

研究計画の概要

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 教授

研究目的

令和 4 (2022) 年 1 月 15 日日本時間 13 時頃、トンガ諸島付近のフンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山で噴火が発生した。現時点で、噴煙高度は 16,000m 以上、火山爆発指数 (VEI) は 6 程度の大規模噴火であったと推定されている。この噴火により、近隣の島嶼地域では降灰、津波などによる被害が発生した。火山地域ではその後も海域の変色が発生するなど、火山活動が活発な状態が続いている。この噴火に伴い、世界各地では空振に伴う急激な大気圧変化が観測され、日本でも噴火の約 7 時間後に圧力変化が記録された。気象庁は、日本への到着は噴火のほぼ 10 時間後、若干の海面変動が予想されるとの津波予報を発表した。その後、津波の到達予測時刻より 2~3 時間早く、上記の大気波動とほぼ同じ時間帯に津波が観測され始め、鹿児島県奄美大島や岩手県久慈で 1m を超えたため津波警報および津波注意報を発表した。今回の噴火は稀にみる規模であったこと、噴火による大気圧変動と異常な潮位変化が世界中で記録されたことから、海底火山の噴火および津波発生プロセスの把握、大気波動に伴う津波の発生メカニズム、トンガ諸島や日本沿岸における被害・影響、発表された津波注意報・警報に対する自治体・住民の対応や避難行動などの状況を包括的に調べるため、本研究を実施する。海外 (トンガ周辺) での被害調査等も実施を希望するが、新型コロナウイルス感染症拡大防止対応のため、実施できない場合は、衛星写真などリモートでの情報収集、データ解析等に切り替えることを検討する。具体的には、以下の 4 テーマについて研究を実施する。

「テーマ 1. 火山噴火現象の解明」において、火山噴火がどのように発生したのか、その現象の詳細を明らかにする。フンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山では 2014-2015 年の噴火により新たな火山島が形成され、2021 年 12 月から開始した噴火でこの島は消滅したとされている。1 月 14 日と 15 日に大規模な噴火が発生し、噴煙が広がったことが「ひまわり」などの衛星画像で確認されている。また、この噴火に伴う大気波動は全世界で記録されている。これらの衛星画像や気圧データを収集し、それらの解析や噴煙拡大のシミュレーションを行うことにより、噴火プロセスを明らかにするとともに、日本付近で最近発生した海底噴火との比較も行う。

「テーマ 2. 火山性大気波動などによる全球規模での津波発生・伝播メカニズムの解明」では、世界中で記録された大気変動と津波との関係を調べる。今回の現象は、大気波動と海面の共振で発生した可能性が考えられるが、その励起・伝播のメカニズムについてはまだ不明な点が多い。1883 年のインドネシアの Krakatau 火山噴火時に、大気圧変動が津波を引き起こしたとされているが、観測データが限られており、定量的な議論や統一的な見解には至っていない。今回の大気圧変動や津波は、世界中の GNSS、微気圧計や潮位計・海底圧力計で記録されている。本テーマは、これらのデータを収集して解析し、さらには大気-海洋結合系の数値シミュレーションと比較することにより、火山噴火による大気圏の挙動と津波の励起・伝播メカニズムを解明する事を目的とする。さらに、津波の励起・伝播メカニズムを明らかにすることで、今後同様の現象が発生した場合にどの程度の津波が発生するのか、即時的に把握するための土台作りを行う。また、トンガや周辺に被害をもたらした火山性津波の発生メカニズムについても解明を行う。今回の噴火に伴い、海底ケーブルが切断されてインターネット回線が不通となったが、これは海底地すべりによる可能性が高く、津波との関係も調べる。

「テーマ 3. トンガ噴火性津波による我が国沿岸域への影響調査」では、日本沿岸で発生した被害状況を網羅的に把握し、今後の津波防災の対応に役立てることを目指す。今回の津波は、これまでに前例のない非地震性の遠地津波であり、短周期成分が卓越し継続時間が長かったという特徴がある。その結果、この特徴的事象に対応できなかった港湾内での船舶や施設に被害が発生し、沿岸域での養殖筏等の漂流や

