

超巨大噴火と「火山の冬」

高橋 正樹^{1*}

Super Eruption and “Volcanic Winter”

Masaki TAKAHASHI^{1*}

Received 8 May 2012

Accepted 2 September 2012

Abstract Super-eruption release voluminous sulfuric gas into the atmosphere, which produce a large amount of sulfuric acid aerosol in the stratosphere. The sulfuric acid aerosol reflects incoming solar radiation, giving rise to the rapid climatic cooling called the “volcanic winter” on the Earth’s surface. The Toba super-eruption 74,000 years ago, the largest eruption in a million years on the Earth, erupted as much as 2,800 km³ of felsic magma. The average global temperature is estimated to have lowered more than 10°C by the Toba super-eruption, which is inferred to have caused a severe bottleneck of the human population. Modern civilized human society will also suffer fatal damage by “volcanic winter”, if a super-eruption were to occur today.

Keywords : Super-Eruption, Sulfuric Acid Aerosol, Volcanic Winter, Toba Volcano, Magma, Global Climate.

1. はじめに

2011年3月11日に起きたM9の東北地方太平洋沖地震とそれがもたらした600～1000年に一度という巨大津波に対しては、しばしば「想定外」という表現が使われた。私達は、数10年から100年程度の近い将来に引き起こされる自然災害については想定をしていたが、こうしたきわめて低頻度の超巨大自然災害は考慮の対象にしていなかったのである。しかし、想定していなかったのは人間の勝手であって、自然は肅々と起こるべき出来事を起こしたにすぎない。このような超低頻度の超巨大自然災害の最たるものが超巨大噴火である。アメリカ合衆国西部のYellowstone火山やインドネシア・スマトラ島のToba火山では、数10万年という長い休止期をおいて、数100 km³～数1000 km³という想像を絶する量のマグマを短時間に噴出する超巨大噴火が繰り返されている。こうした途方もない超巨大

噴火は超低頻度であり、文明が始まって以来人類が一度も経験したことのない超大規模な自然災害であるが、しかしそれは今後確実に起こる出来事であり、しかもそれが起こるのはもしかしたら明日かもしれない。

こうした超巨大噴火は火山ガスに含まれる硫黄化合物を大量に成層圏に供給するが、この硫黄化合物から、太陽光による光化学反応で最終的に大量の硫酸エアロゾルが生み出される。硫酸エアロゾルは全地球を薄く覆い、太陽光を反射することで、対流圏や地表への太陽エネルギーの供給を阻害し、急速な気温の低下をもたらす。「地球寒冷化＝火山の冬」の到来である(Rampino *et al.*, 1988; Self, 2005; Self and Blake, 2008)。ここでは、こうした超低頻度ではあるが全地球規模の超大規模自然災害である超巨大噴火、および超巨大噴火によって引き起こされる「火山の冬」という深刻な全地球規模の大規模自然災害について紹介する。

2. マグマ中に含まれる火山ガス成分

マグマ中にはかなりの量の火山ガス成分が含まれる。もっとも多いのはH₂Oで5wt.%程度、地球温暖化で話題となっているCO₂は0.1wt.%程度である。硫黄成分はSO₂やH₂Sの形で0.3～0.4wt.%ほど含まれる。これら以外に、HClやHFなども少量含まれる。マグマ中に含まれる火山ガス成分は、その大部分が圧力が低下

¹ 日本大学文理学部地球システム科学科
(〒156-0045 東京都世田谷区桜上水3-25-40)

¹ Department of geosystem sciences, College of Humanities and Sciences, Nihon University
3-25-40, Sakurajosui, Setagaya-ku, Tokyo 156-8550, Japan

* Corresponding Author.

E-mail: takama@chs.nihon-u.ac.jp (M. Takahashi)

すると溶解度が下がって気体となって発泡しマグマから分離する。マグマが発泡すると火山ガスからなる気泡の分だけマグマのみかけ密度が低下する。みかけ密度が低下すると軽くなったマグマは浮力によって上昇する。マグマが上昇し圧力が低下すると、火山ガスの発泡はさらに激しさを増し、やがて火口からマグマとともに勢いよく噴き出す。これが噴火現象である。噴火は、マグマのみならず大量の火山ガス成分を地球内部から大気圏へと供給する役割を果たす。

