時、同振幅(Washimi 2022)
- ひずみと気圧変化は逆相関
  - ひずみ変動(最大値)  $\sim -4.0 \times 10^{-10}$
  - 応答係数  $\sim -2.1 \times 10^{-10}$  [hPa] (静荷重に比べ小さめ)
- 時間のずれ
  - ひずみは気圧に対して約25秒先行

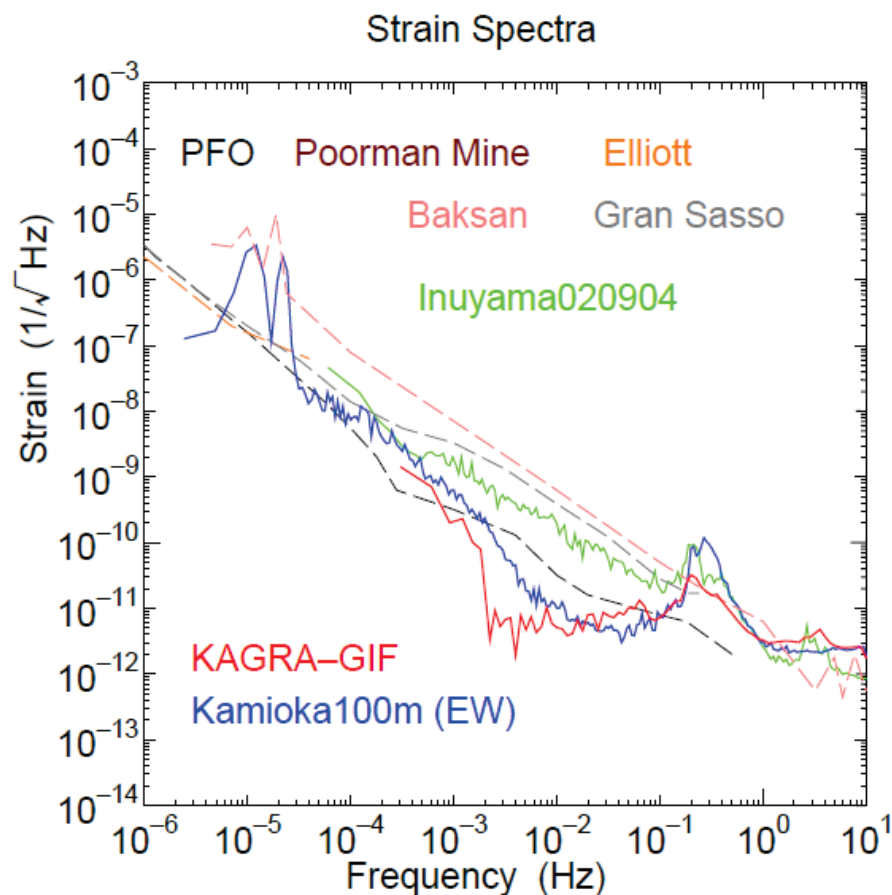


(Takamori, 2022)

