

フンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山噴火に伴う 空気振動に誘発された津波について

田中健路^{1,2)}, 石丸克弥¹⁾

1) 広島工業大学環境学部地球環境学科, 2) 広島工業大学地域防災減災教育研究推進センター

1. はじめに

2022年1月15日13時14分45秒(日本時間)に、南太平洋のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山(南緯20.546°, 西経175.380°)が噴火した。噴煙は上空約20kmに達し、爆発的な噴火の勢いに伴い衝撃波(Lamb波)が発生し、全球大気中を数周にわたり周回した。噴火当初、気象庁は火山本体の噴出物によって直接的に発生する津波の発生を予想、火山噴火開始から約10時間30分~12時間後の1月16日23時30以降に第1波の到達を見込んでいた。しかし、1月15日20時40分頃から第1波の海面変動を観測し始め、1月16日0:00以降、岩手県久慈港や鹿児島県奄美大島で1.2mの津波を観測するなど、日本の太平洋岸で数10cm~1mの高さの津波を観測した。この津波により、四国地方の太平洋岸や奄美大島、宮城県などで漁船転覆、流失や養殖筏の破損の被害が発生した。

今回の津波で、予想到達時刻より3時間程度速く到達した先行波は、噴火の衝撃による大気側の気圧波が海面を上下させることで生じたとされている。本稿では、その一因とされる気圧波の特性と、海洋波の特性について、現地観測データの解析を速報するとともに、漁船被害が報告された高知県および徳島県における初動調査について報告する。

2. 日本付近の空振の伝播について

空振の波形および伝播速度を解析するために、気象庁の観測所のうち17地点(稚内・釧路・秋田・石巻・輪島・御前崎・館山・八丈島・舞鶴・広島・厳原・土佐清水・室戸岬・名瀬・南大東島・父島・南鳥島)の気圧観測を入手した。観測時間間隔は、南鳥島は毎1分、それ以外は毎10秒である。また、Weather News社より全国1537地点の毎1分気圧観測データを取得した。取得したデータをバンドパスフィルター(周期2分~256分)を用いて変動成分を抽出し、気圧波の波形を取り出した(図1)。1月15日18:00~24:00の間に+1.0hPa以上の正偏差のピークを1つ捉えていることから、このピークを衝撃波に伴う気圧変動の第1波と推定し、気圧波の立ち上がりの時刻をゼロ・アップ点で与えた。また、生データに対して morlet wavelet 変換を行い、周期帯別の強度の時間変化を解析した。図1に示すように、全国の気圧観測点で全振幅2.0~2.5hPa、周期25~30分の気圧波が捉えられ、その後続波として、全振幅0.3hPa前後の微気圧波が検出されている。

全国の気圧観測点の緯度経度と火山の緯度経度から火山を起点とした距離と方位を計算し、噴火から気圧波検出までの時間差から平均伝播速度を算出した。噴火口を起点として求められる空振先端部の平均伝播速度は、本州上空で305~310m/s程度で、概ね既往の空振速度と同程度の大きさである。しかしながら、日本国内で最も噴火口に近い南鳥島(噴火口から5967km)通過時点での平均伝播速度は320.6m/sであった。この伝播速度は、1883年のクラタカウ(インドネシア)火山噴火の空振で解析された値と同程度である¹⁾。そこで、南鳥島を通過するトンガ噴火口を中心とした同心円上に基準を取り、気圧波の伝播速度を解析したところ、日本の太平洋上における空振の平均伝播速度は270~

295m/sと算定された．対流圏中上層の風による対地速度の減速効果の可能性も考えられるが，今後更なる解析が必要である．

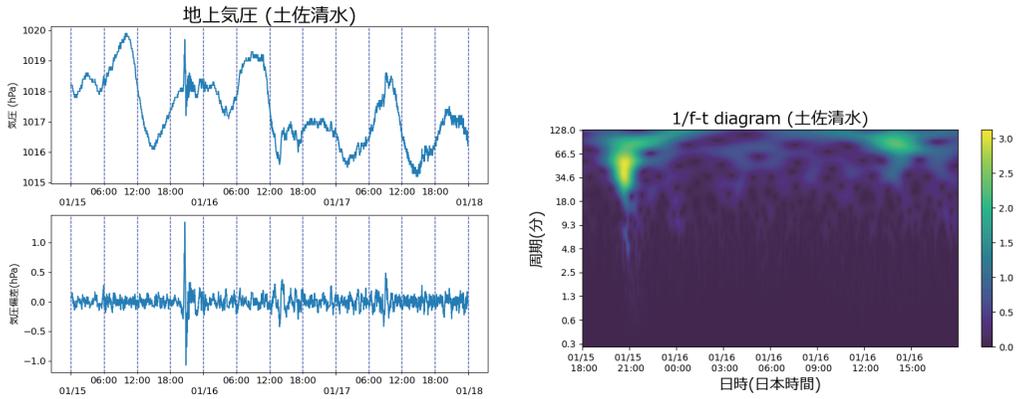


図1 気圧観測波形の抽出 (左) および連続 wavelet 変換の例 (高知県土佐清水)