噴火の様式はマグマの発泡の程度によって異なる。粘性の高いマグマが激しく発泡して勢いよく噴火すると、大量の火山ガスや火山灰・軽石を含む巨大な噴煙が、取り込んだ周囲の大気を暖め膨張させることで浮力を増し、高度2万～3万mの成層圏にまで一気に到達し、大量の火山性物質を成層圏に供給する。成層圏にまで到達した噴煙は、そこで周囲の大気と密度的につり合い、成層圏の風の流に支配されながら水平方向に拡がる。水平方向に拡がった噴煙からは、噴煙中に含まれていた火山灰や軽石が雨のように地表に降下する。こうした噴火様式はプリニー式噴火とよばれ、数時間から場合によっては数日間以上にわたって、噴火強度の強弱はあるものの連続的に噴火が継続する。超巨大噴火は、すべてこのプリニー式噴火である。

3. 火山ガスとエアロゾル

プリニー式噴火によって、火山灰や軽石とともに大量の火山ガスも成層圏に供給される。火山ガス中の硫黄は、 H_2S や SO_2 として大気中に供給されるが、成層圏にまで到達したこれらの硫黄化合物はそのほとんどが酸化して SO_2 となる。 SO_2 は太陽光による光化学反応で、最終的に H_2O と結合して H_2SO_4 となる。 H_2SO_4 は、 $0.1\sim 1.0\ \mu\text{m}$ の大きさの微細な硫酸エアロゾルを形成する (Thompson, 1991; Zhao *et al.*, 1996)。こうした硫酸エアロゾルは、1982年のメキシコ・El Chichon 火山の噴火後に、高高度を飛行する航空機によって実際に採取され、その存在が確認されている。固体物質である火山灰や軽石は、粒径が大きいために早い時期に降下し成層圏から取り除かれるが、微細なエアロゾルは長期にわたって成層圏を漂う。この硫酸エアロゾルは太陽光を反射するので、対流圏や地表に到達する太陽エネルギーの減少を招く (Robock, 2000)。一方、同時に硫酸エアロゾルはオゾン層の破壊も促進するので、結果として地表に到達する紫外線量の増大ももたらす。

火山噴火で大気圏に供給された SO_2 量は、マグマ噴出量が $0.5\ \text{km}^3$ のメキシコ El Chichon 火山 1982 年噴火で $7\times 10^9\ \text{kg}$ 、 $5\ \text{km}^3$ のフィリピン Pinatubo 火山 1991 年噴火で $2\times 10^{10}\ \text{kg}$ である (Bluth *et al.*, 1997)。これに対し大規模な噴火では、マグマ噴出量 $650\ \text{km}^3$ のアメリカ合衆国西部 Long Valley 火山の 72 万年前の Bishop Tuff 噴火で $2.2\times 10^{12}\ \text{kg}$ 、マグマ噴出量 $2800\ \text{km}^3$ のイ

ンドネシア・スマトラ島 Toba 火山の 7 万 4000 年前の新期 Toba 噴火で $2.8\times 10^{12}\ \text{kg}$ におよぶ (Scaillet *et al.*, 2004)。過去の大規模噴火により大気圏に供給された SO_2 は、グリーンランドや南極の氷河中に、硫酸イオン (SO_4^{2-}) 濃度の増大という形で保存される。氷河中の硫酸イオン濃度の増大は、過去の大規模噴火の直接的な証拠となる (Legrand *et al.*, 1987; Langway *et al.*, 1995; Zielinski, 1995; Zielinski *et al.*, 1996a)。

4. 大規模噴火と気温変化

1991 年に起きたフィリピン・ルソン島 Pinatubo 火山の噴火は、マグマ噴出量 $5\ \text{km}^3$ におよぶ 20 世紀で 2 番目に大きな噴火であった。すでに述べたように、Pinatubo 噴火では $2\times 10^{10}\ \text{kg}$ の SO_2 が大気圏に供給された。北半球の低緯度で成層圏にまで達した Pinatubo 火山噴火の噴煙は、20 日程度で赤道地域の地球を一周した後、南北半球の高緯度地域に拡がった。平均気温は最大で 0.6°C 低下し、それは噴火の 17 ヶ月後に記録された (Hansen *et al.*, 1992; Parker *et al.*, 1996; Self *et al.*, 1996)。1815 年に起きたインドネシア・ロンボク島 Tambora 火山の噴火は、マグマ噴出量 $55\ \text{km}^3$ におよぶ歴史時代最大規模の噴火であった。この噴火によって大気圏に供給された SO_2 量は $4\times 10^{11}\ \text{kg}$ に達する (Self *et al.*, 2004)。噴火の翌年には全地球的には平均気温が 1°C 程度低下し、地域によってはそれ以上の気温低下がみられた (Stothers, 1984)。