水産関係の被害が報告されている。これらの被害の実態把握、生態系への影響、津波と被害・影響の関係を明らかにし、今後の対応について整理する。

「テーマ4. 社会的影響・社会的側面の調査」では、観測史上経験がないような現象が起こった場合の気象庁からの情報の発出、避難の呼びかけがどのような効果を与えたか、伝え手である自治体の対応、情報を受け取った住民の対応を調べ、今後同様の事象が発生したときの情報提供体制や対応に役立てることを目指す。海底火山による災害については、これまでほとんど研究が行われていないため、火山に近いトンガ諸島での住民へのヒアリングや津波痕跡等の現地調査も実施したい。特に降灰に関する社会的影響に関しては、今後、国内外での降灰の防災対応に関する貴重な知見となる。科学的調査としても、噴火発生場所に近い場所での降灰や津波痕跡分布などの情報は、結果の精度を高めるためにも貴重なデータとなるため、現地調査を希望する。ただし、現状としてトンガはコロナ禍において厳しい入国規制を行っており、この1年以内に現地に行くことが可能かどうかは不明である。現地調査が難しい場合は、他の手段を検討し、情報収集を実施する。

調査内容

テーマ1. 火山噴火現象の解明

(1) 多項目観測による浅海火山爆発過程の解明

衛星画像・気象データを解析し、火山活動の特徴を把握する。今回発生したトンガの火山について、数年規模での地形変化を調べる。衛星データの解析結果からSO₂の放出量を推定すると共に、岩石の組成・斑晶量・温度推定などの基礎的解析を行い、噴火に関与したマグマ量の推定を試みる。また、ともに浅海で爆発的噴火が発生した福德岡ノ場・西之島噴火との比較検討を行う。衛星画像による津波検出、噴火直後の海洋上における浮遊物調査により、各島での降灰量の推定を行う。GNSS-TEC解析を用いた、噴火による大気および電離層擾乱の検出を行う。

(2) 火山噴火による大気波動の励起メカニズムの解明

インフラサウンド観測ネットワークのデータから得られる微気圧観測データの詳細解析を行い、今回の火山噴火が微気圧波・インフラサウンドを励起するメカニズムを解明する。福德岡ノ場噴火を例にシミュレーションを行い、噴火パラメータと大気海洋波動現象の関係を調べる。テーマ1では大気波動の励起プロセスを解明する。

(3) 噴火シミュレーション・規模推定

大気再解析データ、物質科学から得られる情報を用いて3次元噴火シミュレーションを試行・高度化し、噴火規模と噴火強度を推定する。火山灰のトレーサー計算を行い、噴火初期段階における火山灰輸送を再現する。また、大気振動に関する情報を抽出し、大気振動からの圧力伝播について精査する。

テーマ2：火山性大気波動などによる全球規模での津波発生・伝播メカニズムの解明

(1) 国内外の微気圧観測データの解析による伝播特性の解明

微気圧観測データの予察的な解析で噴火時に励起された大気Lamb波(伝播速度310m/s)がその後数日にわたって周回していることが分かってきた。周期的には今回発生した津波と一致するが、伝播速度は必ずしも一致せず効率的な津波の励起は難しい可能性がある。大気Lamb波の後続波として大気重力波(200-280m/s)も捉えられている可能性が高いため、収集した全球的な気圧データを解析し、実際にはどういった大気波動が伝播していたのか、特にその伝播速度に注目し検討する。テーマ2では、大気波動の伝播プロセスを理解する。

(2) 大気波動の海面の進行に伴う先行波の発達・増幅に関する解析

今回観測された津波は、大気波動の速度と同程度の海洋長波の位相速度を満足したProudman共鳴で津波の振幅が増幅されたと解釈できる。しかし、大気波動としてLamb波が寄与しているのか、もしくは速度の遅い大気重力波が寄与しているかで、その共鳴の効率は大きく変わる。1.で得られた大気波動の特徴から、実際にどの程度の津波が励起されるのか、物理メカニズムを検証し、定量的な議論を行う。

(3) 噴火に伴う津波発生メカニズムの解明と火山性津波の予測手法の開発

トンガならびにその周辺の島々に被害をもたらした津波の発生メカニズム（噴出物の海中への流入、海底地すべり、あるいは山体の崩壊など）を解明する。可能であれば現地調査により津波被害データを収集し、爆発規模と津波の大きさを推定するため、固気液 3 次元ならびに 2 次元伝播解析を用いて、今回観測された津波を再現する。また、今後生じる可能性のある海底火山における津波リスク算定に資するデータベースを構築する

