

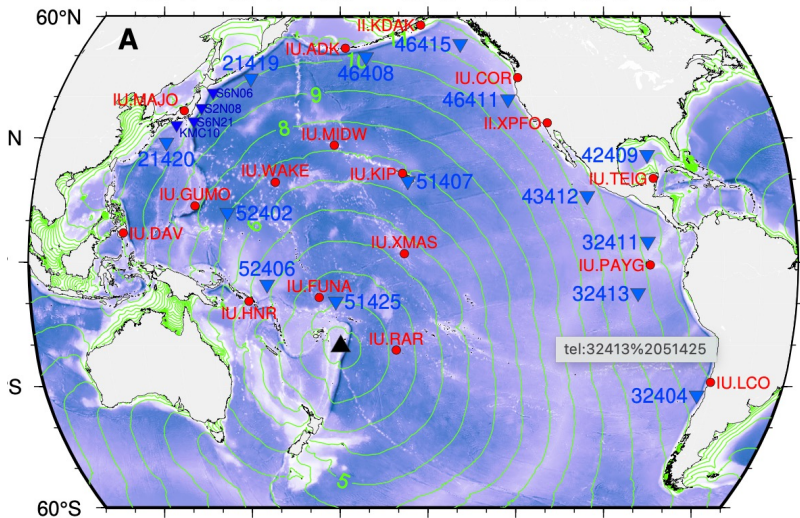
生きる、を支える科学技術



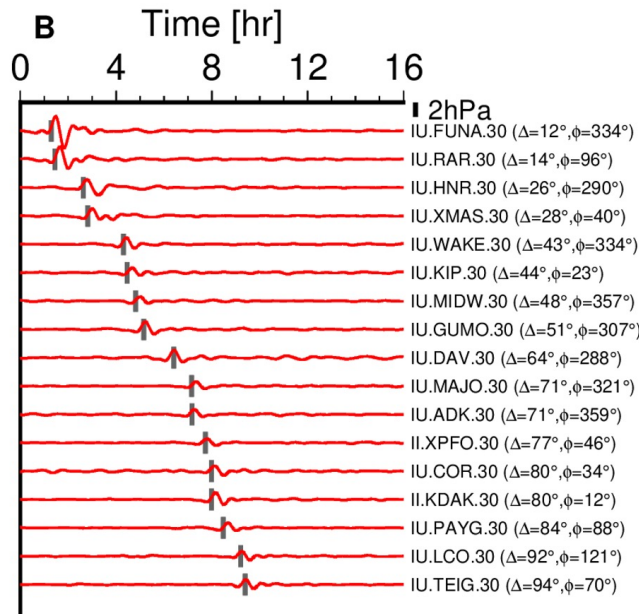
# 2022年トンガ火山噴火による津波の発生

齊藤竜彦

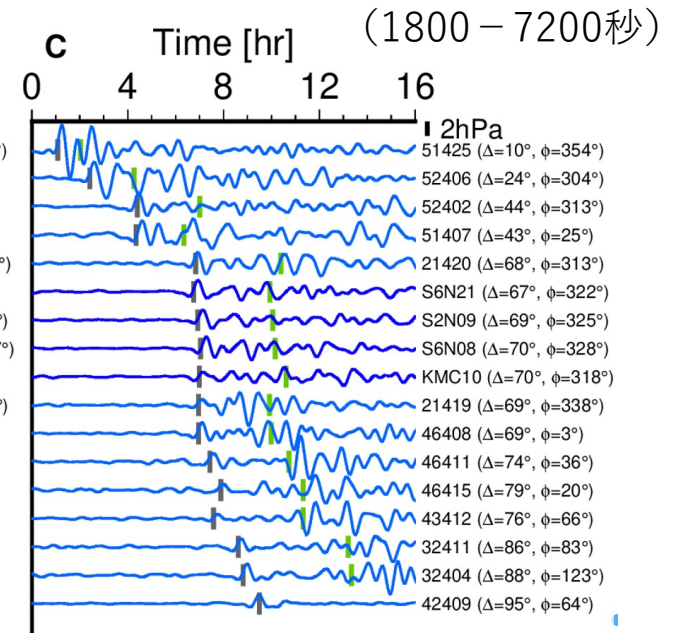
- 全球規模（海洋，湾の外）
- 気圧変化と水圧変化の統合解析
- 噴火にともなう津波発生メカニズムの考察