# レーザーひずみ計の分解能

## □ バックグラウンドのスペクトル

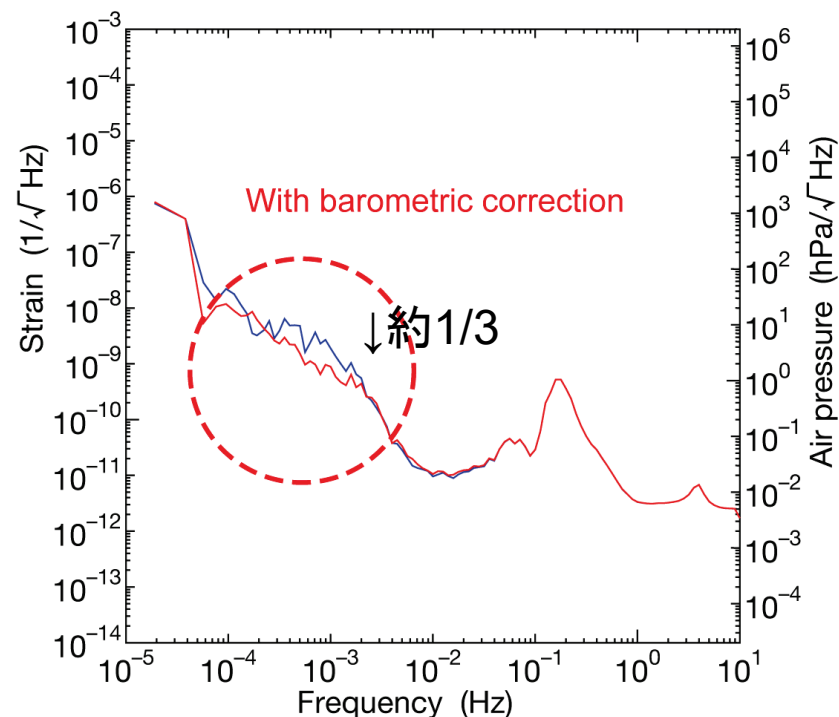
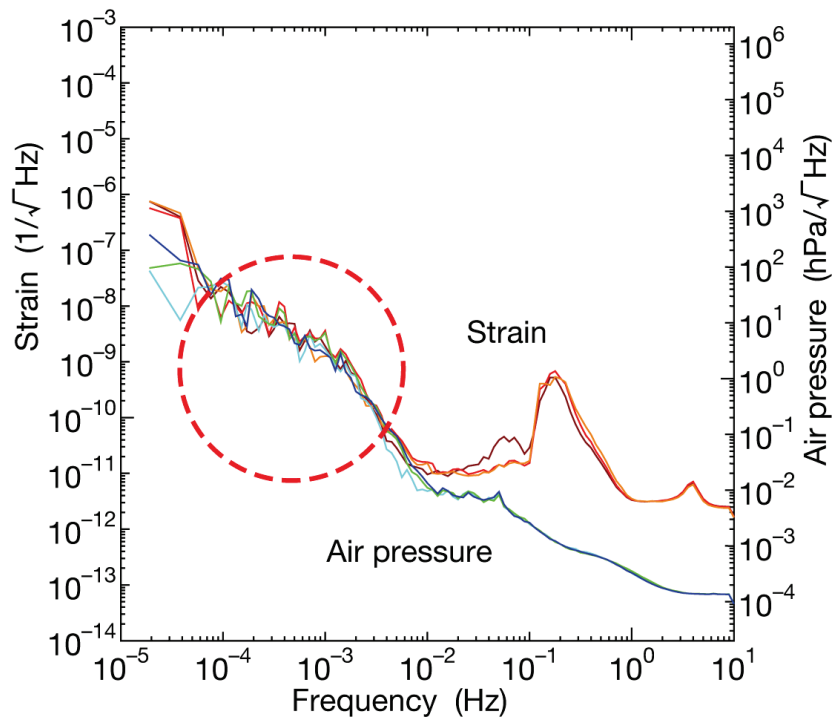
- 他のレーザーひずみ計と比較
- GIF: 1-10 mHz帯で最高感度を達成



(Araya, 2017)

