

令和4年度 気象研究所 研究成果発表会
2023年1月21日
(オンライン)

トンガで発生した火山噴火に伴う潮位振動

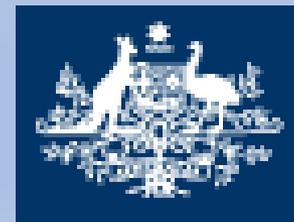
高野洋雄¹⁾、対馬弘晃²⁾、林豊²⁾、Mikhail Entel³⁾、
中野 英之⁴⁾、坂本 圭⁴⁾

1) 応用気象研究部

2) 地震津波研究部

3) Bureau of Meteorology (オーストラリア)

4) 全球大気海洋研究部



内 容

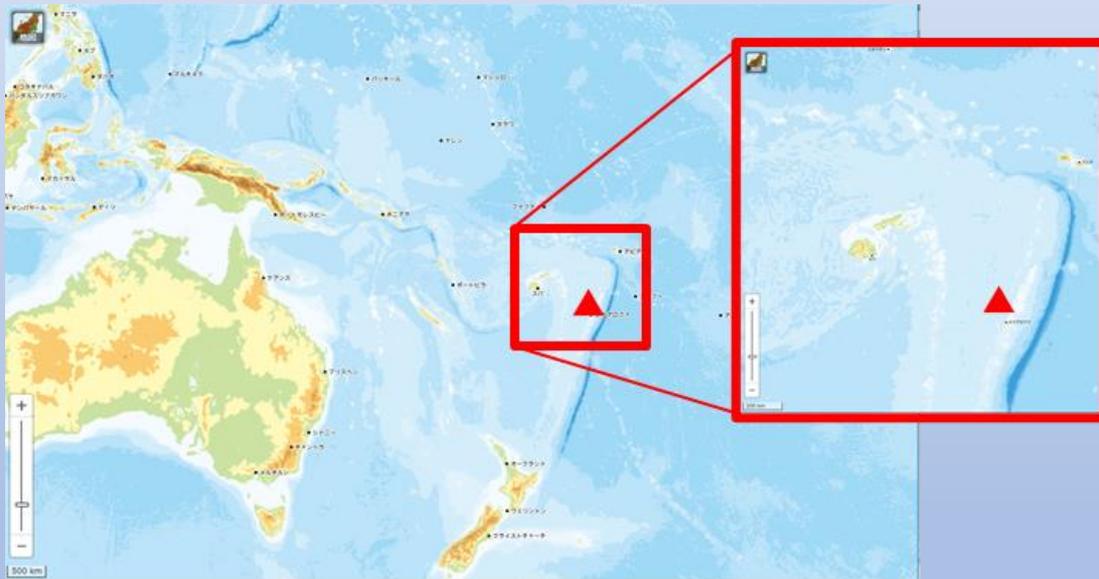
- はじめに
 - 火山噴火と予想外の潮位振動
 - 観測された潮位と気圧変化
 - Metetsunami（気象津波）とは
- 気圧変化の詳細
- 潮位振動の再現計算
- まとめと課題

内 容

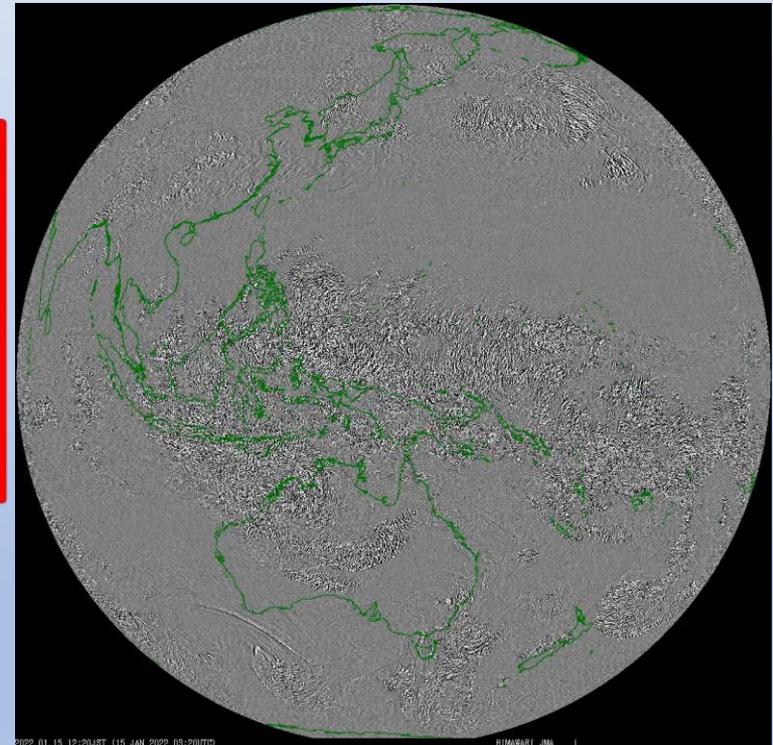
- はじめに
 - 火山噴火と予想外の潮位振動
 - 観測された潮位と気圧変化
 - Metetsunami（気象津波）とは
- 気圧変化の詳細
- 潮位振動の再現計算
- まとめと課題

火山の噴火の概況

- 噴火発生日時：1月15日13時頃（04：15UTC）
- 火山名：フンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山
- 噴煙高度：約52,000 フィート（約16,000 メートル）

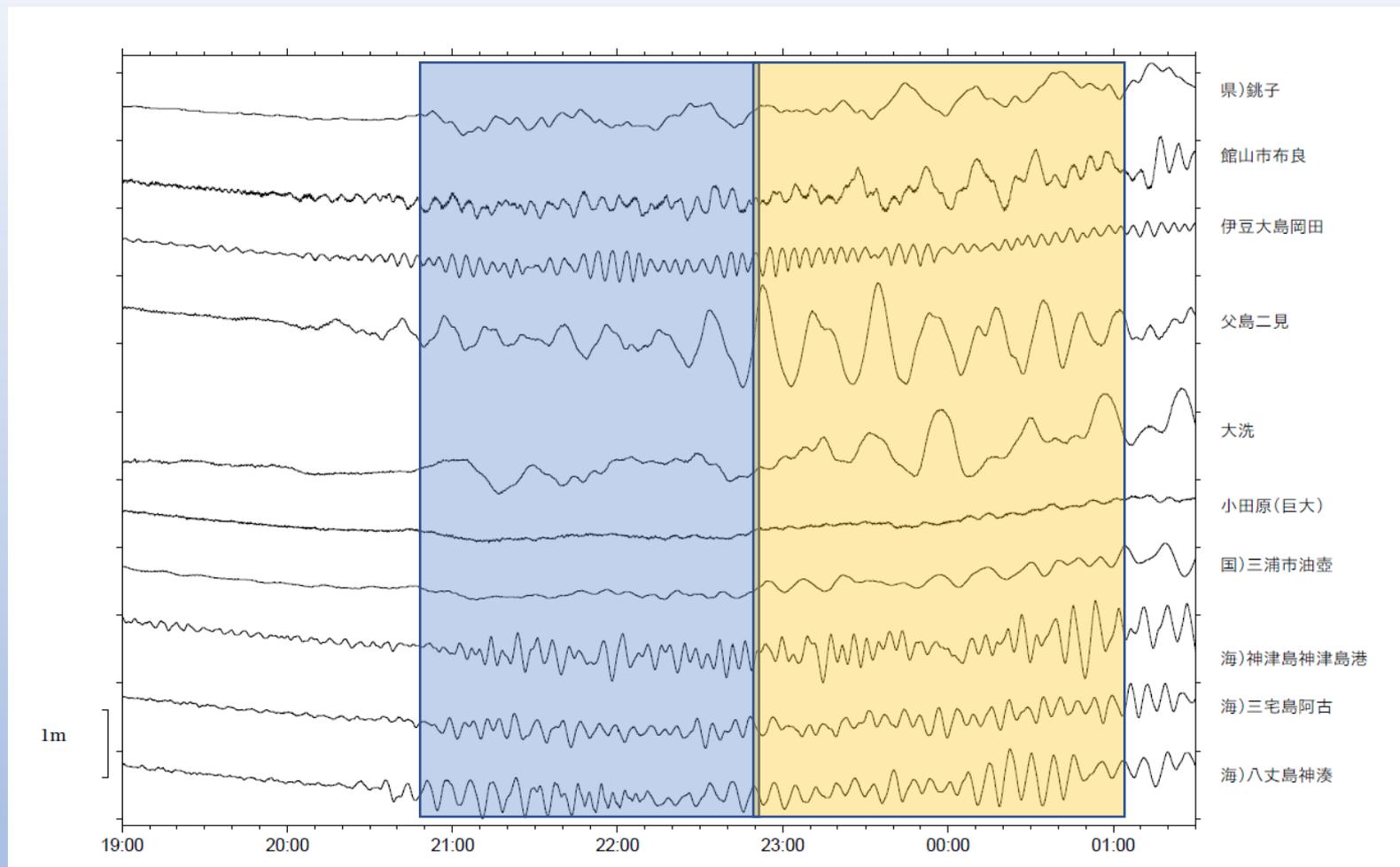


フンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山



気象衛星「ひまわり」の水蒸気差分画像
(気象衛星センター作成)