もっとも大きな気温低下がみられたのは北米大陸東部であり、最大で $5\sim 6^\circ\text{C}$ も気温が低下した。ハドソン湾は真夏でも氷結を続け (Catchpole and Faurer, 1983)、ニューイングランド地方では真夏でも山岳地域に降雪があった。北米では 1816 年は「夏の来なかった年」とよばれた (Oppenheimer, 2003)。西ヨーロッパも北アメリカ東部ほどではなかったが寒冷化による農作物の不作によって飢饉が発生し、人々の栄養状態の悪化によって、特にアイルランドでは疫病のチフスが流行してきわめて多くの死者を出した。この時期にインドで発生したコレラは、ロシアを経由してヨーロッパに到達し、さらに海を渡って北米大陸にまでおよんだ。また、アジアを席卷して最終的には日本にまで到達し、「安政コレラ」とよばれて多数の死者をもたらした。「火山の冬」を含め、地球寒冷化の時代には、伝染病の深刻なパンデミックが起りやすい。

5. 超巨大噴火とは

歴史上最大規模の噴火であった Tambora 火山 1815 年噴火では、 $55\ \text{km}^3$ 余りの大量のマグマが噴出した。この時噴出したマグマ量は、琵琶湖の体積 $27.5\ \text{km}^3$ の約 2 倍に相当する。しかし、地球上には、これよりもはるかに規模の大きな噴火が生じている。超巨大噴火に関する万国共通の定義はまだ存在していないが、わ

が国では、みかけの噴出量が 100 km^3 を超えるものは「破局的噴火」とよばれており（町田・新井, 2003）、この「破局的噴火」が日本列島における超巨大噴火に相当する。Tambora 火山 1815 年噴火の「みかけの噴出量」は 150 km^3 であり、この「破局的噴火」に相当する。「みかけの噴出量」とは火砕堆積物の体積から推定した噴出量である。火砕堆積物に含まれる火山灰や軽石には多くの空隙が含まれ、その体積は元のマグマの体積よりも空隙の分だけ大きくなる。こうした火砕堆積物の体積で表した噴出量は、噴出したマグマの体積そのものとは異なるので、「みかけの噴出量」とよばれる。マグマ噴出量の推定が難しいときは、噴出量は一般にこの「みかけの噴出量」で表される。

アメリカ合衆国などでは、超巨大噴火の中でも、マグマ噴出量が 450 km^3 以上（ $1 \times 10^{16} \text{ kg}$ 以上）（みかけの噴出量では 1000 km^3 以上）の特に規模の大きなものを、「スーパー噴火」（super-eruption）とよぶ。最近 100 万年間に生じた「スーパー噴火」としては、Long Valley 火山の 72 万年前の Bishop Tuff（マグマ量で 650 km^3 ）噴火（Hildreth and Wilson, 2007）、Yellowstone 火山の 65 万年前の Lava Creek Tuff（マグマ量で 1000 km^3 ）噴火（Christiansen, 2001）、Toba 火山の 7 万 4000 年前の新期 Toba Tuff（マグマ量で 2800 km^3 ）噴火（Chesner *et al.*, 1991）、Taupo 火山の 2 万 6000 年前の Oruanui Tuff（マグマ量で 530 km^3 ）噴火（Wilson, 2001）などがある（Fig. 1）。こうしたスーパー噴火は、全地球的には 10 万年に 1 回程度の頻度で起こり得るとの見解もある（Pyle, 2000）。

スーパー噴火を起こした火山のうち、アメリカ合衆国西部の Long Valley 火山と Yellowstone 火山は特に研究が進んでおり、スーパー噴火の実態やカルデラの地下構造、マグマ溜りの存在などについて詳細に明らかにされている。カリフォルニア州西部 Long Valley カルデラは $30 \text{ km} \times 16 \text{ km}$ の大きさを有する大型カルデラで、中央部には比高 450 m ほどの巨大な高まりである「再生ドーム」が形成されている。Long Valley カルデラは 72 万年前に 620 km^3 もの大量の流紋岩マグマを噴出し、その結果大規模な陥没が生じることで形成された。Bishop Tuff の噴火は、現在のカルデラ南縁部中央付近からの大規模な噴火から始まった。噴煙の高さは高度 45 km の成層圏にまで達し、西風に流されて東方に大量の火山灰を降下させ、 2000 km 離れたネブラスカ、オクラホマ、カンサス、テキサスの各州にまで到達している。まもなくカルデラの東縁部から火砕流の噴出が始まり、90 時間（約 4 日弱）にわたって続いた。さらに噴出中心はカルデラ北縁に移動し、35 時間（約 1 日半）にわたって噴火が継続された。噴火はカルデラ縁に沿う環状の割れ目から、南部から北部に向かって反時計廻り移動しながら順次進行し、それに伴ってカルデラの陥没が生じたものと考えられる。噴

