Ⅲ フンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山の噴火に伴う成層圏エーロゾルの広がり と気候への影響

- 2022年1月のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山噴火では40~50万トンの二酸化硫黄 (SO₂)が成層圏に運ばれ、これが硫酸エーロゾルに変わって低緯度域から中高緯度域に拡 散しつつある。国内では、2022年の時点で、成層圏のエーロゾルに起因する直達日射量の減 少は見られていない。
- 過去の大規模火山噴火では、成層圏を浮遊するエーロゾルが日射を遮ることにより、地上気 温の低下をもたらした。今回の火山噴火では成層圏へのSO₂注入量が比較的少なかったため、 気候への影響は限定的と考えられるが、成層圏への注入量が比較的多かった水蒸気の効果に ついてはまだわかっていない点も多い。

2022年1月15日に、南太平洋トンガ諸島のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山で大規模 な噴火が発生した。火山爆発指数(VEI)は約6(Poli and Shapiro, 2022)と、1991年6月のピ ナトゥボ火山噴火(フィリピン)に匹敵する規模であり、日本では、南東から北西方向に伝播する 気圧変化と、その直後に潮位変化が観測された。噴煙の状況は気象衛星ひまわり8号で観測され (図Ⅲ.1)、噴煙の高度は、複数の衛星観測データによる視差を用いた解析により、一部は成層圏 を超え、高度57kmの中間圏にまで達したことがわかった(Proud et al., 2022)。



図Ⅲ.1 2022 年 1 月 15 日のトンガ諸島のフンガ・ト ンガ−フンガ・ハアパイ火山の大規模噴火

気象衛星ひまわり 8 号による 1 月 15 日 14:10 (日本標 準時)のトゥルーカラー再現画像。トゥルーカラー再 現画像は、気象庁、米国海洋大気庁 (NOAA) /NESDIS、 コロラド州立大学 (CSU) /CIRA との協力によるプロ ダクト。



図亚.2 ひまわり8号の可視・近赤外観測データから 算出した噴火2日後(2022年1月17日13:00(日本標 準時))のエーロゾル光学的厚さ(AOD)

オーストラリアの北東海上に AOD の大きい領域が見ら れる。白い部分は雲、又は太陽反射や衛星天頂角が大き いなどの理由により計算できなかった領域。▲印はフン ガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山の位置。

大規模火山噴火では、火山ガスの主要成分の一つである二酸化硫黄(SO₂)が成層圏に到達し て、これが水蒸気との反応を含む酸化反応を経て硫酸エーロゾルに変わって拡散し、地球に入射す る太陽光を遮ることにより、世界規模で地上気温の低下をもたらすことが知られている。1991年 のピナトゥボ火山噴火では、約2000万トン(20Tg)のSO₂が成層圏に到達し、硫酸エーロゾル となって浮遊することにより、全球平均地上気温に約0.5℃の低下を最大1年間もたらした

(IPCC, 2013)。一方、今回のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山の噴火で成層圏に注入された SO₂の量は 40~50 万トン(0.4~0.5 Tg)と推定されており、ピナトゥボ火山噴火と比べて大幅に少なかった(Carn et al., 2022)。

1月15日のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山の噴火で成層圏に到達した SO₂は、次第に 硫酸エーロゾルに変化しながら、南半球低緯度域の高度 30 km 前後の層を西に向かって移動した ことが、複数の衛星により観測されている(Sellitto et al., 2022; Legras et al., 2022; Taha et al., 2022)。これは、ひまわり 8 号の可視・近赤外観測データから算出(北島ほか, 2021; Yoshida et al., 2018)したエーロゾル光学的厚さにも見られている(図Ⅲ.2)。成層圏の硫酸エーロゾルは、 南半球低緯度域を西進して1月下旬には地球を1周し、その後、成層圏内の子午面方向の循環 (ブリューワー・ドブソン循環)に伴い、2月頃には一部が南半球の中高緯度域に広がり、3月末 頃には一部が北半球の中高緯度域にも到達した。3月末には、茨城県つくば市の気象研究所のライ ダーで高度 24 km 付近にエーロゾルの層が観測され(図Ⅲ.3)、4 月から 6 月にかけて欧州や北極 域でも一時的に観測された(Khaykin et al., 2022)。