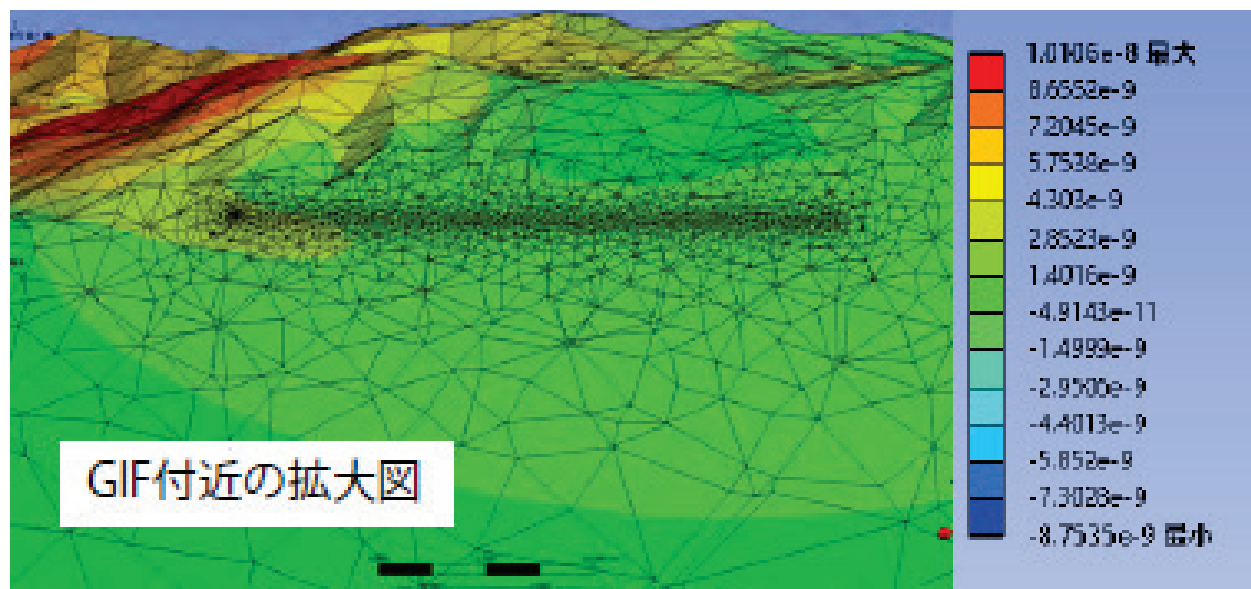
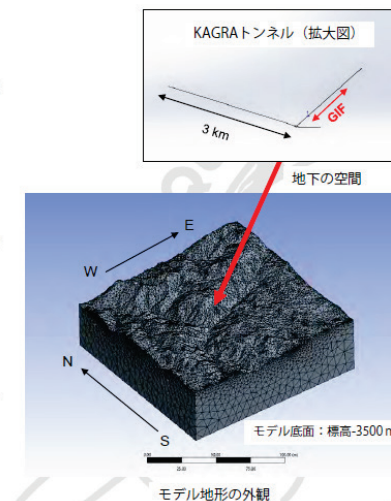
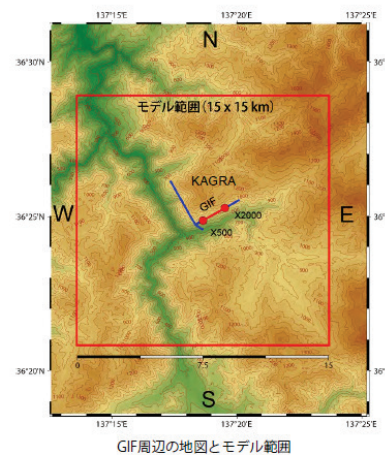
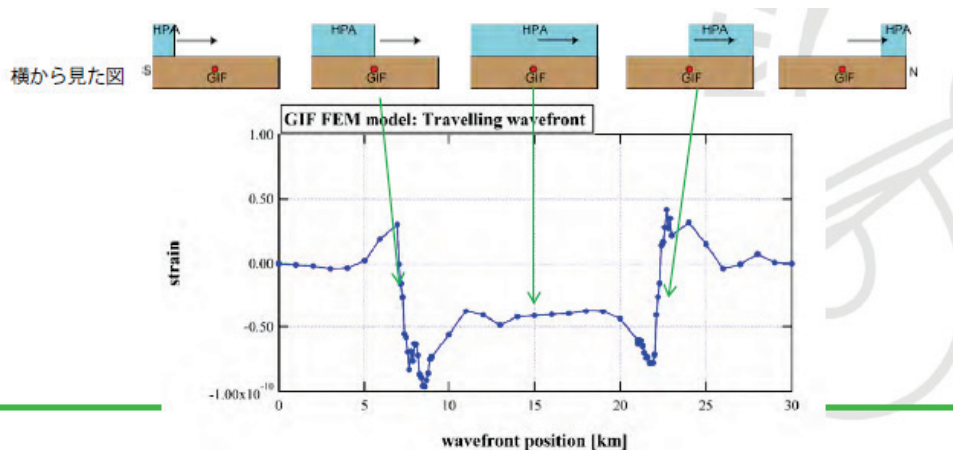
## □ 気圧変化とひずみの相関(GIF)

- 坑内気圧とひずみスペクトルが低周波(0.1~1 mHz)で同形(左図)
  - 坑内気圧を用いたひずみ補正(右図)
    - ◆ 低減率は約1/3とあまり高くない
    - ◆ 気圧変動によりひずみが支配される荒天時も同様
- ⇒ 坑内の局所的な気圧だけでなく、**広域的な気圧変動の影響を示唆**



(Akutsu, 2021)