気圧変化記録



水圧変化記録



緑：津波伝播速度からの予測

## シミュレーション： 移動する気圧変化による津波の発生

線形長波方程式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\nabla_{2D} \cdot (h\mathbf{u})$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} = -g_0 \nabla_h \eta - \frac{1}{\rho_0} \nabla_{2D} p_a$$

$h$ : 水深

$\rho_0$ : 海水密度

$\eta$ : 海面変位

$\mathbf{v}$ : 平均水平流速

$p_a$ : 海面での大気圧変化 (点震源から速度300m/s, Lamb波)

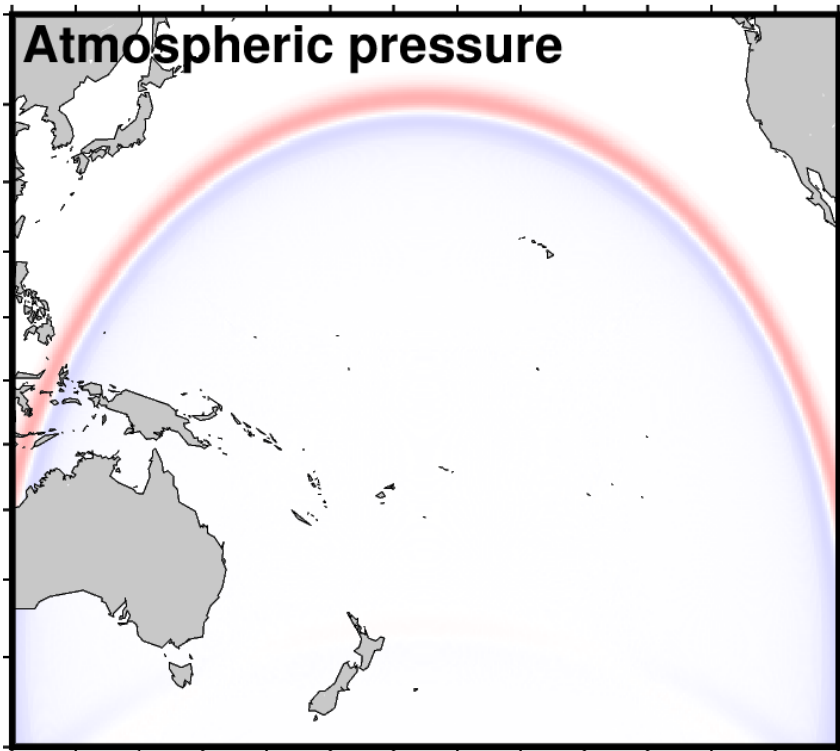
- 数値計算の設定 :  $\Delta t = 4s$ ,  $\Delta \lambda = \Delta \theta = 2 \text{ min}$
- ETOPO1

- 海底圧力変化 (観測量)

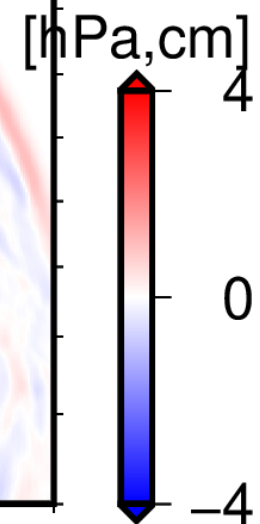
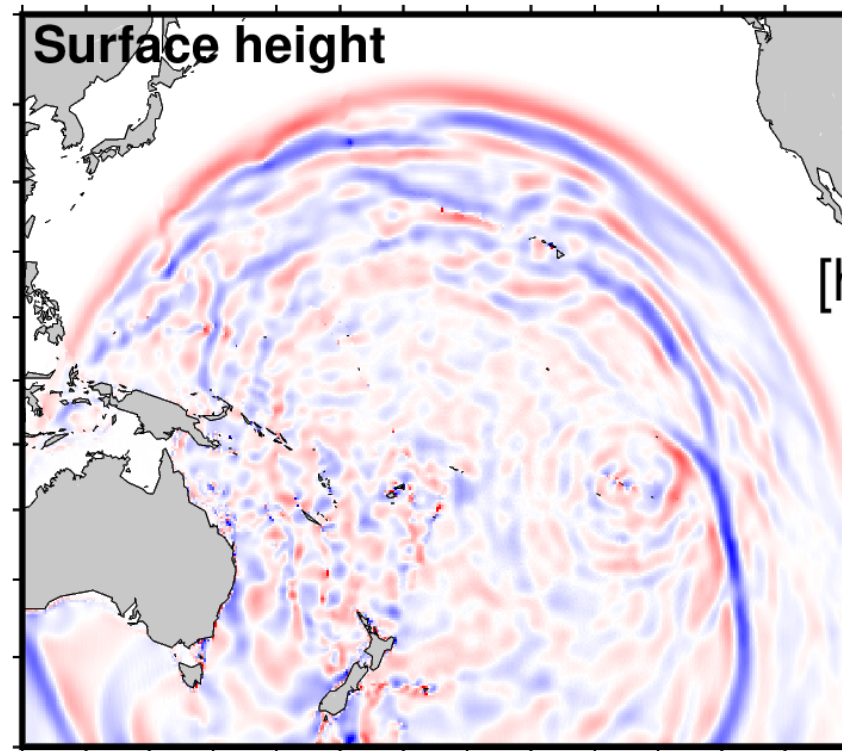
$$P_{\text{obp}} = p_a + \rho_0 g_0 \eta$$