テーマ 3：トンガ噴火性津波による我が国沿岸域への影響調査

日本国内における潮位記録（津波波形）の解析、行政機関、自治体、聞き取り調査等による被害報告の情報収集と分析、航空写真情報のデータの収集、解析により、1）沿岸域での被害実態および生態系への影響の把握、2）観測された津波の外力と被害との関係解明（被害関数の提案）、3）今後の課題や対応策の整理、4）得られた情報・知見を海外、特に小島嶼開発途上国（SIDS）などへの提言と支援、を検討する。

テーマ 4：社会的影響・社会的側面の調査

（1）国内の津波警報と住民の対応の調査

行政機関や自治体の避難指示などの情報、呼びかけ、情報発出文を整理し、太平洋沿岸部自治体の情報発出状況について調査する。また、屋久島、岩手県ほか 8 県 55 自治体で出された避難指示に伴う日本国内の主要な地域の避難状況、住民の対応について、アンケートを中心に調査を実施する。

（2）現地および周辺国における噴火被害の状況についての情報収集

現地の噴火被害の状況について、現地赶赴して被害の状況、自治体・住民への聞き取り調査などにより、可能な限り情報を集める。

研究経費

18,730 千円

研究組織

（研究代表者）

氏名	所属・職名	（専門分野）	役割分担
佐竹健治	東京大学地震研究所・教授	（地震学・津波）	統括

（研究分担者）

氏名	所属・職名	（専門分野）	役割分担
前野 深 山本真行 鈴木雄治郎	東京大学地震研究所・准教授（火山学） 高知工科大学システム工学群・教授（超高層物理学） 東京大学地震研究所・准教授（火山学）		（テーマ 1） ・多項目観測による浅海火山爆発過程の解明 ・火山噴火による大気波動の励起メカニズムの解明 ・噴火シミュレーション・規模推定
西田 究 綿田辰吾 有川太郎 田中健路 藤井 雄士郎 近貞直孝 山田真澄 柿沼太郎 西村裕一 対馬弘晃	東京大学地震研究所・准教授（地震学） 東京大学地震研究所・准教授（地震学） 中央大学理工学部・教授（海洋工学） 広島工業大学環境学部・教授（水工学） 国立研究開発法人建築研究所国際地震工学センター・主任研究員（地震学・津波） 国立研究開発法人防災科学技術研究所地震津波防災研究部門・主任研究員（防災工学） 京都大学防災研究所・助教（自然災害科学） 鹿児島大学理工学域工学系・准教授（水工学） 北海道大学大学院理学研究院・准教授（古地震学） 気象庁気象研究所・主任研究官（地震学・津波）		（テーマ 2） ・国内外の微気圧観測データの解析による伝播特性の解明 ・大気波動の海面の進行に伴う先行波の発達・増幅に関する解析 ・噴火に伴う津波発生メカニズムの解明と火山性津波の予測手法の開発

サッパシー アナワ ット 朝位 孝二 嶋原 良典 高川 智博 佐々木 大輔 王 宇晨	東北大学災害科学国際研究所・准教授(海岸工学) 山口大学大学院創成科学研究科・教授(水工学) 防衛大学校システム工学群・准教授(海岸工学) 海上・港湾・航空技術研究所津波高潮研究グループ・グループ長(海岸工学) 東北大学災害科学国際研究所・助教(災害科学) 海洋研究開発機構海域地震火山部門・Young Research Fellow(固体地球物理学)	(テーマ3) ・沿岸域での被害実態および生態系への影響の把握 ・観測された津波の外力と被害との関係解明(被害関数の提案) ・今後の課題や対応策の整理 ・得られた情報・知見を海外、特に小島嶼開発途上国(SIDS)などへの提言と支援
関谷直也 吉本充宏 秦 康範 佐藤翔輔	東京大学情報学環・准教授(災害情報) 山梨県富士山科学研究所富士山火山防災研究センター・センター長(火山学) 山梨大学大学院総合研究部・准教授(地域防災) 東北大学災害国際科学研究所・准教授(避難行動・災害情報)	(テーマ4) ・国内の津波警報と住民の対応の調査 ・現地および周辺国における噴火被害の状況についての情報収集