

2022年トンガ噴火の時間推移を地震波の解析から解明

～大気－固体地球の共鳴振動と噴火の発生間隔との関係性を示唆～

ポイント

- ・世界中の地震波記録の解析から、2022年トンガ火山噴火の時間推移を推定。
- ・大規模な爆発的噴火の後、約270秒（3.7mHz）の間隔での断続的な噴火発生を検出。
- ・大気と固体地球の共振周波数と噴火の発生間隔がほぼ一致し、同期していた可能性を示唆。

概要

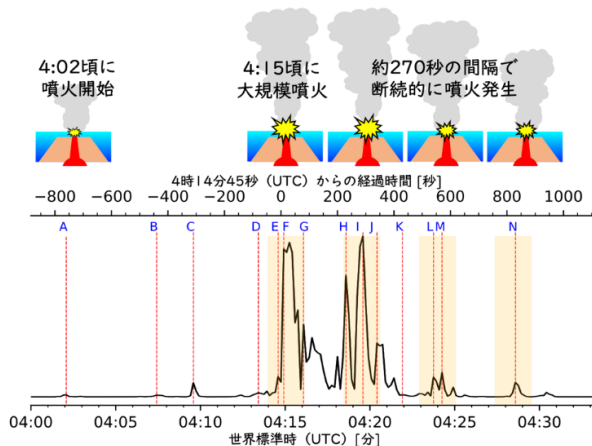
北海道大学大学院理学研究院の吉澤和範准教授と同大学院理学院博士後期課程の垂水光太郎氏の研究グループは、世界各地に展開されたグローバル地震観測網（Global Seismographic Network; GSN）で記録されたP波の波形記録を用いたバックプロジェクション解析*¹を通じ、2022年1月15日に爆発的な大噴火（以下、2022年トンガ噴火）を起こしたトンガ-トンガハアパイ火山における噴火の時間推移を明らかにしました。

大規模な火山噴火の際には、大気と固体地球の共鳴振動*²が発生することが知られており、特に3.7mHzや4.4mHzの周波数付近での共鳴振動は、1991年ピナツボ噴火の際にも観測されています。2022年トンガ噴火では、世界中の観測点において、3.7mHzの地球自由振動の顕著なスペクトルピークが観測されました。

本研究で行ったP波のバックプロジェクション解析により、2022年トンガ噴火の詳細な時間推移が明らかとなり、国際標準時の午前4時2分頃に始まる噴火は、その後約30分間で、約14回の噴火を引き起こしていたことが分かりました。特に、4時15分頃に最大規模の爆発的噴火を起こした後、その約270秒後にほぼ同規模の大噴火を起こし、その後もほぼ270秒の間隔でやや小規模な噴火を繰り返し起こしていたことも明らかとなりました。

このことから、本噴火の一連の発生間隔（約270秒）が、大気－固体地球の共振周波数（3.7mHz）とほぼ一致していることが示唆されます。大規模噴火のタイミングと大気－固体地球の共振振動サイクルとの同期のメカニズムについて、今後更なる研究が期待されます。

本研究成果は、2023年1月4日（水）公開のEarth and Planetary Science Letters誌にオンライン掲載されました。



2022年1月15日4時頃（世界標準時）にトンガで発生した大規模噴火の時間経過の概略図。（下図の詳細は図2参照）

【背景】

2022年トンガ噴火は世界中を伝わる大気波や津波、地震波を発生させ、日本でも津波警報や注意報が出されました。この噴火によって発生した津波の一部は、大気波によって引き起こされたことが先行研究で示されています。噴火の規模は諸説ありますが、噴出物や地震表面波、大気波動の解析等から、VEI（火山爆発指数）5-6程度と推定されています。一方、大規模噴火の際の詳細な時間推移については、まだ十分に明らかになっていませんでした。