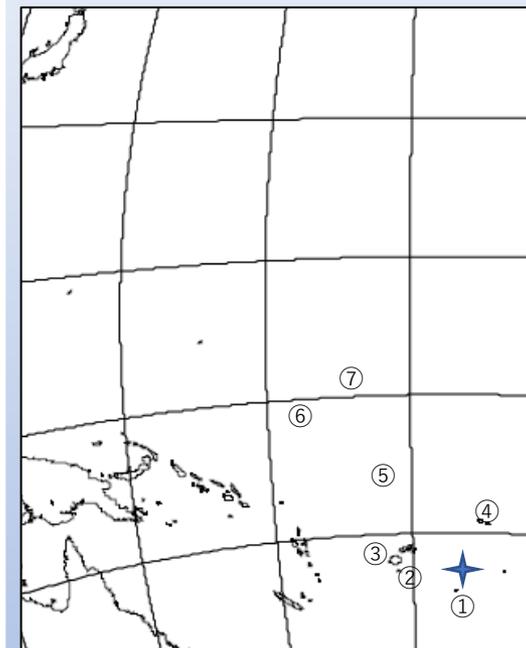
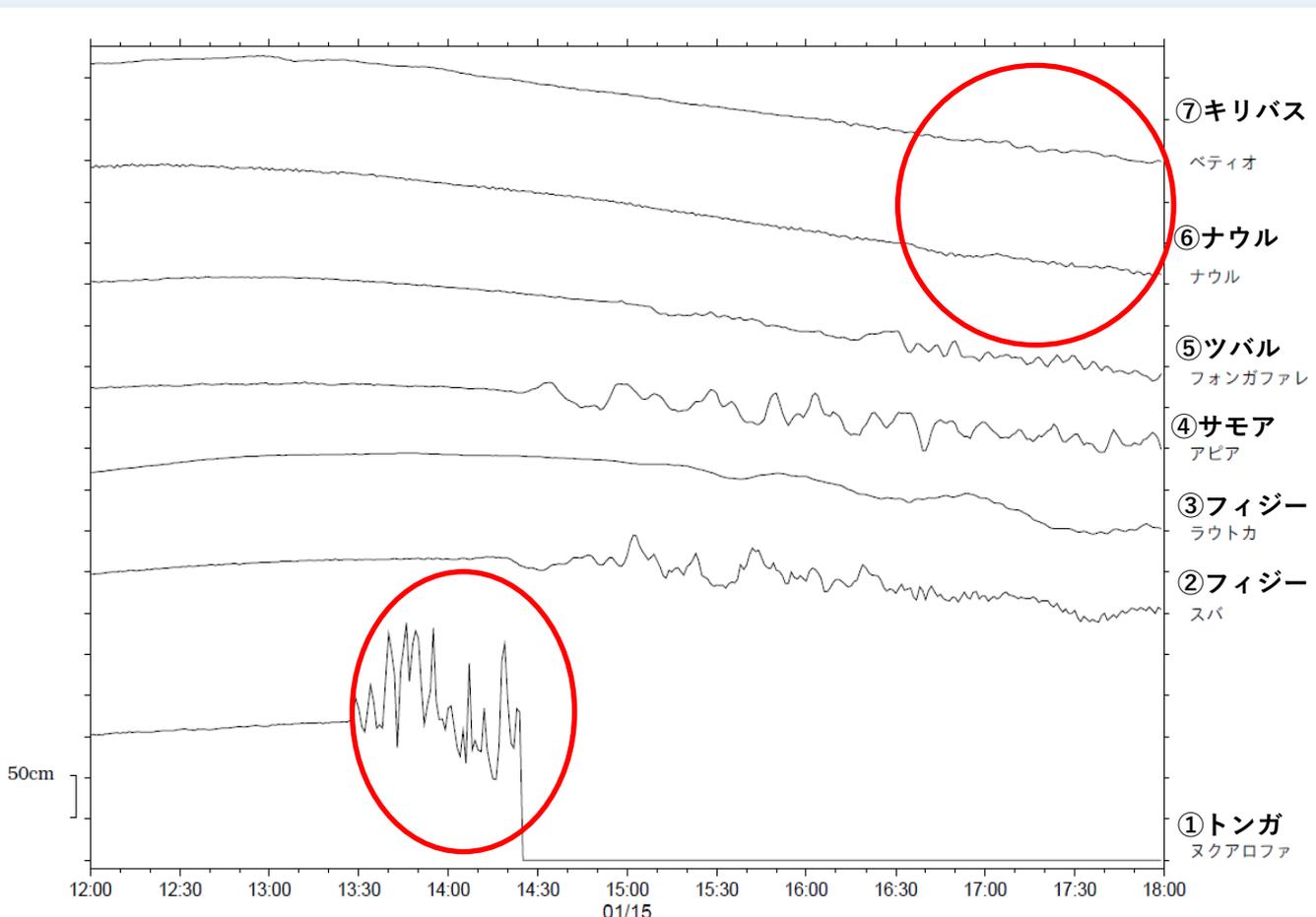
国内潮位観測値



気象庁報道発表資料（2022年1月16日）より

- ✓ 21時ころから潮位振動を観測
(予想到達時刻より2時間ほど早い)
- ✓ 23時（父島）～0時頃（本州各地）に大きな潮位振動を観測
(当初の想定よりも大きい)

南太平洋の潮位観測値

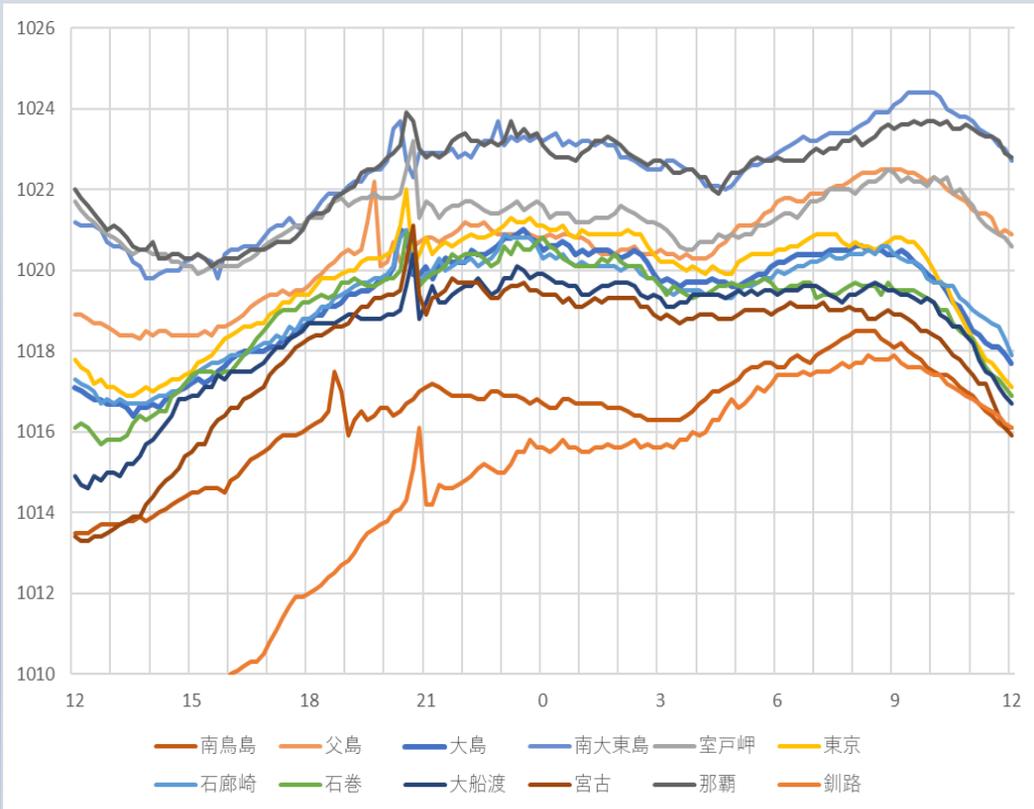


気象庁報道発表資料（2022年1月16日）より

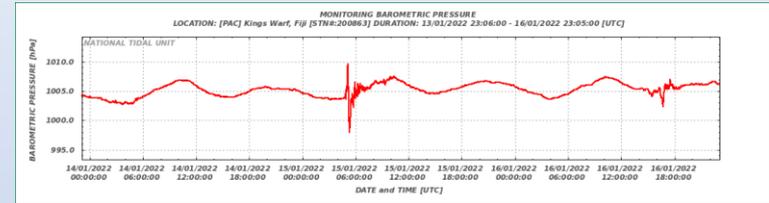
- 直近のヌクアロファ（トンガ）でも振幅は1m程度。
- ナウル、キリバスでは潮位振動が観測されない

観測された気圧変化

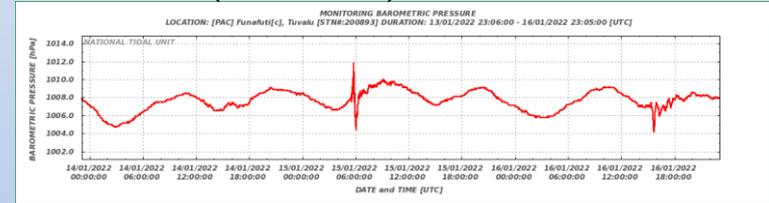
- 国内地上観測値及び太平洋諸国の気圧観測値を入手
- 噴火に伴う気圧変化を各地で観測
- 変化量は、国内で2hPa程度、南太平洋で±5~10hPa



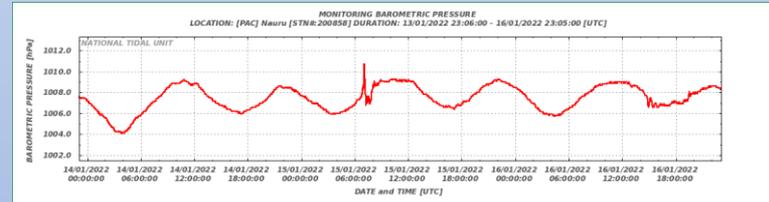
フィジー (Suva)