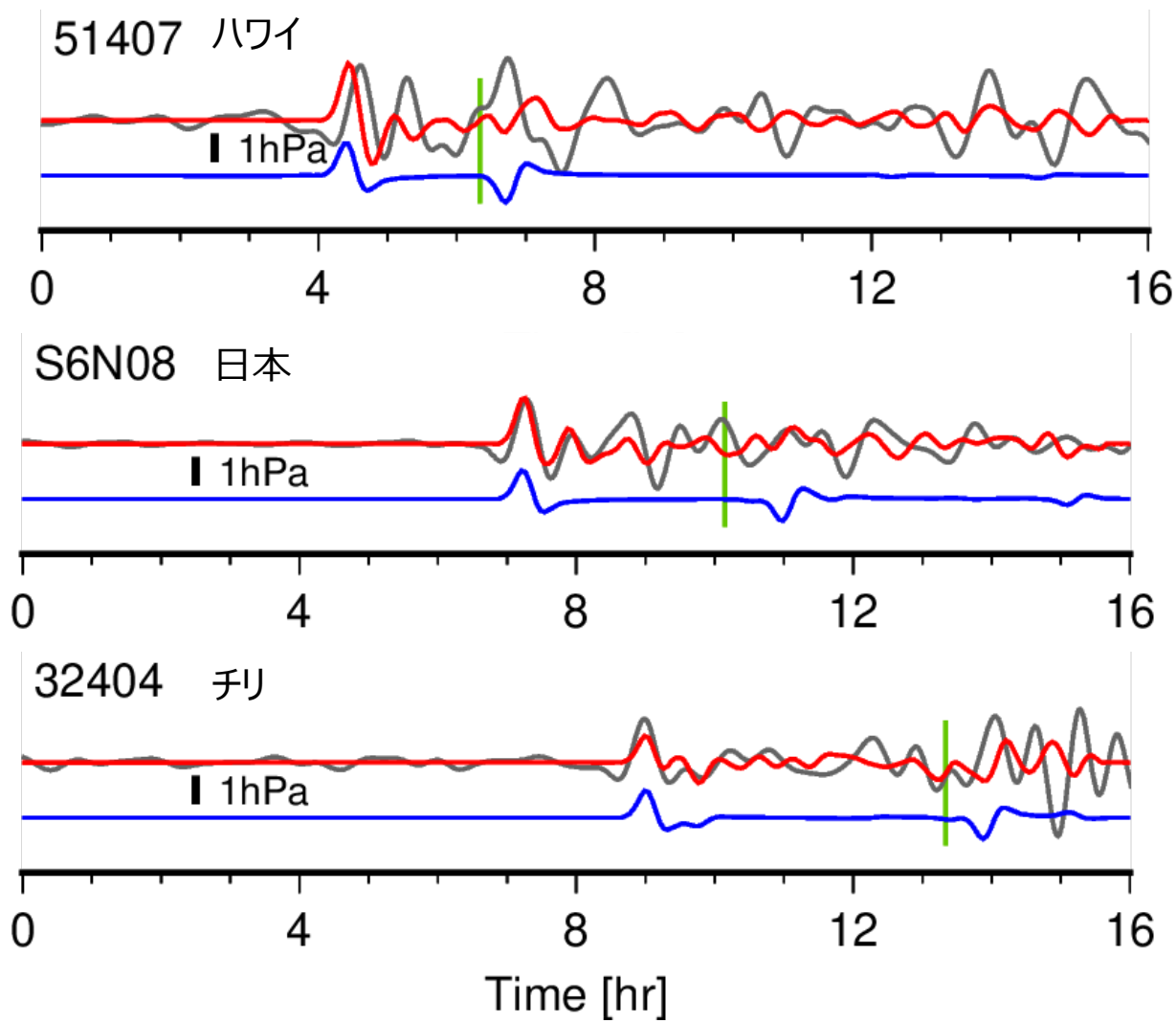
Kubota et al. 2021 GRL

外力  $p_a$   
 $t = 396 \text{ min}$



海面上下変位  $\eta$

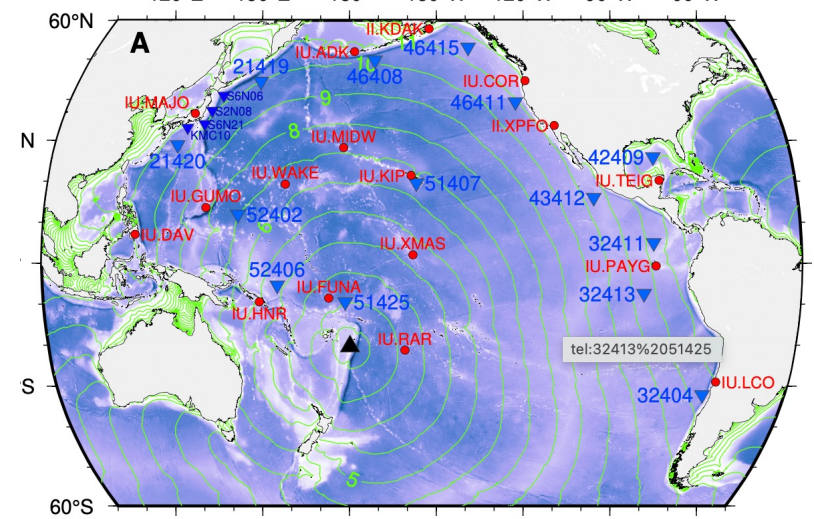




灰：観測  
 赤：実地形の計算  
 青：水深4km一様の計算

大振幅のLamb波による海面変位の強制振動  
 +  
 海底地形・島による津波散乱効果

最初の波（単純な津波走時以前の波）は、おおよそ説明可能



## 移動する海面圧力変化によって励起する海面変位

Proudman (1929),  
Saito et al. (2021 JGROcean) など

$$\eta(x, t) = \frac{1}{\frac{V_0^2}{c_0^2} - 1} \frac{p(x - V_0 t)}{\rho_0 g_0} - \frac{1}{2} \frac{1}{\frac{V_0}{c_0} - 1} \frac{p(x - c_0 t)}{\rho_0 g_0} - \frac{1}{2} \frac{1}{\frac{V_0}{c_0} + 1} \frac{p(x + c_0 t)}{\rho_0 g_0}$$
$$\approx -\frac{1}{2\rho_0 g_0} c_0 t \frac{d}{dx} p(x - V_0 t) H(t) - \frac{1}{4\rho_0 g_0} p(x - V_0 t) H(t) + \frac{1}{4\rho_0 g_0} p(x + c_0 t) H(t)$$