また、大規模な火山噴火の際には、大気と固体地球の共鳴振動が発生することが知られており、1991年ピナツボ火山（フィリピン）の噴火時にもその記録が報告されています。このような共振は一般に3.7mHzや4.4mHz等の特定の周波数で発生します。2022年トンガ噴火では、3.7mHzの共鳴振動が特に明瞭に観測されました。しかし、このような火山噴火に伴う大気と固体地球の共鳴振動は限られた観測事例しかなく、1991年ピナツボ噴火と2022年トンガ噴火での自由振動スペクトルの違いの原因も謎でした。

【研究手法】

世界各地に展開されたグローバル地震観測網（Global Seismographic Network; GSN）で記録されたP波の波形記録を使用しました。図1に示すように、フンガトンガーフンガハアパイ火山から10000km以上離れた観測点（角距離にして約90°）でも明瞭なP波到達を確認できます。また、国際標準時で4時14分45秒以降に励起されたP波と、その後が続いて別のイベントで発生したP波が少なくとも2つ確認でき、複数の噴火が発生していたことが分かります。これらのP波記録に対して、バックプロジェクション解析を適用することで、噴火の時刻歴を解明しました（図2）。

【研究成果】

2022年トンガ噴火は2つの噴火シーケンスからなることが分かりました。1番目の噴火シーケンスは、国際標準時4時2分頃に始まり、その後約30分間で少なくとも14回程度の噴火が検出されました。2番目は、その約4時間後の8時26分頃に始まり、約7分間で5回程度の噴火が発生していました（図2）。

特に4時2分頃に始まる1番目の噴火シーケンスでは、4時15分頃に最大規模の爆発的噴火が発生しました。その約270秒後に同規模の噴火が発生し、その後も270秒間隔でやや小規模な噴火が少なくとも2回発生していました（図2下段・橙部分）。この270秒の時間間隔は周波数にして3.7mHzに対応します。2022年トンガ噴火の際、世界中の地震計で記録された自由振動スペクトルでは、固有周波数3.7mHzのスペクトルピークが卓越しています（図3左）。これらの解析結果と観測事実から、大規模な噴火の発生タイミングが大気-固体地球の共鳴振動サイクルとほぼ同期しており、その結果、3.7mHzの顕著な共鳴振動が観測されたものと考えられます。

【今後への期待】

2022年トンガ噴火のような海底火山噴火は、同様のプレート沈み込み帯に位置し多くの海底火山が存在する日本周辺でも起こり得ます。今回の噴火プロセスの解明は、海底火山噴火への理解を深め、将来の噴火リスクの予測やその軽減に繋がることも期待されます。また本研究の結果により、P波の解析から噴火の詳細な時間経過を推定できることも示されました。さらに、これまで謎だった大気-固体地球の共鳴振動を増幅するメカニズムに、噴火の発生間隔が関係し得ることも示されました。大規模噴火時の地球全体を揺るがす共鳴振動現象に関する理解が、今後一層進むことが期待されます。

論文情報

論文名 Eruption sequence of the 2022 Hunga Tonga-Hunga Ha'apai explosion from back-projection of teleseismic P waves (遠地 P 波のバックプロジェクションによる 2022 年フンガトンガ-フンガハアパイ爆発時の噴火シーケンス)

著者名 垂水洸太郎¹, 吉澤和範² (¹北海道大学大学院理学院, ²北海道大学大学院理学研究院)

雑誌名 Earth and Planetary Science Letters (地球惑星科学全般の専門速報誌)

D O I 10.1016/j.epsl.2022.117966

公表日 2023 年 1 月 4 日 (オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院理学研究院 准教授 吉澤和範 (よしざわかずのり)