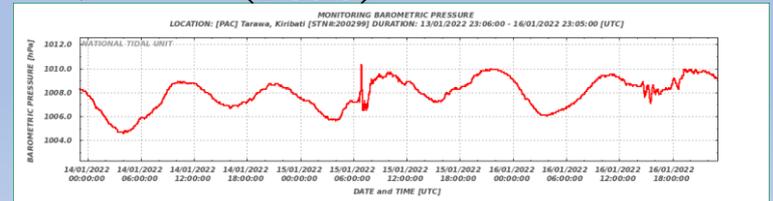
ツバル (Funafuti)



ナウル



キリバス (Betio)



第1表 潮位名称の分類

名称と分類		主な外力		
現象が 規則的	天文潮		天文（起潮力）	
現象が 不定期	成因が明確	(主動)	高潮	気象 (気圧・風)
			津波	地殻変動 (地震・火山活動)
	成因が不明確	(副次的) 振動	気象津波	プラウドマン共鳴 (気圧)
			自由振動 慣性振動	共鳴 (固有周期)
			強制振動	反復共鳴 (波浪・気圧等)
	異常潮		定常的 異常潮位	密度・海流等

高野(2014)、新用語解説 気象津波 (Meteo-tsunami)、 「天気」 61巻6号 より引用

meteotsunami (副振動) とは

meteotsunami (気象津波)

副振動のうち、気圧擾乱（プラウドマン共鳴）によって作られた振動を、現象の類似性から、学術分野では近年 *meteotsunami* と呼ぶようになってきている

（Rabinovich and Monserrat, 1998; Monserrat et al., 2006; Vilibic et al., 2008; NOAA, 2015; Pattiaratchi, 2019）。日本語では、meteotsunamiの直訳である「**気象津波**」という言葉が使われる（田中, 2020）*。

*<http://www.gentosha-academy.com/serial/k-tanaka-1/>

○高潮との違い

高潮は気圧の低下（吸い上げ効果）と強風（吹き寄せ）で作られる。

吸い上げ効果は、**1hPaの気圧低下で1cmの水位上昇**。

○津波の要因別統計（Rabinovich et al.）

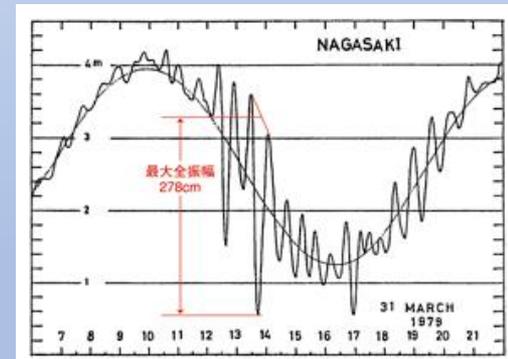
地震（82%）、火山（5%）、

地滑り・崩落等（6%）、**気象要因（3%）**

※世界各地で**固有の呼び名**がある（Monserrat et al., 2008）

あびき（日）、rissaga（西）、marubbio（伊）等

※プラウドマン共鳴以外の要因による増幅過程が含まれることも多い



1979年(昭和54年)3月31日に長崎港で発生した観測史上最大の副振動（あびき）の記録

気圧による潮位の増幅

Proudman共鳴 (Proudman, 1929)

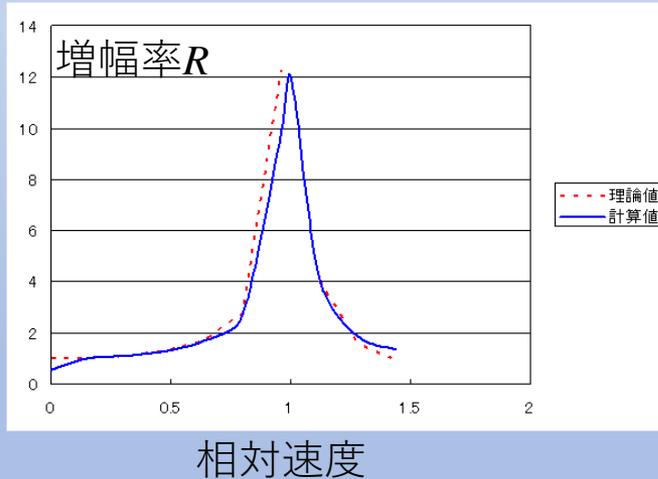
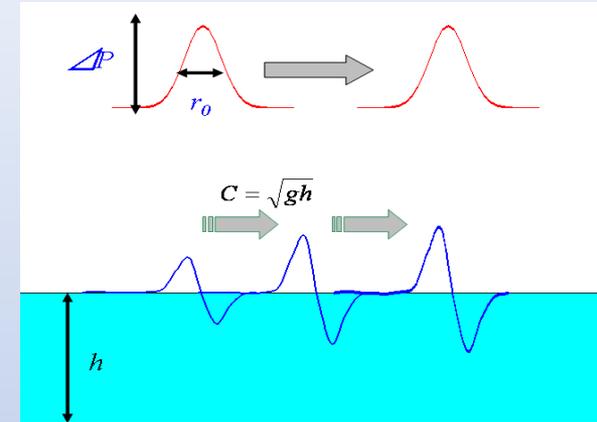
気圧変化が海面を移動しながら海面に変動（波）を作る。気圧変化の移動速度と海洋波の位相速度が近いと増幅率 R が大きくなる。

$$R = \frac{1}{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2} = \frac{1}{1 - \frac{V^2}{gh}}$$

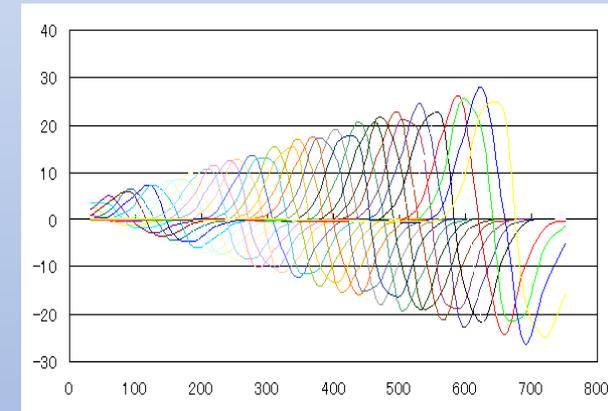
気圧変動の速度: V 海洋（長）波の位相速度: $c = \sqrt{gh}$

(g : 重力加速度、 h : 水深)