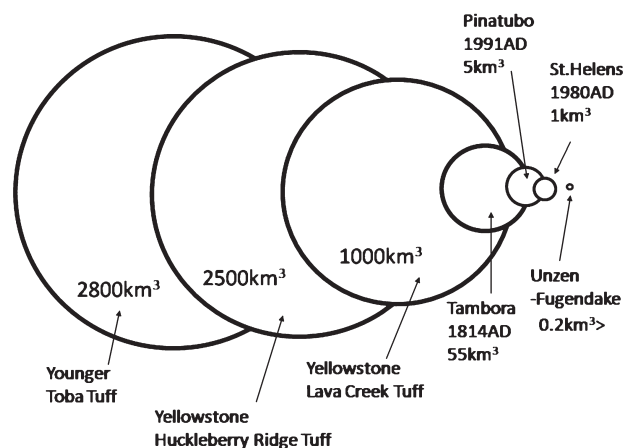


Fig. 1 The magmatic eruptive volume of super-eruptions of the Toba and Yellowstone volcanoes. The eruptive products of the super-eruption of Toba volcano is the Younger Toba Tuff in 78 ka, and those of the Yellowstone volcano is the Huckleberry Ridge Tuff in 2.2 Ma and Lava Creek Tuff in 0.64 Ma. The eruptive volume is shown by spheres. The magmatic eruptive volume of other volcanoes, such as the 1815 eruption of Tambora volcano, the 1991AD eruption of Pinatubo volcano, the 1980AD eruption of St. Helens volcano, and the 1991–1995AD eruption of Unzen-Fugendake volcano are also indicated for comparison. It is manifest that the 1991–1995AD eruption of Unzen-Fugendake volcano, which was famous for its volcanic hazard by pyroclastic flows, was very small eruption compared with the super-eruptions.

火は約 6 日間にわたって継続し、一日あたりのマグマの平均噴出量は 108 km^3 、毎分のマグマの平均噴出量は 0.08 km^3 におよぶと推定されている（Hildreth and Wilson, 2007）。カルデラ形成後、カルデラ中央部に「再成」ドームが隆起し、現在の地形が形作られた。カルデラ中央部で実施されたボーリング掘削によれば、この Bishop Tuff は、カルデラ内部を 2 km もの厚さで埋めている（Fisher *et al.*, 2003）。地震波探査によれば、Long Valley カルデラの地下には、深さ 7 km から 10 km の間に、 $12 \text{ km} \times 8 \text{ km}$ 程度の平面的拡がりをもつ低速度域が発見されている（Steck and Prothero, 1994）。この低速度域の体積は約 290 km^3 にもおよぶ。この低速度域の半分程度が液体のマグマだったとしても、その体積は約 150 km^3 になり、「破局的噴火」の規模のマグマ量に相当する。現在の Long Valley カルデラは、その程度の超巨大噴火を行う能力を備えているものと考えられる。スーパー噴火を行った Bishop Tuff 噴火直前には、これよりもはるかに規模の大きなマグマ溜りが存在していたものと推測される。

62 万年前に 1000 km^3 におよぶ大量の流紋岩マグマからなる Lava Creek Tuff の噴出によって形成された $50 \times 70 \text{ km}$ の規模を有する新期 Yellowstone カルデラでは、深さ 5 km から 12 km に $30 \text{ km} \times 16 \text{ km}$ の平面的拡

がりを持ち、厚さ 7 km におよぶ地震波低速度域が広がっており (Miller and Smith, 1999; Hansen *et al.*, 2004 など), その体積は約 3400 km³ におよぶ。仮にその半分が液体マグマだとしても, その体積は 1700 km³ に達する。もし, 現在この量のマグマがそのまま噴出すれば, それは「スーパー噴火」となるに違いない。新期 Yellowstone カルデラの内部は 62 万年前以降に流出した流紋岩溶岩によって埋積されているが, 中央部には比高 360 m ほどの Mallard Lake ドームと Sour Creek ドームの 2 つの再生ドームが形成されている。カルデラ内ではこれらのドームを中心に絶えず隆起・沈降といった地殻変動が生じており, 群発地震も多発している。また, 活発な噴気活動や間欠泉や温泉湖などの高温温泉活動もみられ, 地下浅所に生きている巨大なマグマ溜りが存在することの直接的証拠となっている。