T E L 011-706-3620 メール yoshizawa@sci.hokudai.ac.jp

U R L <https://www.sci.hokudai.ac.jp/seismolab/>

配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

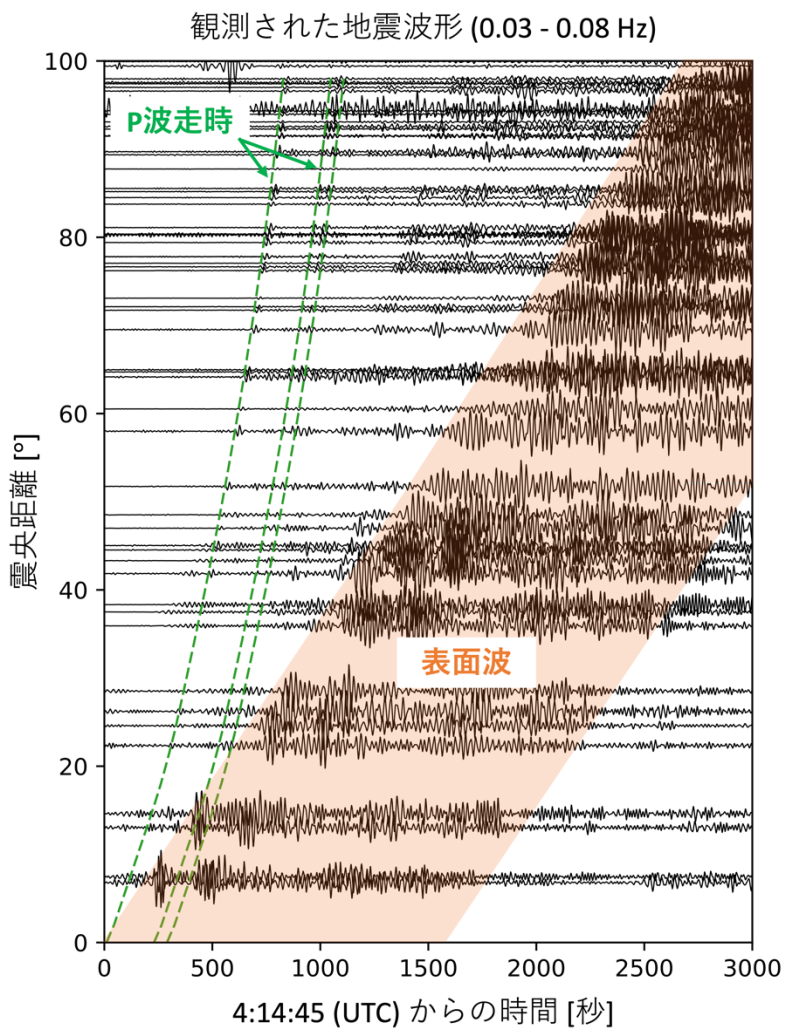


図 1. 2022 年トンガ噴火によって励起された地震波形をフンガトンガ火山からの距離順に並べた図。緑破線は、3つの噴火イベントから発生したP波の理論的な到達時刻を示す。