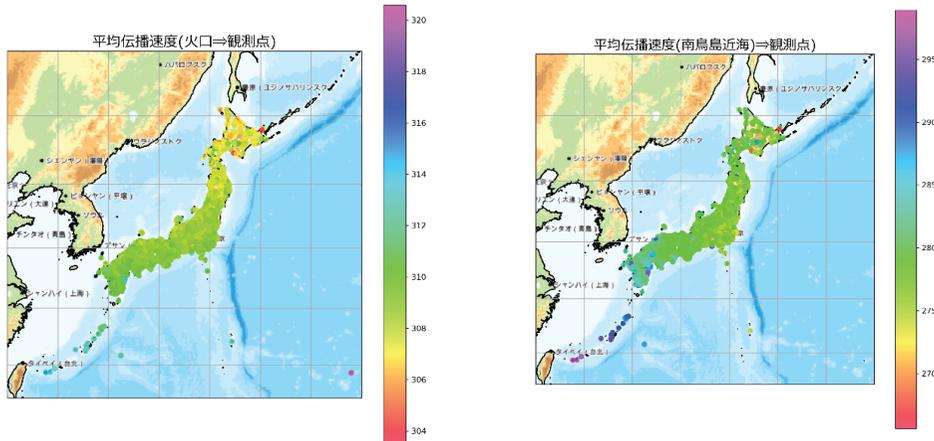


図2 気圧波の立ち上がり時刻を基にした空振先端部の平均伝播速度分布．左側：火口を基準とした平均速度，右側：南鳥島近海域の通過時刻からの時間差で算定した平均速度

3. 外洋上の共鳴効果の可能性について

外洋上の気圧波と大気側の海洋長波の進行速度が同程度に達すると，大気側からの強制力が海洋長波に作用し続けることで，徐々に波高が増幅していく (Proudman 共鳴)．大気側の気圧波の速度 U と海洋長波の位相速度 \sqrt{gH} (g :重力加速度, H :水深) を組み合わせたフルード数,

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gH}} \quad (1)$$

の分布を算出した．図3では，図2の代表速度 $U \sim 305\text{m/s}$, $U \sim 280\text{m/s}$ に対するフルード数の分布を示す．火口から観測点までの平均速度を基に算定した場合 ($U \sim 305\text{m/s}$) では, $0.8 < Fr < 1.2$ を満たす範囲が南北に縦走する海溝に沿ったごく一部の海域のみとなるが，日本付近の減速効果

を考慮すると、日本海溝の東側海域やフィリピン海にも $0.8 < Fr < 1.2$ を満たす海域が広がり、外洋上の Proudman 共鳴に伴う増幅の可能性が高まる。日本近海の太平洋上に設置された NOAA の津波観測点の観測波形によれば (図 4), 気圧波に伴う先行波の全振幅は 6~7cm 程度で、静止状態を仮定した海面変形に対して約 2.5 倍程度の大きさを持っていた。