for  $V_0 \approx c_0$

$p = p(x - V_0 t)$ : 海面の圧力変化

$V_0$ : 海面の圧力変化の移動速度

$c_0 (= \sqrt{g_0 h})$ : 津波の伝播速度

## 2022年トンガ火山噴火による津波発生メカニズム

- 津波の伝播速度より速く伝わる海面変位
  1. Lamb波 (300m/s) による海面の強制振動 + 海底地形による津波の散乱
- 津波の伝播速度 (200m/s) で伝わる海面変位
  2. Lamb波による海水の強制振動を補うため生まれる津波 (海水の体積保存)
  3. 海底地殻変動・土砂流入等で発生する津波
  4. 微弱な大気重力波 (200m/s) によって励起される津波 (伝播距離とともに振幅増大)

### 議論

- 大気圧力波 (Lamb波, 大気重力波) による海面変位・津波は原理的にはシミュレートできる.
- 津波再現のためには, 大気圧力波のモデリングが必要. 特に, 大気重力波(200m/s)の励起量と方位依存性 (火山噴火メカニズム) と伝播過程の理解が課題
- 海面変位と大気圧力波の荷重を合わせたものを海底水圧計は観測
- (現在) 沿岸・湾での増幅前の津波を予測することさえ簡単では無い.

参考文献 Kubota, Saito, Nishida (2022, EarthArXiv <https://doi.org/10.31223/X5KP8M>)