# トンガ火山噴火(2022.1.15)に伴う全球的な気圧変動



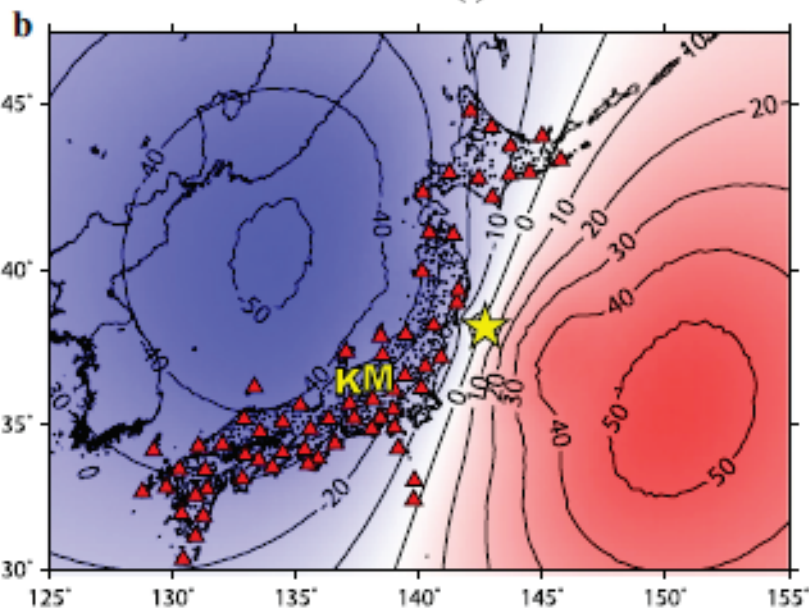
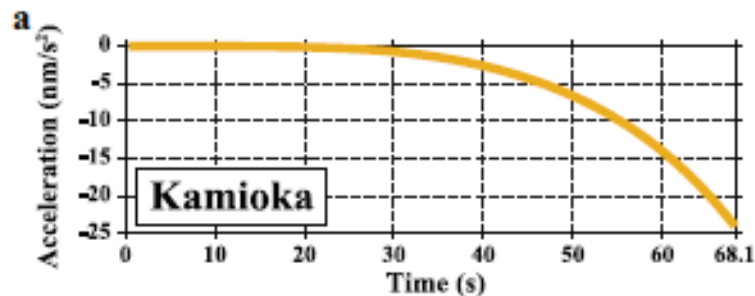
有限要素法FEMを用いた、気圧がひずみに及ぼす影響の見積り

→ 気圧補正によるひずみ観測性能の向上

(Takamori, 2022)

# 研究報告(2)

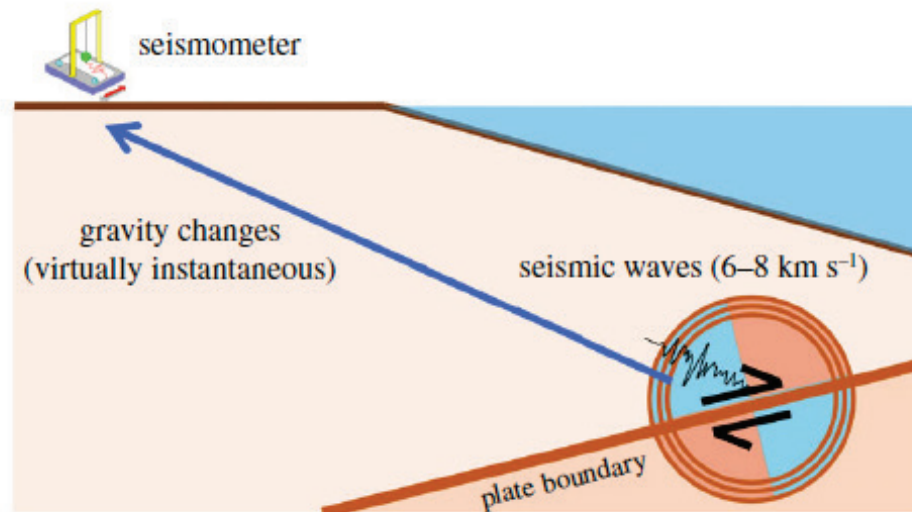
## 地震発生に伴う即時重力変動に関する研究



(Kimura, 2019)