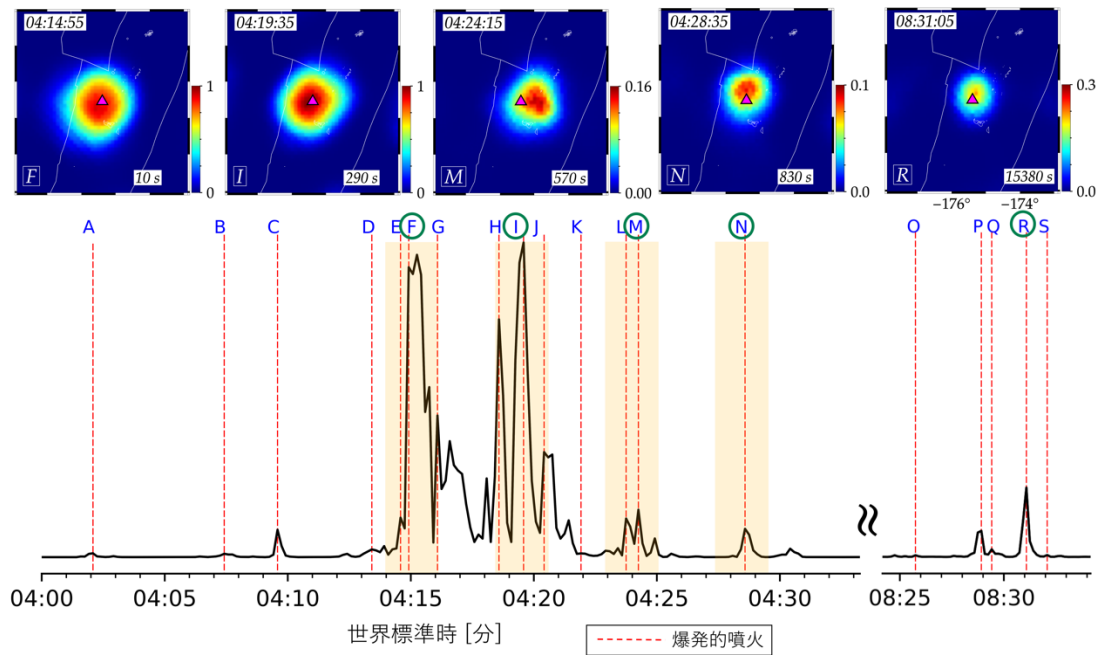


図 2. P波のバックプロジェクション解析の結果。(上) 各時刻に放射されたP波強度の空間分布（発表論文から一部抜粋）。赤いほどP波が強く放射された領域を示す。(下) P波の放射強度の時間変化。赤破線は噴火と同等されたイベントの発生時刻、橙部分は約270秒間隔でのイベントグループを示す。

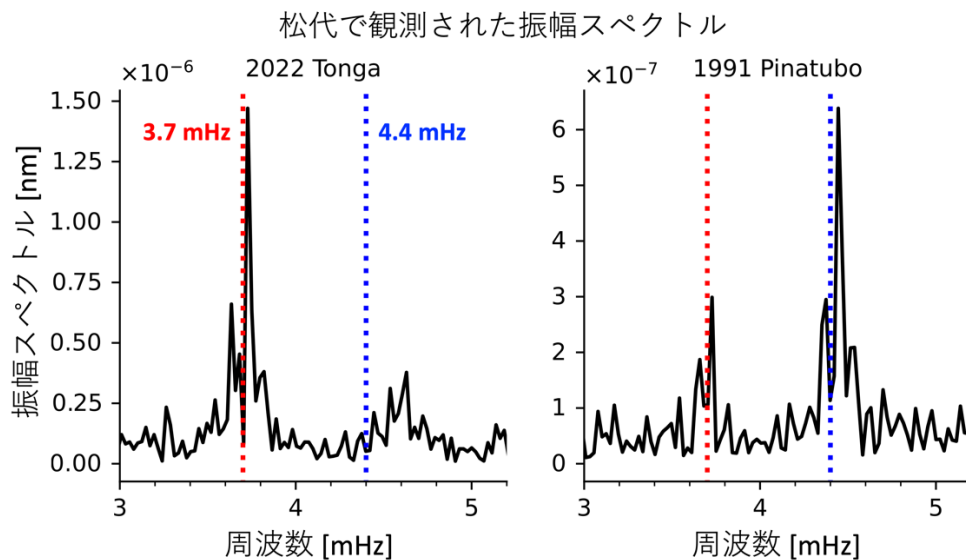


図 3. 松代の地震観測点で記録された地球自由振動の振幅スペクトル（左: 2022年トンガ噴火、右: 1991年ピナツポ噴火）。今回のトンガ噴火では3.7mHz（赤点線）が特に卓越していることがわかる。

【用語解説】

- *1 バックプロジェクション解析 … 多数の観測点で記録された地震波を励起源へ逆投影することによって、地震波が放射された時刻と場所、その強さを可視化する解析手法。一般的には地震発生時の断層破壊過程の推定に用いられるが、本研究のように地震以外のイベント検出にも利用できる。

- *2 大気と固体地球の共鳴振動 … 大気と固体地球のそれぞれの自由振動が、特定の周波数で共振する現象。標準的な大気と地球内部の構造モデルによる理論計算から、3.7mHz や 4.4mHz 等の特定の周波数付近で共鳴振動しやすいことが知られている。