増幅のイメージ



点線：数式の値
青線：仮想的な外力で
静止状態から計算した
増幅率



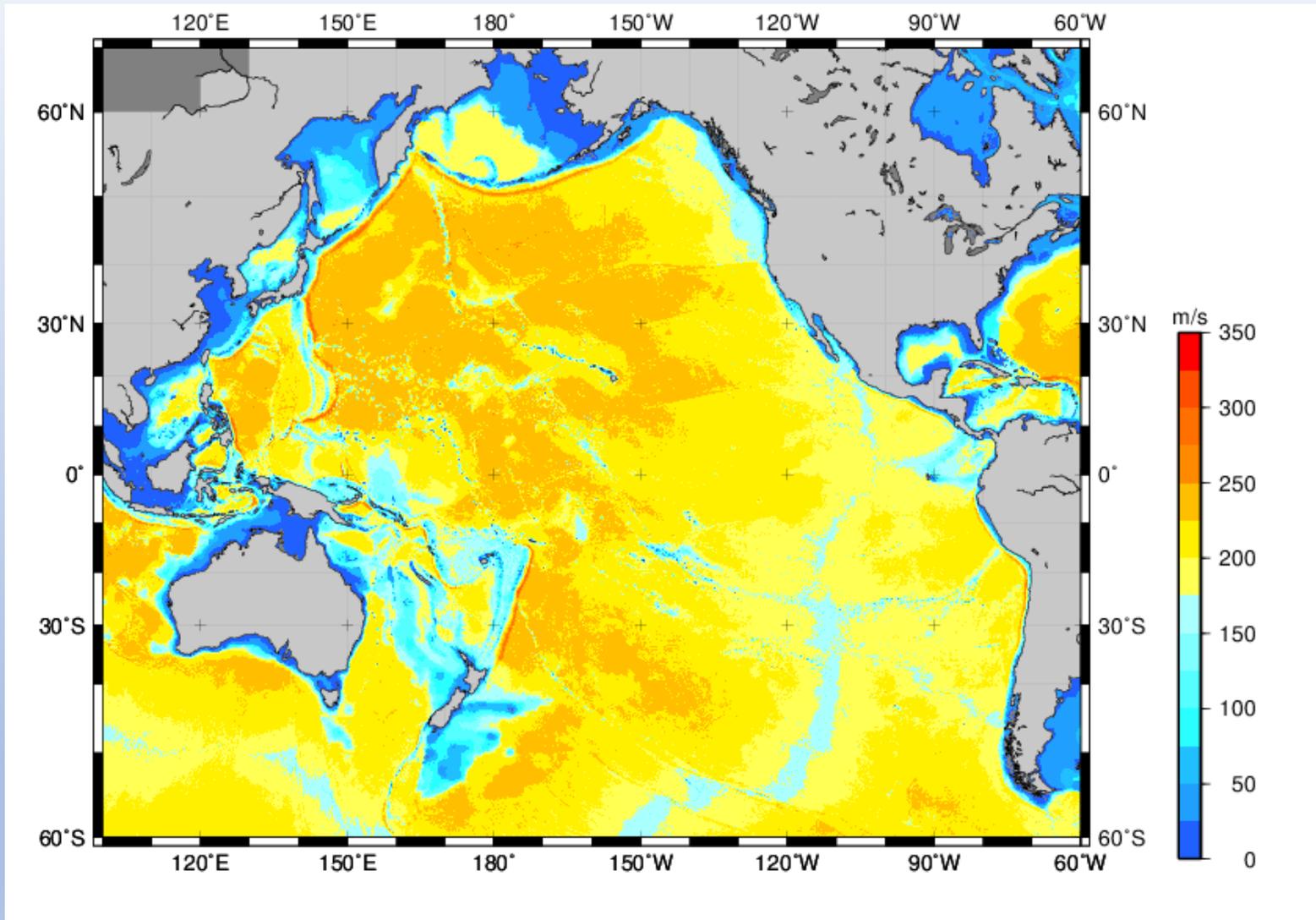
振幅変化の計算例

$$\triangle P = 5hPa, \quad V = 30m/s$$

$$h = 100m \quad (C = 31.3m/s)$$

- 気圧変化量以上に振幅が増幅する
- 気圧変化が急激なほど増幅率が大きい

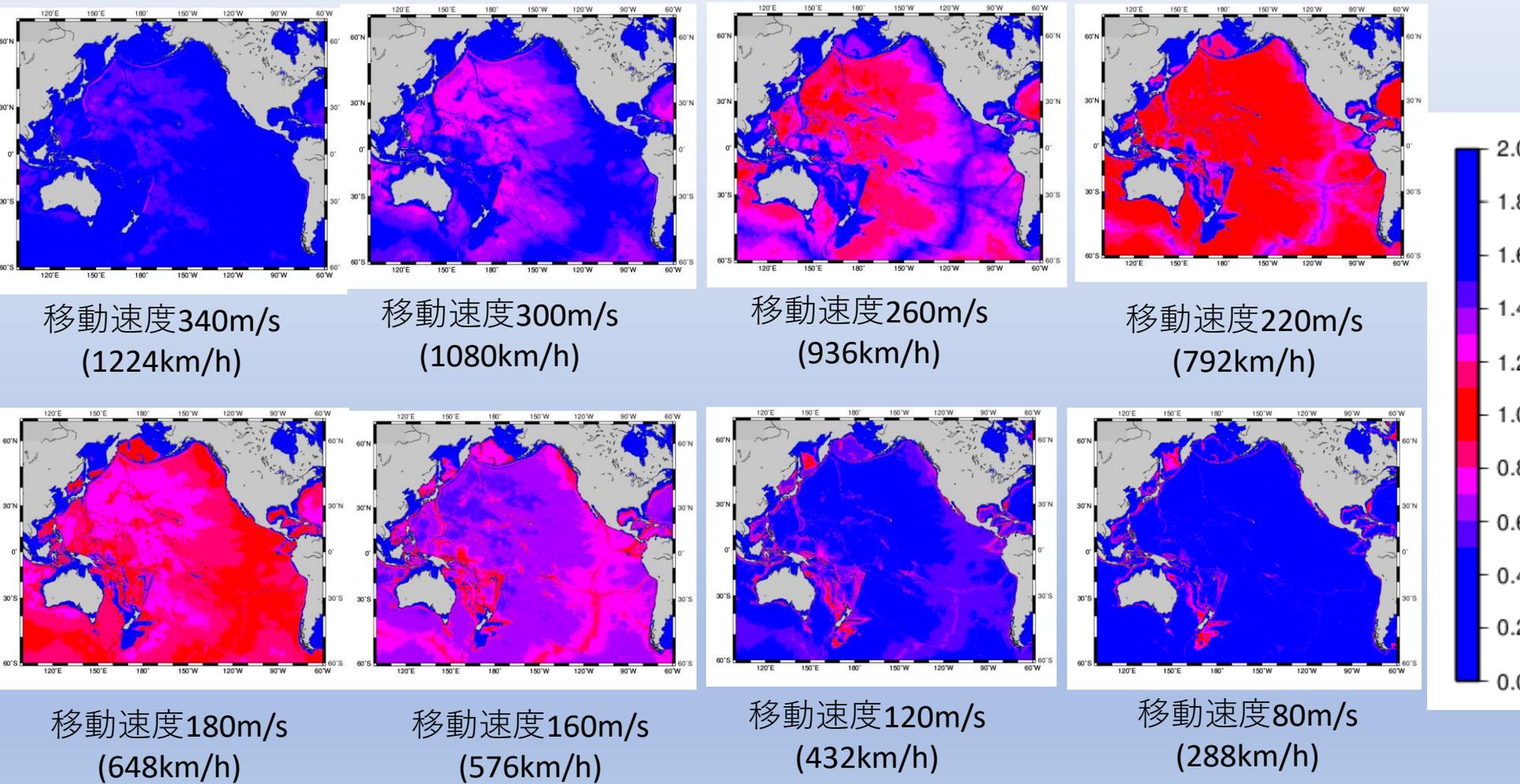
海洋長波の位相速度



水深から求めた海洋長波の位相速度(m/s)
(水深データ:NGDC ETOPO2v2)

共鳴の可能性

気圧波の移動速度と海洋長波位相速度の比 (Froude数)



北西太平洋でプラウドマン共鳴が起こりえるのは
気圧波の移動速度が180~300m/s

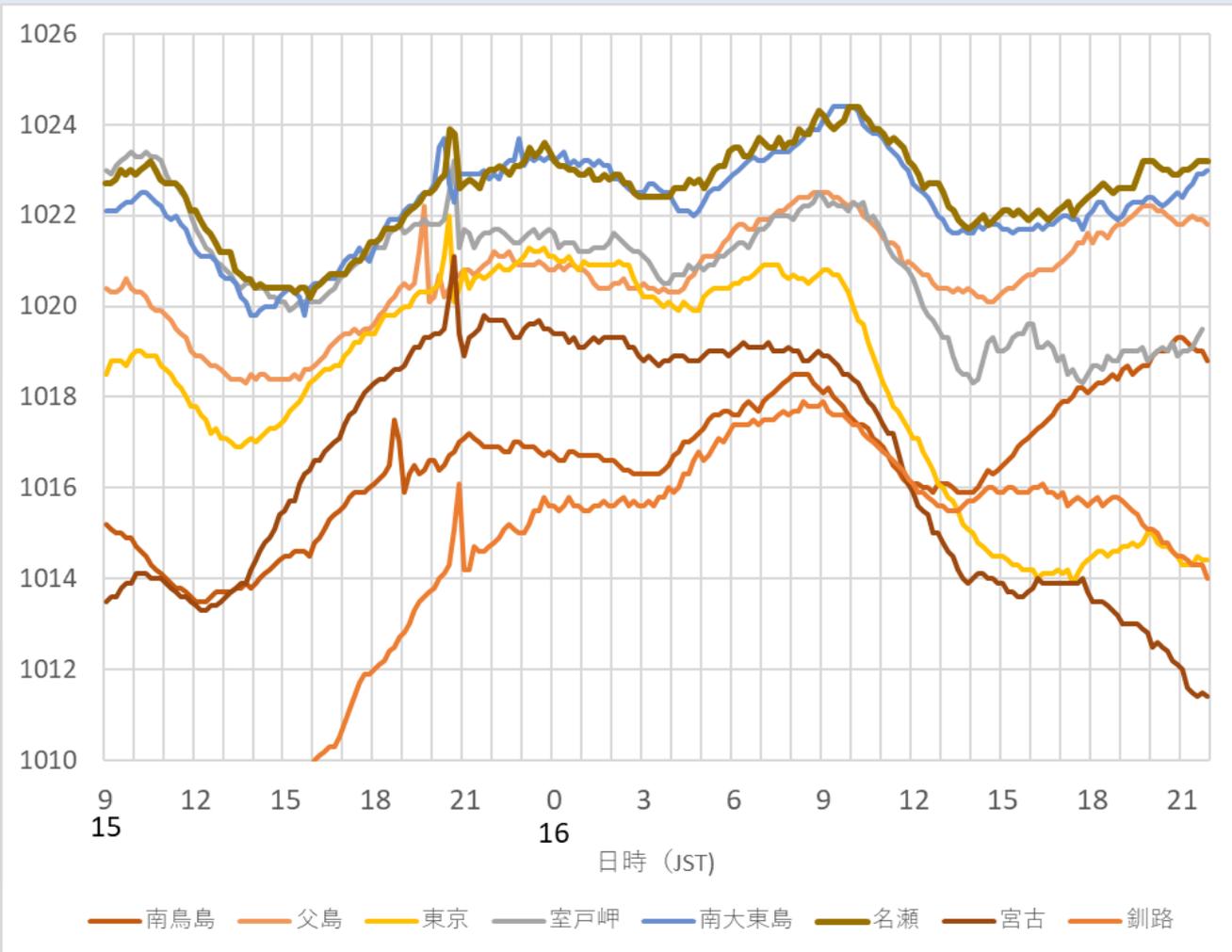
内 容

- はじめに
 - 火山噴火と予想外の潮位振動
 - 観測された潮位と気圧変化
 - Meteotsunami（気象津波）とは
- 気圧変化の詳細
- 潮位振動の再現計算
- まとめと課題

国内で観測された気圧変化

気圧ピークの観測時刻

- 地上気圧観測値



南鳥島

1017.5hPa (18:40)

1015.9hPa (19:00)

父島

1022.0hPa (19:40)

1020.1hPa (19:50)

東京

1022.0hPa (20:30)

1020.1hPa (20:40)

室戸岬

1023.2hPa (20:40)

1021.3hPa (20:50)