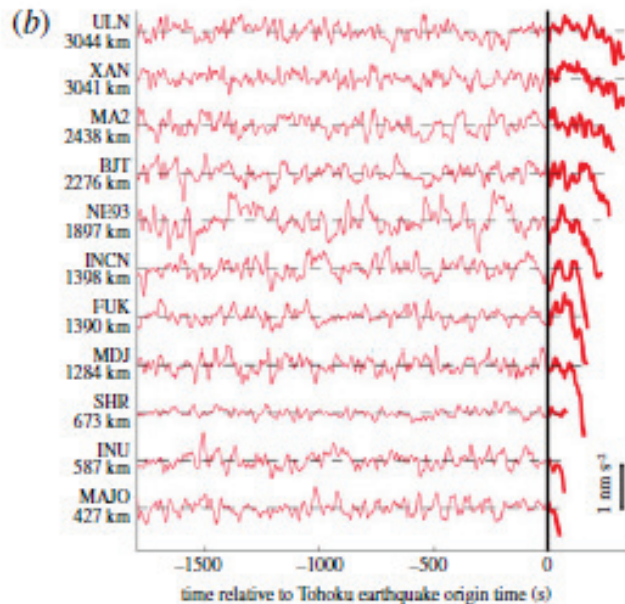
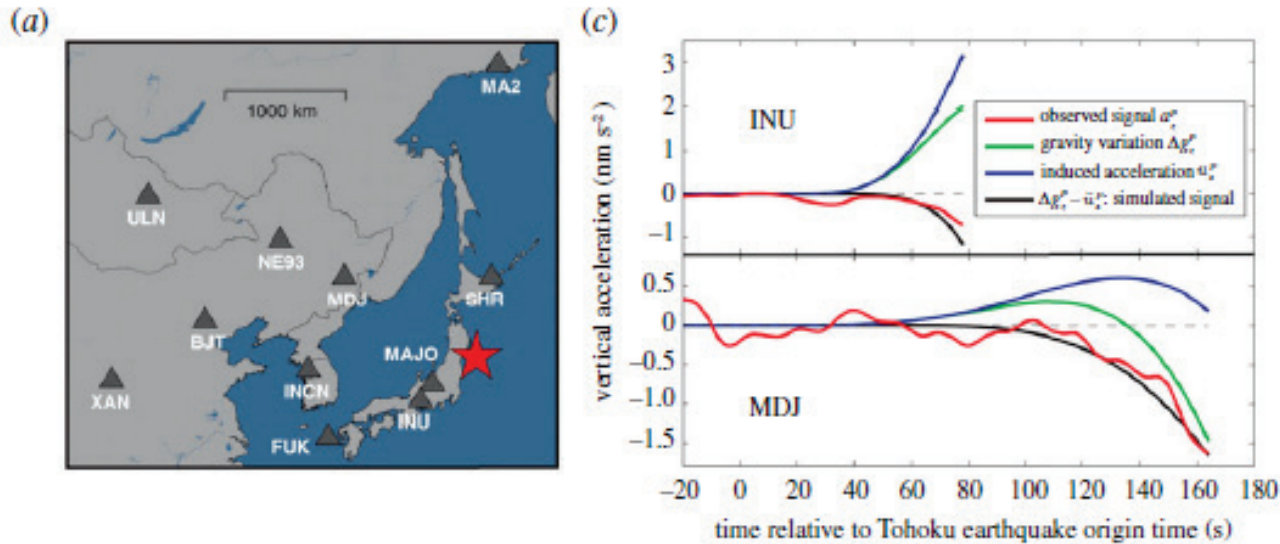
震源の密度変化に伴い重力場  
変動が光速で伝播する  
・・・p波より早い到達

(Harms, 2015)



(Kame, 2020)