6. Toba 火山の「スーパー噴火」と気候変動

「スーパー噴火」の中でも, 最近 100 万年間で最大規模の噴火が, Toba 火山で 7 万 4000 年前に生じたマグマ噴出量 2800 km³ にもおよぶ新期 Toba Tuff の噴火である (Chesner, 1998)。インドネシア・スマトラ島の Toba 火山は, 2004 年に起きた M9 のスマトラ島沖地震の震源域に近いスマトラ島北部に位置している (Fig. 2)。Toba 火山は 100 km×35 km の巨大なカルデラからなり, カルデラ内には巨大なカルデラ湖である Toba 湖がある。現在の Toba カルデラは, 3 つの大規模カルデラが複合したものである (Fig. 3)。このうち最古の Porsea カルデラは, マグマ量に換算して 500 km³ 以上を噴出した古期 Toba Tuff 噴火によって 84 万年前に形成された。50 万年前には, マグマ量に換算して 60 km³ を噴出した中期 Toba Tuff 噴火によって Haranggaol カルデラが, そして 7 万 4000 年前には, マグマ量に換算して 2800 km³ を噴出した新期 Toba Tuff 噴火によって, もっとも新しい Sibadung カルデラが形

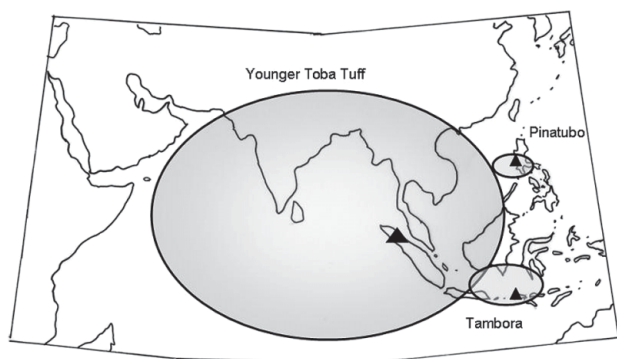


Fig. 2 Map showing the distribution of air-fall tuffs of the Younger Toba Tuff, 1815AD eruption of Tambora and 1991AD eruption of Pinatubo (based on Self and Blake (2008)). Solid triangles denote the location of Toba, Tambora and Pinatubo volcanoes.

成された。Toba カルデラを形成した超巨大噴火の噴火間隔は, 古期と中期の間が 34 万年, 中期と新期の間が 44 万年であり, Toba 火山では 30~40 万年というきわめて長い休止期間において超巨大噴火が生じていることがわかる。まさに超低頻度の噴火である。

新期 Toba Tuff 噴火は 9~14 日ほど続いたと推定され, その降下火山灰は, マレーシア, タイ, カンボジア, ラオス, ベトナム, ビルマなどの東南アジア諸国を覆い, さらにインド全域からアラビア海の主要部分, そして中国南部にまで到達した (Self and Blake, 2008) (Fig. 2)。Toba 火山 7 万 4000 年前のスーパー噴火により大気圏に供給された SO₂ は 2.8×10^{12} kg と推定され (Scaillet *et al.*, 2003), これは Pinatubo 火山 1991 年噴火の約 100 倍, Tambora 火山 1815 年噴火の約 7 倍の量に相当する。Timmreck and Graf (2005) は, 北緯 45° の場所でスーパー噴火が生じ, 1.7×10^{12} kg の SO₂ が大気圏に供給されたケースの気候変動シミュレーションを行った。この噴火の規模は, 新期 Toba Tuff 噴火のそれよりもやや小さい。その結果によれば, 地球上の平均気温が最大 10°C 低下し, しかもその状態が 10 年余りも続くという。同様の検討は Jones *et al.* (2005) によっても行われ, 似たような結果を得ている。さらに規模の大きい新期 Toba Tuff の噴火では, 地球上の平均気温はこれ以上に低下し, またその継続期間も 10 年を超えたに違いない。7 万 4000 年前の新期 Toba Tuff のスーパー噴火は, グリーンランド氷河のボーリングコアのほぼ同時代の位置に, 硫酸イオン濃度の高い領域として確認できる。硫酸イオンの高濃度期間は 6 年以上に