Tsukuba 2022/03/31 00:01:02-04:59:12



図 II.3 つくばの地上ライダーで観測したフンガ・ト ンガーフンガ・ハアパイ火山起源と思われる成層圏エ ーロゾル層のピーク

つくばでは3月31日の高度24 km 付近で初めて観測 された(図中の時刻は日本標準時)。青線(BSR)は後 方散乱比(エーロゾルの混合比に対応)、赤線(TDR) は偏光解消度(エーロゾルの非球形度の指標)を示す(い ずれも波長532 nm)。ほぼ球形の硫酸エーロゾルでは 偏光解消度は小さな値を示す。高度11 km 付近の点線 は対流圏界面を示し、それより下の高度では雲(主に非 球形度の高い巻雲)を観測していると考えられる。

過去の大規模火山噴火では、成層圏のエーロゾルが世界規模で広がり、年単位の期間にわたり成 層圏大気を混濁させ、地上における日射量の減少をもたらした。図Ⅲ.4 は、国内 5 地点の直達日 射量2観測により得られた大気混濁係数3のバックグランド値の経年変化である(2.2.1 節も参照)。 大気混濁係数は、エーロゾル等の大気を濁す物質によって直達日射量が減少すると高い値を示す。 ここでは、月最小値を用いることにより、短期間で変動する対流圏の影響を除いている。1963 年 のアグン火山噴火(インドネシア)、1982 年のエルチチョン火山噴火(メキシコ)、1991 年のピ ナトゥボ火山噴火の後には、成層圏のエーロゾルにより直達日射量が減少し、大気混濁係数の上昇 が見られたが、2022 年はこのような変化が見られなかった。今回の噴火は成層圏に注入された SO2 量が少なく大気混濁係数の変化が検出されていない可能性もあるが、これらの過去の火山噴火 では国内の大気混濁係数は噴火の数か月から1年半後に上昇が始まっており(Yamauchi, 1995)、 今後も注視が必要である。

² 直達日射量とは、太陽から地表面に直接入射するエネルギーである。直達日射量からは大気の濁り具合に関する 指標であるホイスナー・デュボアの混濁係数(大気混濁係数)を算出することができる。

³ 大気混濁係数は、エーロゾルのほか、水蒸気、オゾン、二酸化炭素等の日射の散乱・吸収に寄与する種々の物質 を含む現実の大気の光学的厚さ(日射に対する大気の不透明さ、濁り具合)が、酸素や窒素などの空気分子以外 の物質が存在しないと仮定した大気の光学的厚さの何倍であるかを表し、値が大きいほど大気を濁す物質が多い ことを示す。





観測値を使用)の平均値を求め、年平均値を算出している。矢印は大規模な火山噴火が発生した時期を示す。

今回のフンガ・トンガーフンガ・ハアパイ火山の噴火では、海底火山の噴火であったため、成層 圏全体の水蒸気の10%に相当する約1億4000万トン(140 Tg)もの大量の水蒸気が成層圏に注 入された点が注目されている(Millán et al., 2022; Xu et al., 2022)。成層圏に到達したSO2量の みを考慮した場合、1~2年間にわたり最大で約0.1℃の降温をもたらすものの、気候への影響は限 定的と考えられている(Zhang et al., 2022; Witze, 2022)。一方で、水蒸気を考慮した場合、成層 圏への水蒸気の注入は正の放射強制力をもたらし(地上の昇温)、エーロゾルによる負の放射強制 力(地上の降温)を打ち消す可能性が指摘されている(Millán et al., 2022; Sellitto et al., 2022)。また、水蒸気の存在により、SO2から硫酸エーロゾルへの変化が早まるとともに、硫酸エ ーロゾルの粒径が大きくなって負の放射強制力を強め、水蒸気による直接的な正の放射強制力を考 慮しても、正味で負の放射強制力(約-0.2 W m²)をもたらすという指摘もある(Zhu et al., 2022)。ただし、粒径の速やかな増加は、重力沈降による成層圏からのエーロゾル除去を早める可 能性もある(Khaykin et al., 2022)。これらの効果は、1991年のピナトゥボ火山噴火による降温 の効果(約-2 W m²の放射強制力)(IPCC, 2021)に比べて絶対値が小さく、今回の噴火の気候 への影響は限定的であると考えられるが、水蒸気の効果についてはまだわかっていない点が多く、 今後の観測や研究の成果に期待がかかっている。