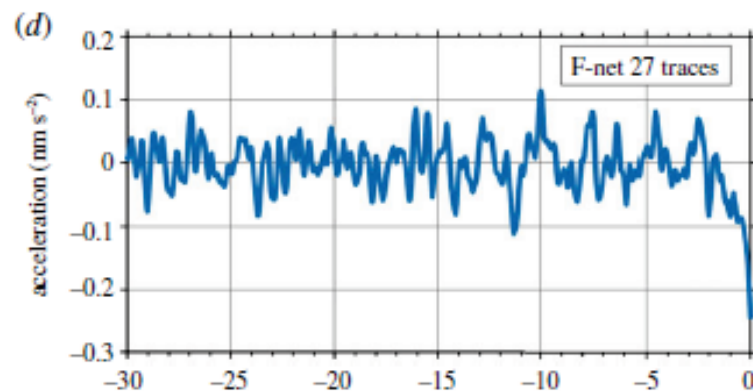
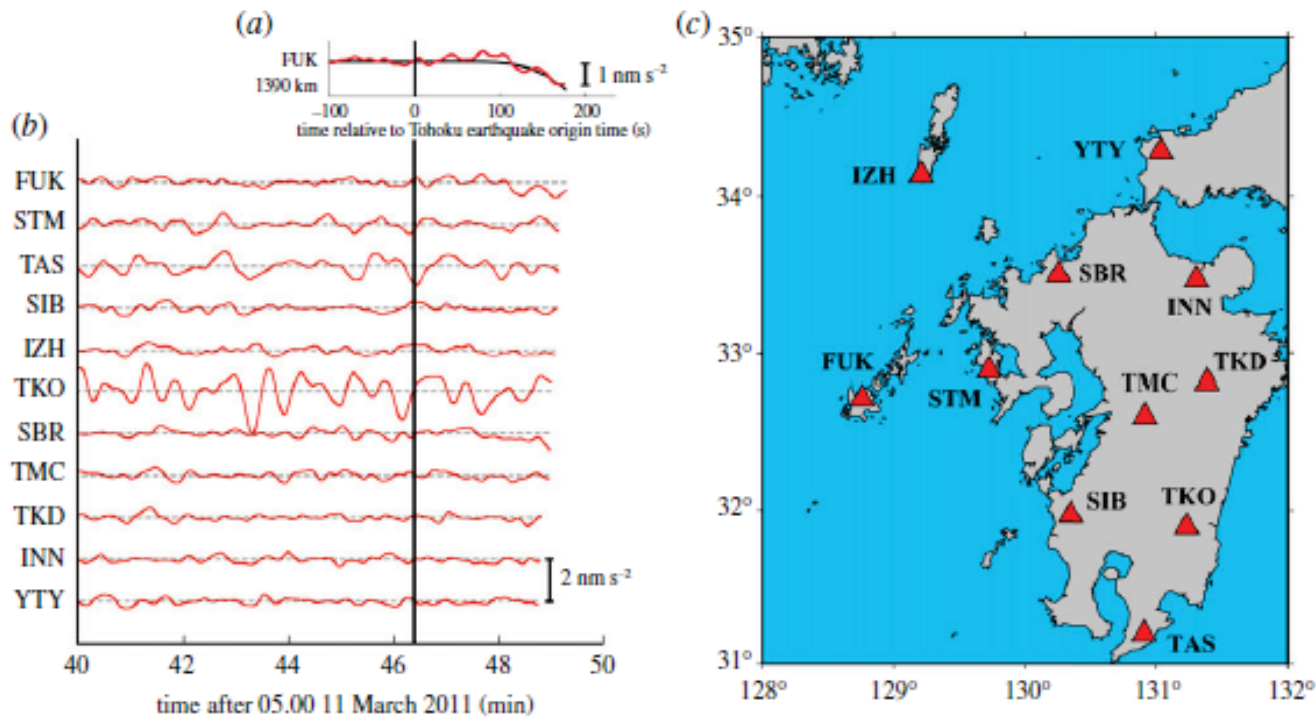
# 地震発生に伴う即時重力変動に関する研究



東北地震の際の  
地震計による  
観測記録(上下動)  
・・・p波到達前に  
揃って変化

(Vallée, 2017)

# 地震発生に伴う即時重力変動に関する研究

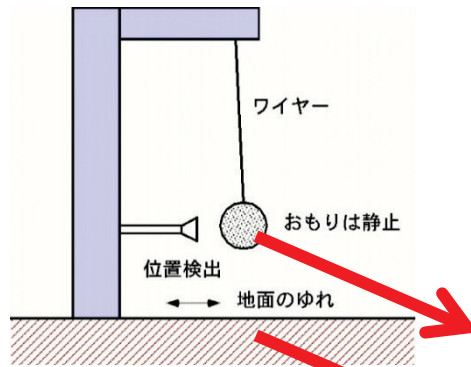


東北地震の際の  
地震計観測網に  
よる記録  
・・・水平動も理論  
と整合する向き  
に変化

(Kimura, 2019)