南大東島

1023.5hPa (20:10)

1022.7hPa (20:30)

名瀬

1023.9hPa (20:30)

1022.6hPa (20:50)

宮古

1021.1hPa (20:40)

1018.9hPa (21:00)

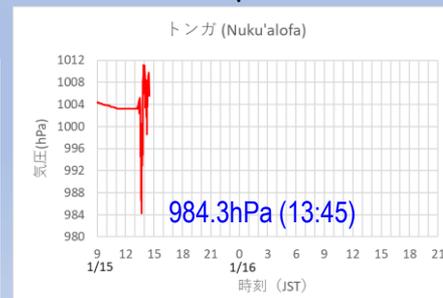
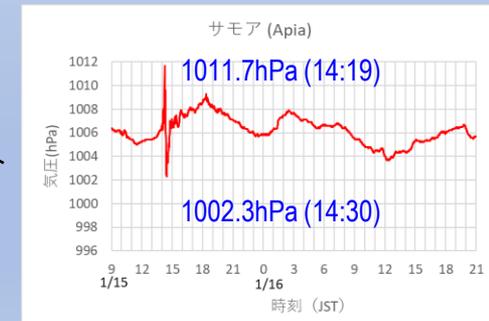
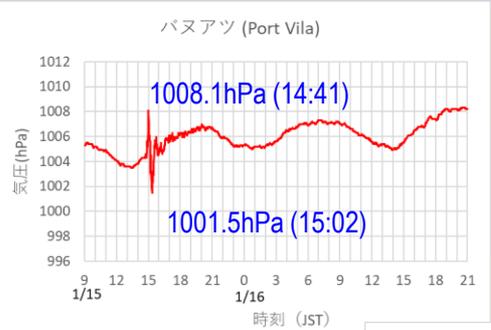
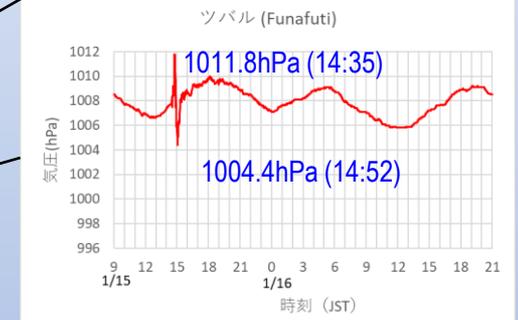
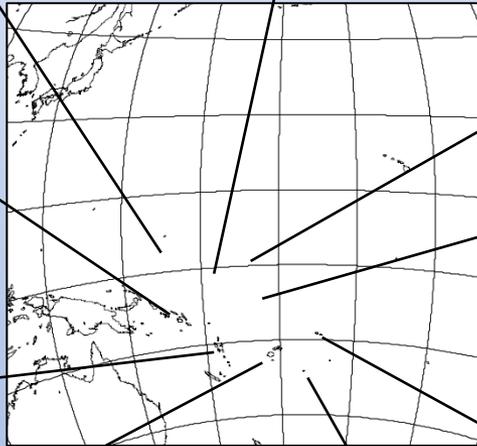
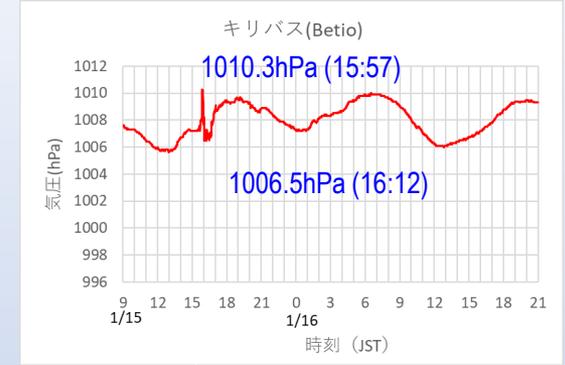
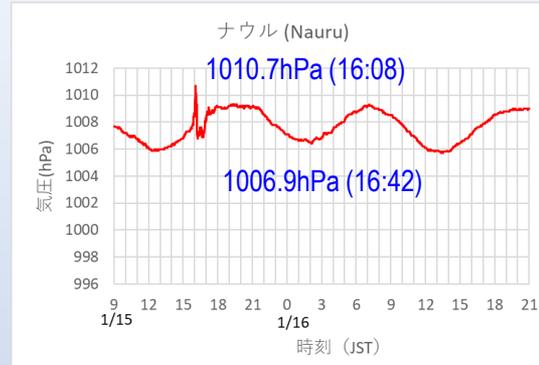
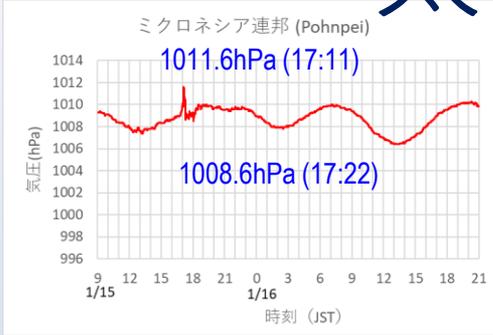
釧路

1016.1hPa (20:50)

1014.2hPa (21:00)

※時刻はJST

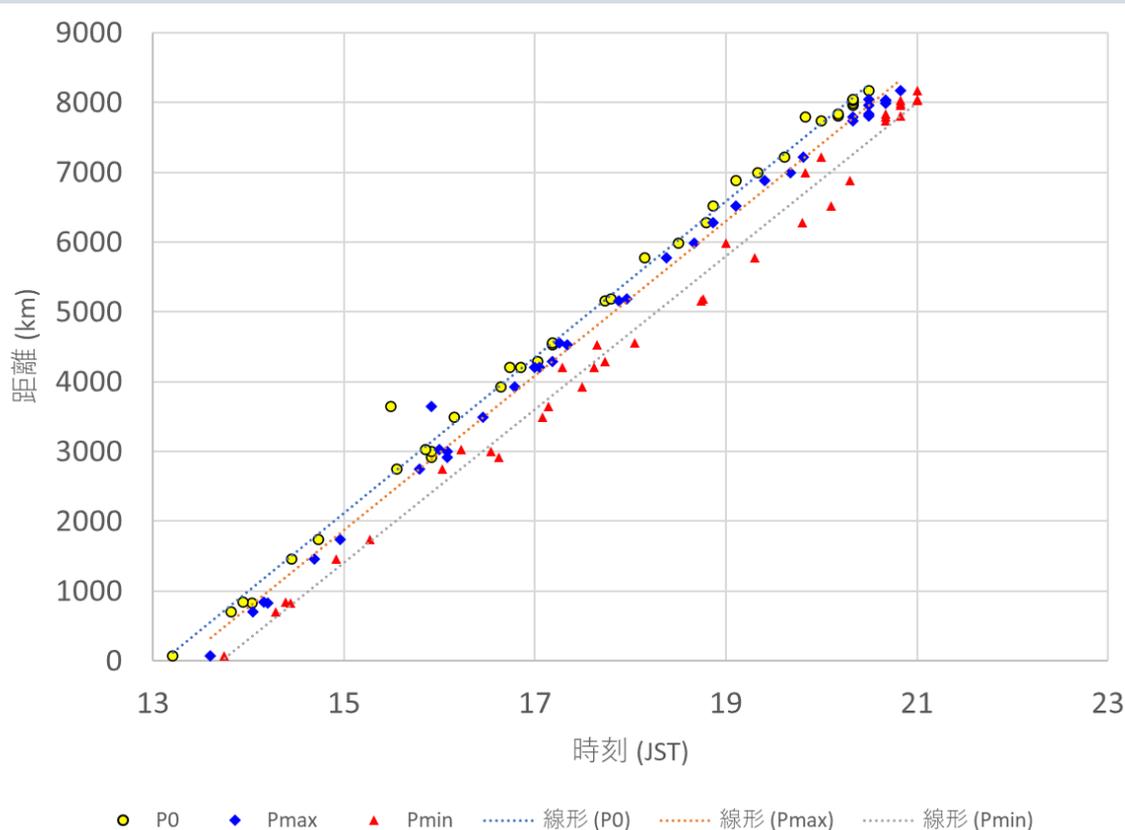
太平洋諸国の気圧観測値



時刻 : JST

気圧波の移動速度

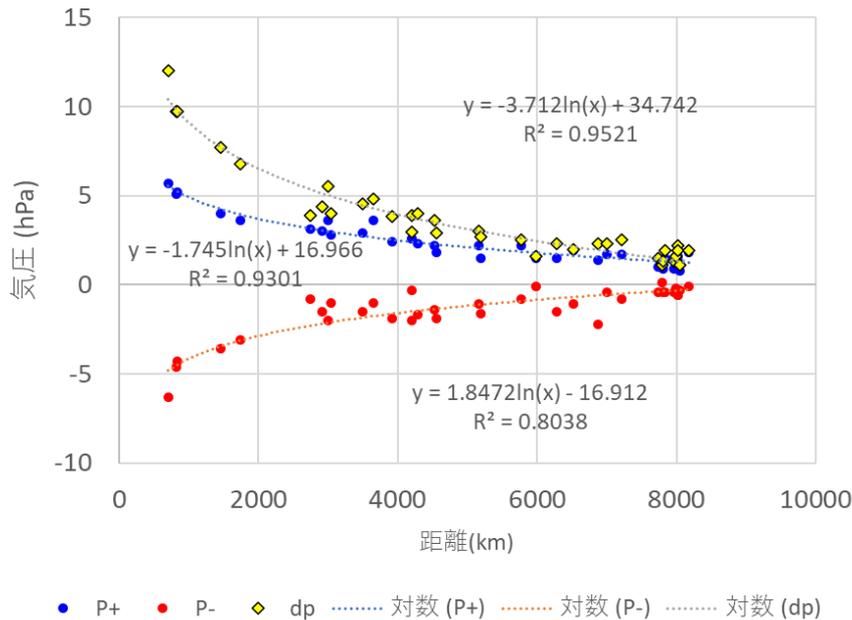
- 気圧変化の観測から、伝播速度を算出する
 - 噴火発生時刻（1月15日13時15分）は分かっているが、気圧波の発生時刻は明確ではない（必ずしも一致しないので、起点とできない）
 - 噴火地点（緯度20.55S、経度175.385W）は確定
 - 気圧の観測地点、観測時刻は明確
- ⇒ 各地点の距離と気圧変化の観測時刻から移動速度を求める