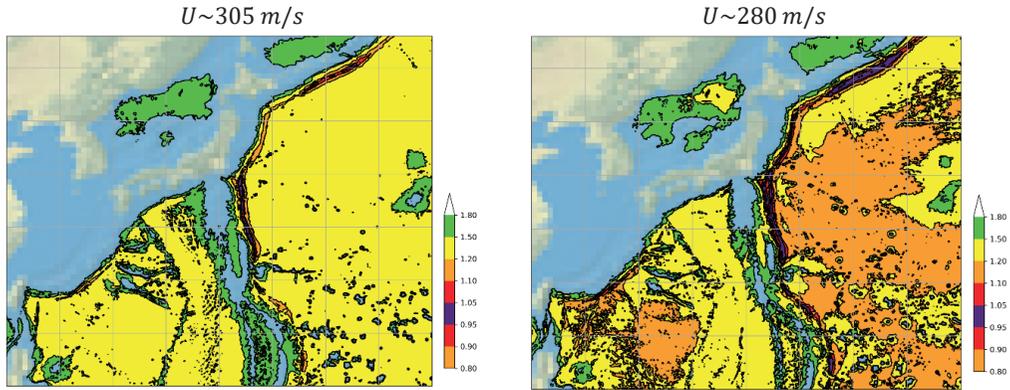


図 3 気圧波と海洋長波の進行速度比 (フルード数) の分布

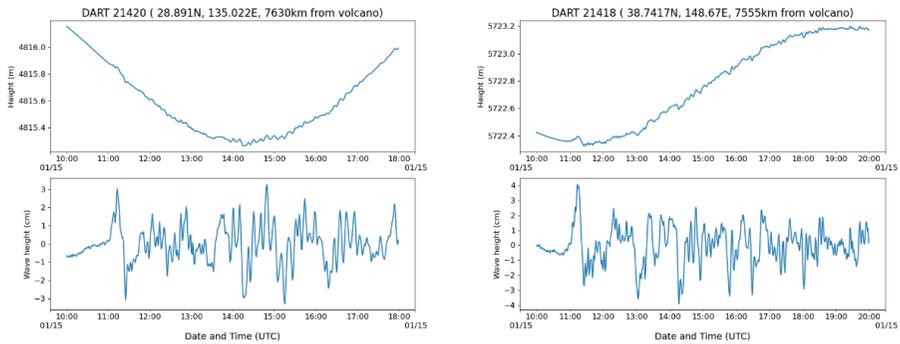


図 4 アメリカ NOAA 津波観測網で観測された津波波形(左: 大東島東方沖, 右: 東北宮城県沖)

4. 港湾での海面変動と漁港の被害

太平洋側の日本沿岸の験潮所で観測された海面変動のうち、高知県土佐清水市の例を図 4 に示す。気圧波の通過に伴う海面変動 (先行波) によって、周期 45 分程度の海面変動が卓越し、約 3 時間後に周期 22.5 分程度のピーク波を与える海面変動が観測されている。ピーク波を与える海面変動の周

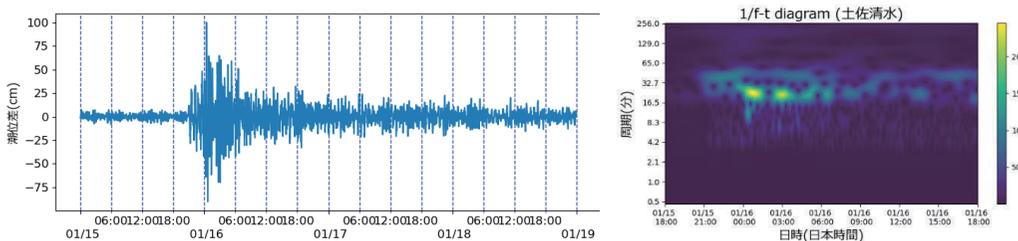


図 4 高知県土佐清水の潮位観測データより解析された海面変動の波形(左)と周波数特性(右)

期は湾の固有振動や周囲の海底地形・海岸地形との関係によって生じる固有振動の影響を複雑に受ける。

今事例で漁船転覆・流失被害を受けた高知県、徳島県の漁港に現地調査を2022年1月29日及び30日に実施し、ヒヤリングを実施した結果、当時の状況について以下の証言が得られた。複数の港湾に共通する特徴として、10分前後ぐらいの比較的短い周期で漁港内での海面変動が見られたこと、引き波の際に漁港の出入口付近に渦ができ、渦の流れに引っ張られる形でロープが切れたことが挙げられる。高知県室戸市佐喜浜漁港では、漂流した2t級の漁船が小型漁船に衝突し、小型船の船体が破損する被害が発生するなど、8隻が転覆、流失被害を受けた(図5)。徳島県海陽町穴喰漁港においては、漁港内は大きく振動しているのに対し、漁港のすぐ横を流れる河川では顕著な海面変動が見られなかった。

比較的短い周期の海面変動が繰り返された点は、気象庁などの験潮所で観測された記録と整合しているが、湾内での海面変動に伴う流動場などの詳細な解析が求められる。



図5 高知県室戸市佐喜浜漁港の被害。左と中央の写真は高知県漁協・植元副会長提供。陸揚げされた漁船(右)は著者撮影。

5. おわりに

本稿では、トンガ火山噴火に伴う津波について、気圧観測、潮位観測などの初期的な解析結果等について述べた。日本近海での気圧波の伝播速度(対地速度)の減速によって、日本近海での気圧波と海洋波との共鳴(Proudman共鳴)が発生し、先行波として増幅された波が太平洋側の験潮所で検出された。そして、長時間持続する中で、後続の津波本体と合成し、局所的に高さ1mを超える海面変動に至った可能性が考えられる。今後、更なる観測データの解析に加え、大気側の気圧波の伝播や津波伝播に関する数値シミュレーションを行い、増幅過程の解明を行っていく必要がある。

謝辞 本研究の実施にあたり、自然災害研究協議会より初動調査旅費の助成を受けました。地上気圧の稠密観測データを(株)ウェザー・ニューズよりご提供いただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) Linzen, D. and Blake, D.: Lamb waves in the presence of realistic distributions of temperature dissipation, J. Geophys. Res., 77, 2166-2176 (1972)