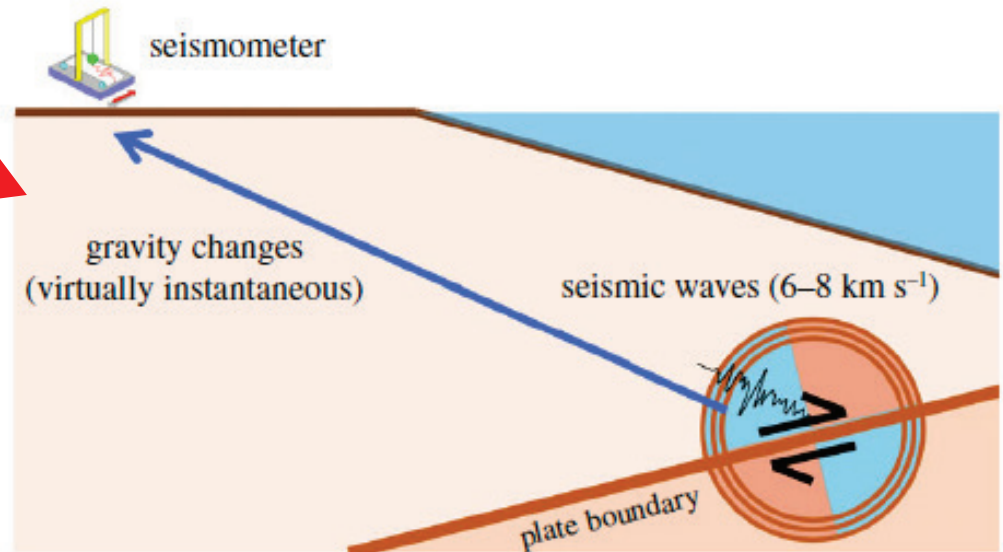
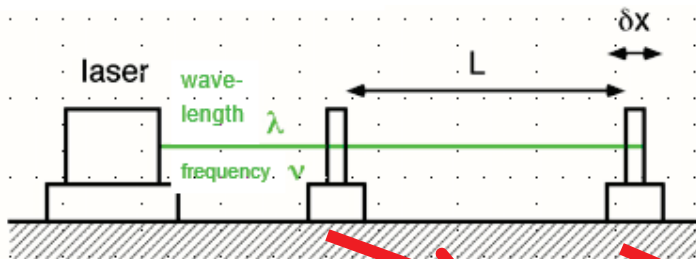