- ✓ 気圧の立ち上がり、極大、極小は、ほぼ一定速度で表現できる（相関0.99）
- ✓ 移動速度はそれぞれ、310m/s、307m/s、304m/s
- ✓ y切片（初期時刻）は、13:07~13:45

気圧変化の推移

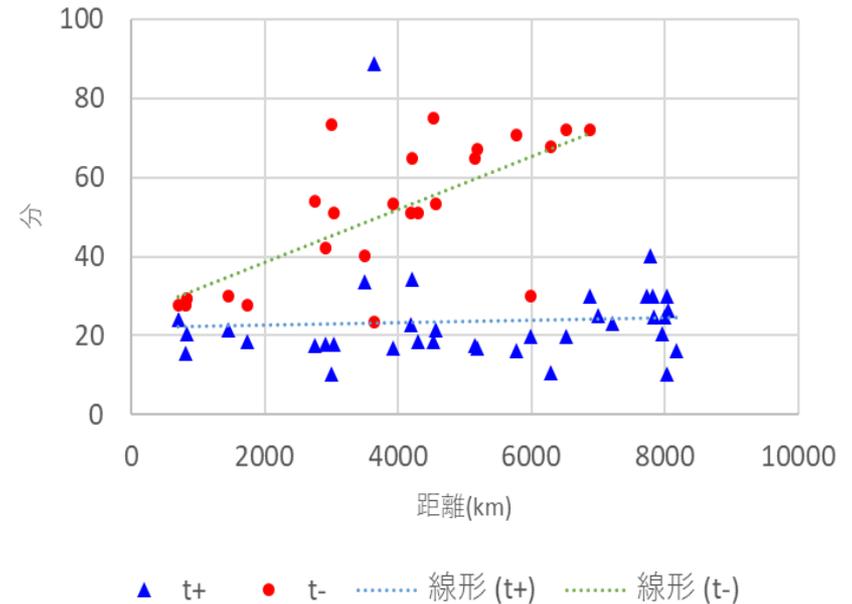
気圧変化量



P+ : 正偏差変化量、P- : 負偏差変化量
dp : 最大変化量 (= P+ - P-)

- ✓ 遠くなるにつれて気圧偏差は減少
- ✓ 負偏差は、形状が複雑・不明瞭な場合があり、ばらつきが大きい
- ✓ 高い相関で、気圧の変化を対数近似できる (全 Δp も、意外に高相関)

偏差継続時間



t+ : 正偏差継続時間、t- : 負偏差継続時間

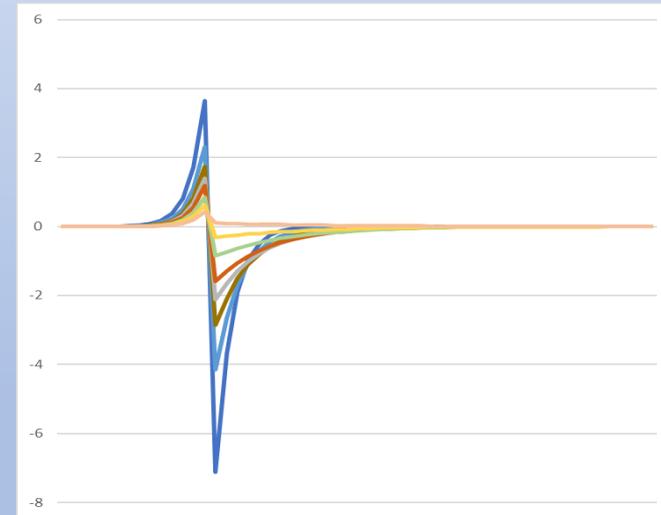
- ✓ 正偏差の継続時間はほぼ一定
- ✓ 負偏差は、継続時間が増加 (線形で近似できそう)
- ✓ 7000km以遠は、負偏差が小さく検出しにくいので除外

内 容

- はじめに
 - 火山噴火と予想外の潮位振動
 - 観測された潮位と気圧変化
 - Meteotsunami（気象津波）とは
- 気圧変化の詳細
- 潮位振動の再現計算
- まとめと課題

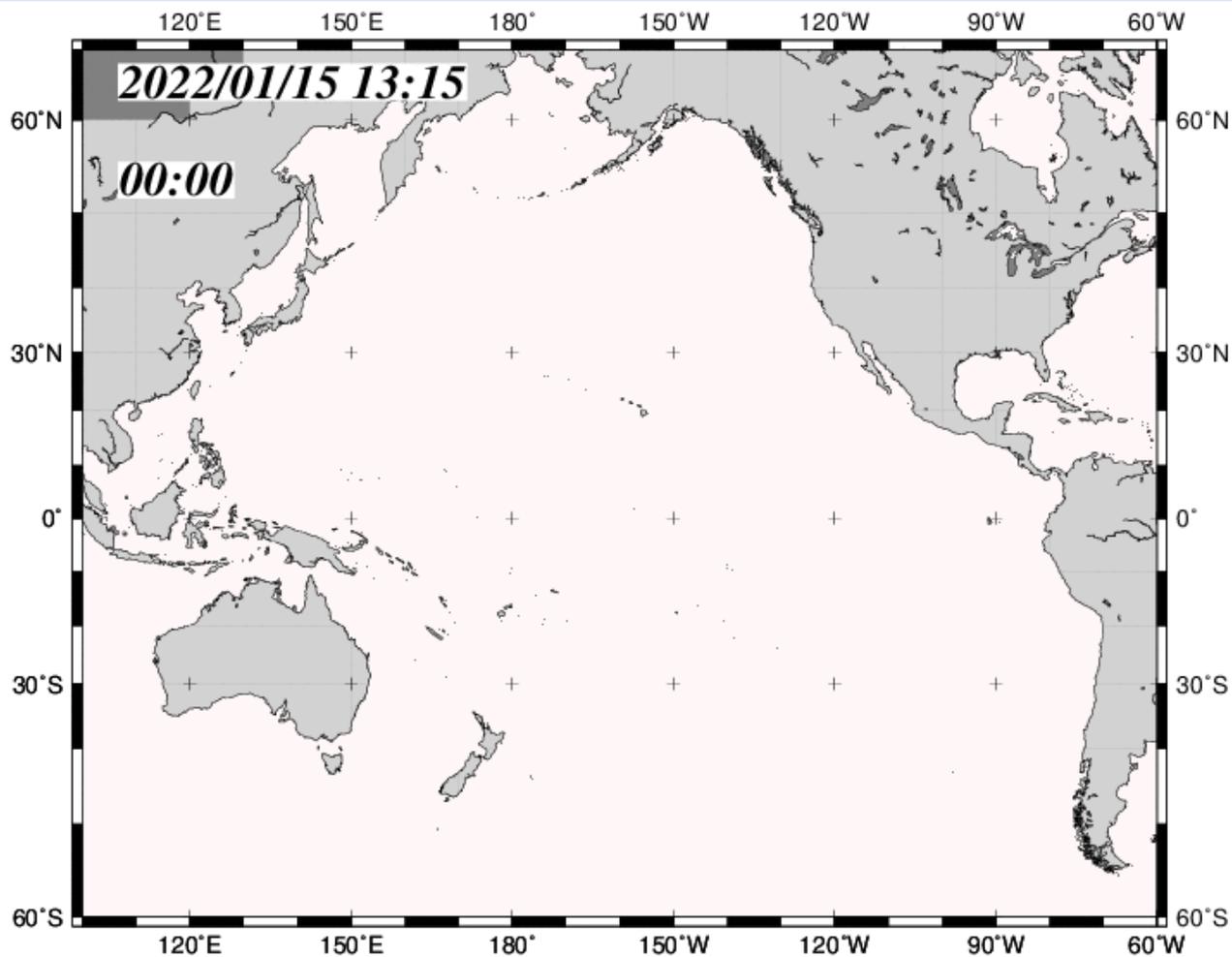
再現計算の設定

- モデル：球面2次元浅水長波モデル
- 領域：緯度-60.0-66.0度、経度100-300度
- 解像度：2分（3.7km）
- 海底摩擦：マニング粗度係数（0.025）、水深の7/3乗
- 初期値：静穏状態
- 計算時間：開始から24時間
- 外力：気圧変化を一定速度で同心円状に移動
 - 気圧変化の移動速度は速度305m/s
 - 偏差：対数的に減少（負偏差は早く減少）

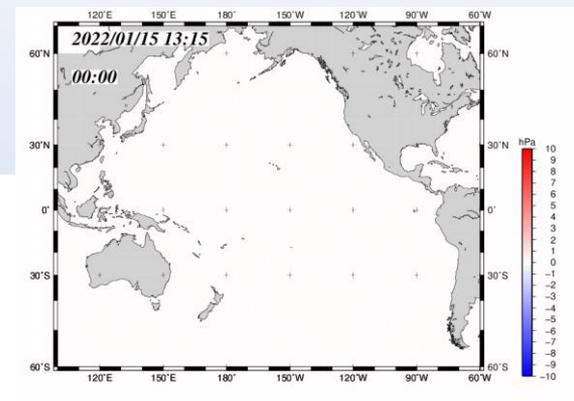


寒色→暖色

計算結果



水位の変化 (潮位振動)