# 地震発生に伴う即時重力変動に関する研究



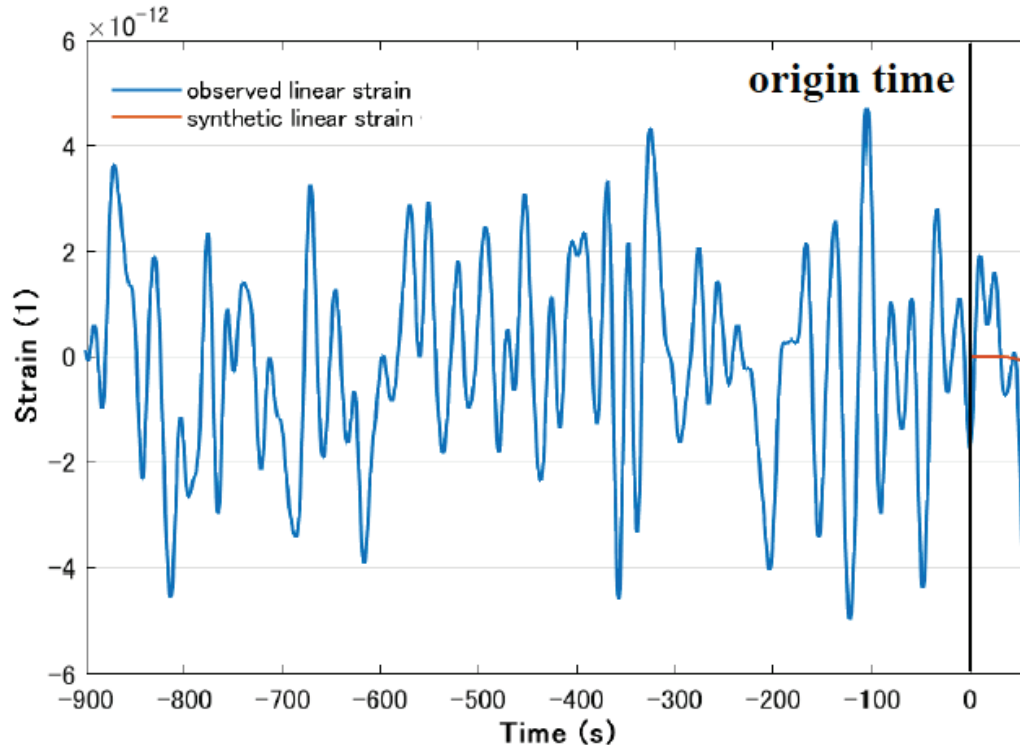
- ・地震計、重力計の場合は地面の変動とマスの変動による打ち消しが発生

- ・ひずみ計の場合は直接検知できる



# 地震発生に伴う即時重力変動に関する研究

100 m 基線長レーザー干渉計記録(2011年東北沖地震)



-900 s ~ 0 s 間のRMS

背景ノイズRMS(100 m 基線長)  
 $= 1.8 \times 10^{-12}$

背景ノイズRMS (1500 m 基線長)  
 $= 1.83 \times 10^{-12}$

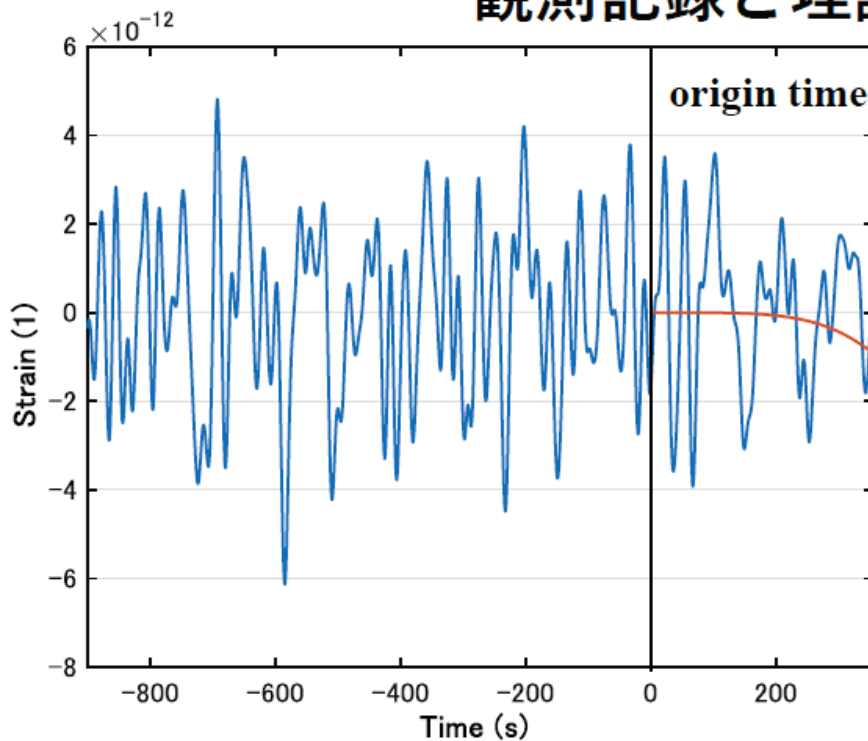
Preliminary

(Kawai, 2022)

- ・東北地震(2011)の予想信号は100mひずみ計の微動レベルよりだいぶ小さい

# 地震発生に伴う即時重力変動に関する研究

## 1500 m 基線長レーザー干渉計 観測記録と理論信号の比較



P波到達前の理論振幅  
 $0.9 \times 10^{-12}$

観測記録(-900 s ~ 0 s)のRMS  
 $1.8 \times 10^{-12}$

Preliminary

(Kawai, 2022)

・2017年7月17日 23:34:13(UTC)  
コマンドルスキー諸島付近、Mw 7.7  
の場合・・・1500mひずみ計で検知可能？

# 今後の計画

- ひずみ観測の保守を継続
- トンガ噴火時に観測されたひずみ変動・気圧変動のモデル化  
⇒ひずみ観測ノイズの補正、観測性能向上

- 即時重力変動の解析を継続

- 標章上での絶対重力計測を継続

⇒長期地殻変動の計測

※今年度は実施できず