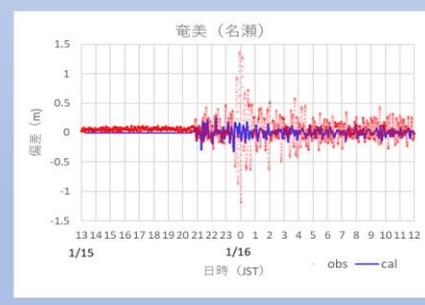
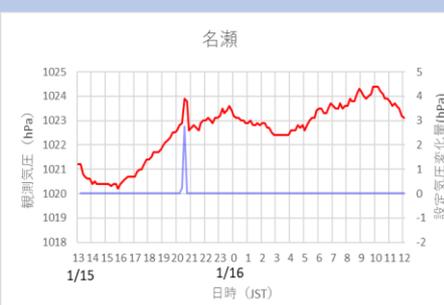
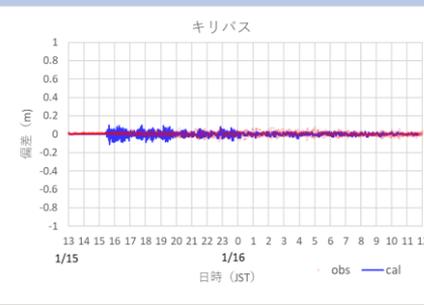
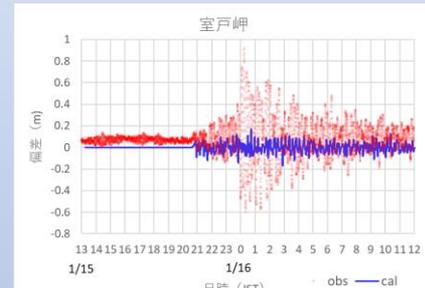
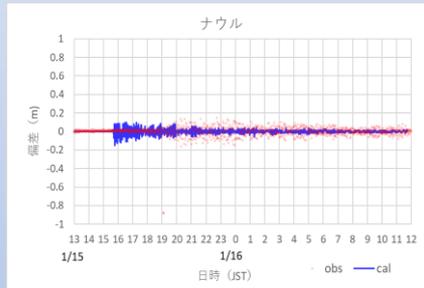
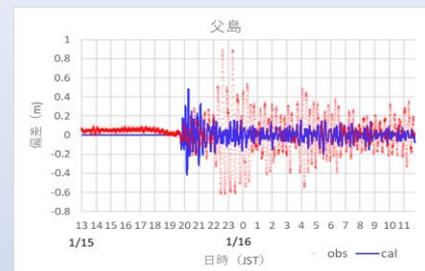
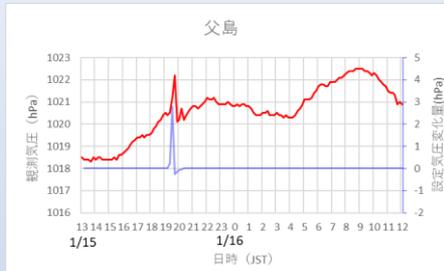
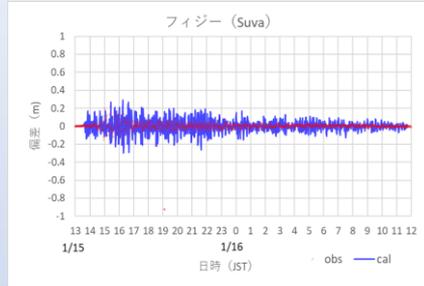


気圧変化 (外力)

沿岸地点における比較

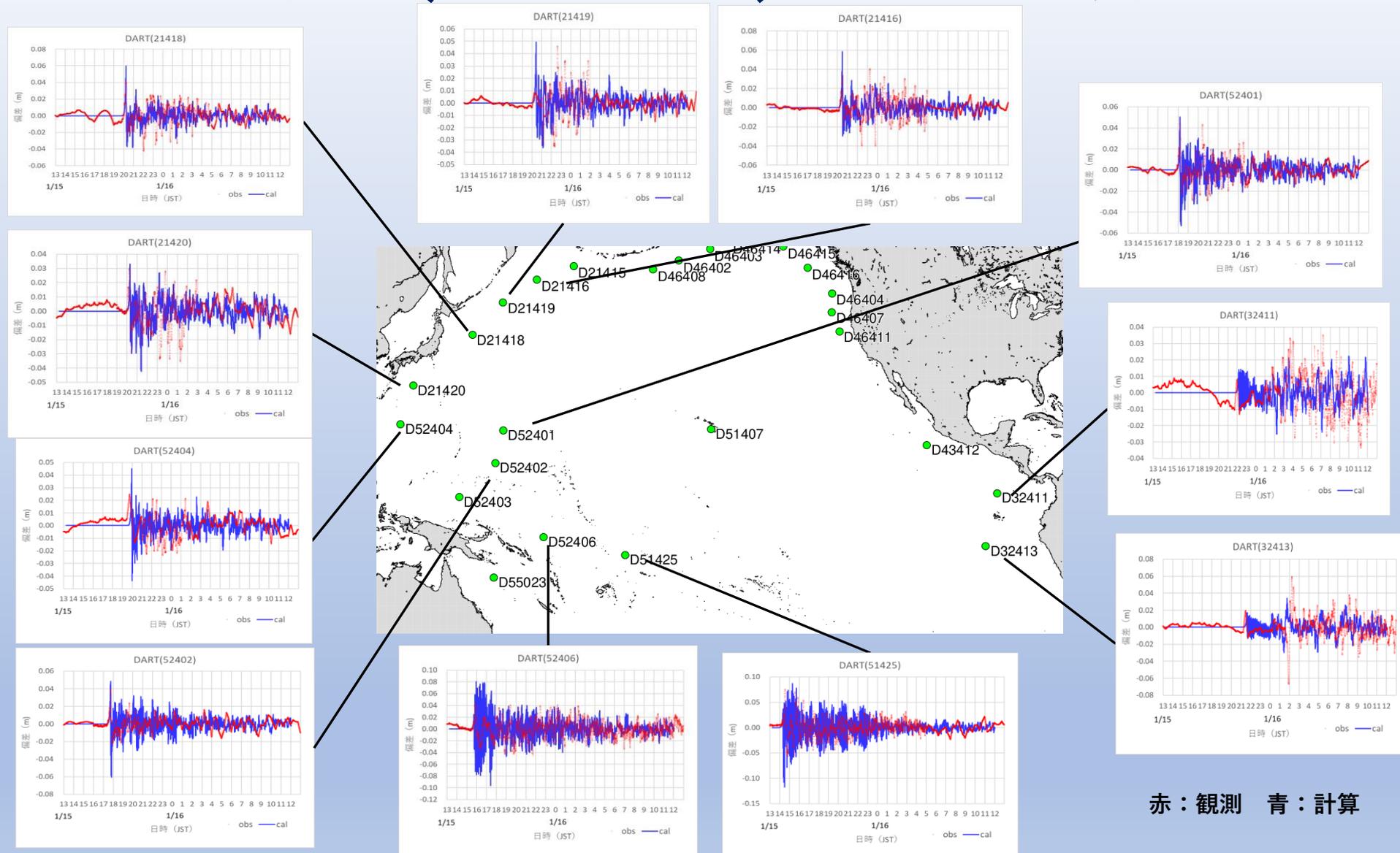
主な地点の気圧変化（左）と潮位変動（右）

赤：観測 青：計算



- 設定した気圧変化は地点ごとに若干差異があるが、概ね一致
- 潮位変化も、タイミングは近い。
- 振幅は南太平洋でやや過大、国内は過小評価

外洋 (DARTブイ) での比較



噴火地点に近い地点で過大評価気味であるが、
外洋の観測と計算結果は、タイミングと振幅は概ね一致している

内 容

- はじめに
 - 火山噴火と予想外の潮位振動
 - 観測された潮位と気圧変化
 - Metetsunami（気象津波）とは
- 気圧変化の詳細
- 潮位振動の再現計算
- まとめと課題

まとめ

- 太平洋の**ほぼ全域で発生**（局所的な現象ではない）
- 国内では、海洋長波の到達予想時刻よりも**数時間前に振動が発生**、発生時刻の後には**大きな最大振幅も観測**された。
- 噴火に伴って太平洋上で**気圧波を観測**。
 - ✓ 観測から求めた明瞭な気圧変化の移動速度は、305m/s程度で、共鳴の最適条件よりはやや大きい。
 - ✓ その後には、小さな振動が見られる（共鳴には好条件だが変化量は微小）。
- 観測を模した気圧変化を外力として計算を行った
 - ✓ 潮位振動発生タイミングは観測と大体一致した
 - ✓ 基本特性（国内や米国西海岸、特に南米の大きな振動の伝播）は再現できた
 - ✓ 計算された振幅は、外洋では概ね観測と近いが、沿岸では最大振幅がかなり小さい地点がある
- 今回の潮位振動（特に初期波）は、**火山噴火による気圧波で作られた気象津波によるもの**と言える

課題：最大振幅の過小評価

計算では国内の最大振幅がほとんど再現されなかった

考えられる原因

✓ 解像度（2分メッシュ）の限界

湾内の振幅は表現できず、湾内の振動等で増幅した
（振動の卓越周期が変わっている）

✓ 後の気圧波の影響

最大振幅の観測時刻は、津波（海洋長波）の到達想定時刻に近いことから、初めに作られた潮位振動とは別のもと考えられる

後発の気圧波によって作られた潮位振動の可能性はある。但し、この気圧波の移動速度は共鳴条件には良いが、振幅はかなり小さい

※ Ogiso and Tsushima (2022)は、潮位振動が太平洋伝播中に変質した可能性を指摘

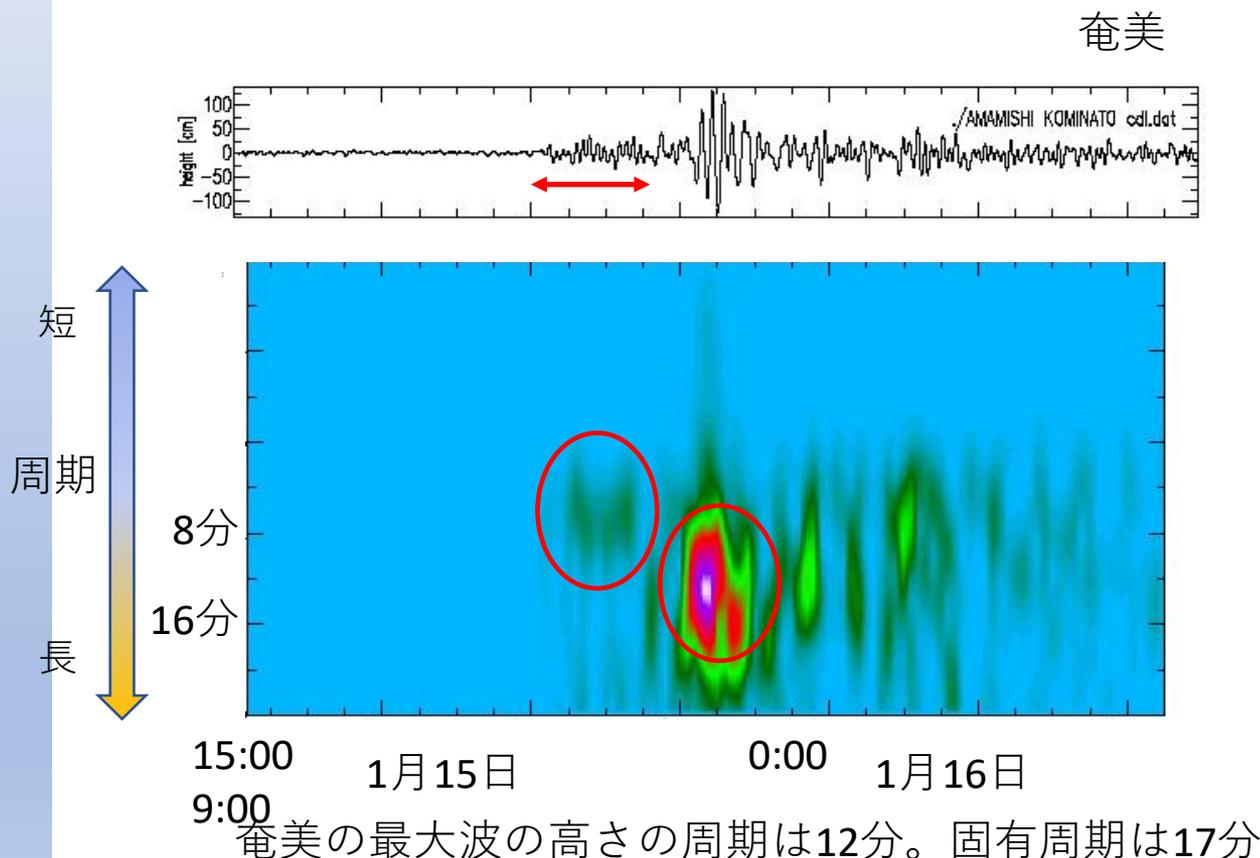
✓ 火山噴火による、いわゆる津波の影響

噴火活動で直接作られた津波は小さいといわれている。

（これが初期波として気圧外力により増幅された可能性はありうる）

令和4年1月15日のトンガ諸島の噴火に伴う潮位変化の周期の特徴について

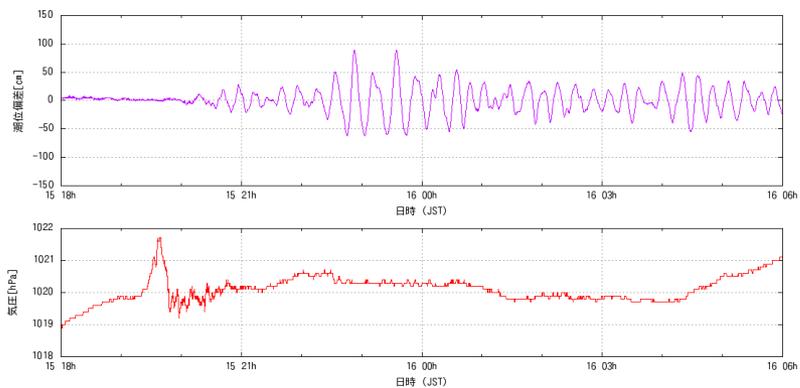
- 奄美の潮位偏差記録の波形解析を行ったところ、最大の高さの潮位変化が始まる前後で周期の違いが見られ、先行する部分は約8分、最大の高さの潮位変化が発現した部分は約13分であった。
- 布良(館山市)や種子島などいくつか同様の傾向がみられる観測点もあった。



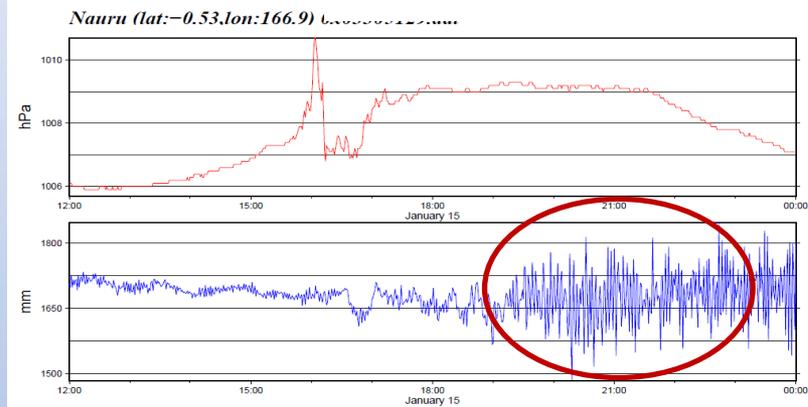
後発の潮位振動

- 潮位の最大振幅は発生から数時間遅れて発生
- 同じころに微弱な気圧の変動が見られる（初期波とは別の増幅過程？）
- 太平洋上でも後発の潮位振動が観測されている

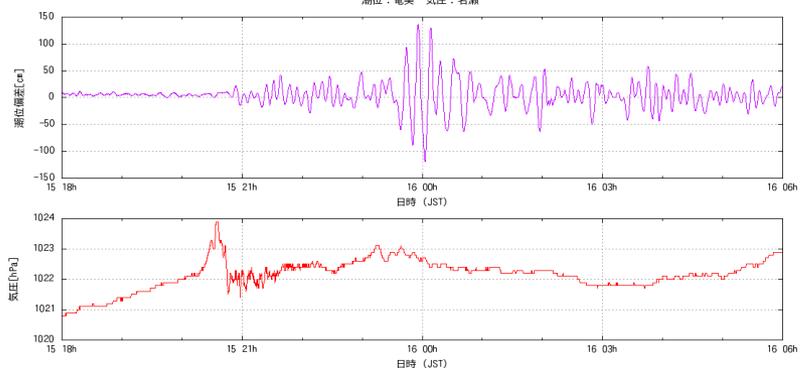
父島



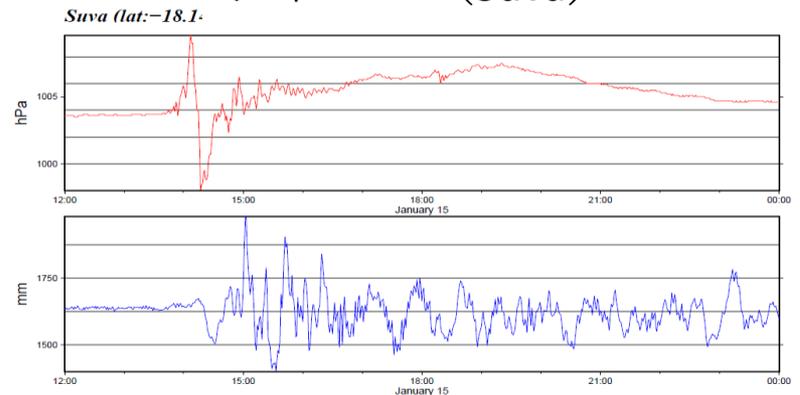
ナウル

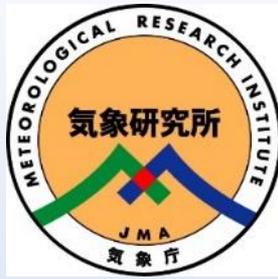


奄美



フィジー (Suva)





ご清聴ありがとうございました



気象庁マスコットキャラクター “はれるん”

※本研究の一部は、JSPS科研費JP21K21353の助成を受けています。

研究種目：特別研究促進費

研究課題名：トンガ海底火山噴火とそれに伴う津波の予測と災害に関する総合調査

研究代表者：佐竹健治（東京大学 地震研究所 所長）