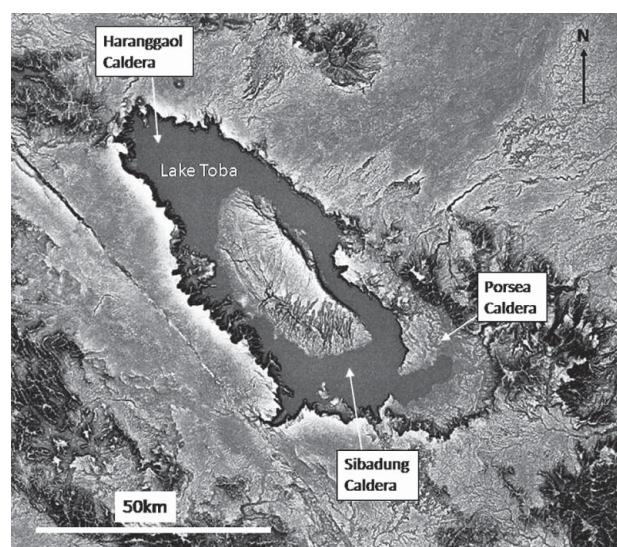


Fig. 3 The Toba caldera complex (100 km×35 km) comprising three calderas: Porsea, Haranggaol and Sibadung calderas. The Toba caldera erupted as much as 2,800 km³ of magma at 74 ka. The super-eruption of Younger Toba Tuff is the largest eruption on the Earth since 1 Ma. Image courtesy of Chiba, T. (Asia Air Survey Co.Ltd.).

および、これが Toba 火山噴火の直接的証拠と考えられる。新期 Toba Tuff 噴火時には、地球上の平均気温が 10°C 以上も急速に低下し、しかもそうした状態が 10 年以上も続いた可能性が高い。急激な地球寒冷化、「火山の冬」の到来である。夏季の平均気温が 10°C 余り低下すると、高緯度地域の常緑針葉樹林の 50% 以上が絶滅し、赤道地域の熱帯雨林はそのほとんどが失われるという (Stothers, 1984; Rampino, 1992, 1994; Zielinski *et al.*, 1996b; Oppenheimer, 2002, Self, 2005; Self and Blake, 2008)。植物生産の激減は、それを食糧とする動物生産も著しく減少することを意味する。人類遺伝子の研究から、この時期を契機に人類の人口が極端に減少し、人類は絶滅の危機、すなわち「ボトルネック」を経験したとする説が提唱されている (Rampino and Ambrose, 1999)。この「ボトルネック」時には、地球上の人類の総人口は、わずか 3000~10000 人にまで減少したと考えられている。Toba 火山のスーパー噴火による急激な地球寒冷化が、こうした人類の「ボトルネック」状態の原因となったとする説は「Toba Catastrophe Theory」とよばれ、近年注目を浴びている。

7. 日本列島の第四紀後期超巨大噴火

幸いなことに、第四紀後期の日本列島には、みかけの噴出量が 1000 km^3 を超えるような「スーパー噴火」はみられない。しかし、すでに述べたように、わが国では、みかけの噴火量が 100 km^3 を超える超巨大噴火は生じている。日本列島では、こうした超巨大噴火が、最近 12 万年間に 10 回ほど起きているが、それらはすべて九州と北海道に限られている (Fig. 4)。このうち最大のものが 9 万年前に現在の熊本県の阿蘇カルデラで起きた噴火であり、みかけの噴出量は 600 km^3 におよぶ。この噴火では、鹿児島県と宮崎県南部を除く九州全体と山口県の一部が大規模な火砕流の直撃を受け、日本列島全体が厚さ 15 cm 以上の火山灰によって覆われた。次に大きな噴火は、2 万 9000 年前に現在の鹿児島県の始良カルデラで起きた噴火であり、みかけの噴出量は 450 km^3 におよぶ。この噴火では、鹿児島県と宮崎県南部のほぼ全域が厚い入戸火砕流堆積物によって覆いつくされ、日本列島全体が数 cm 以上の火山灰に埋没してしまった。これらの超巨大噴火は、九州の主要部に大規模火砕流による壊滅的打撃を与え、また日本列島全体を厚い火山灰で覆ってしまうことで、日本社会に深刻な災害をもたらす、同時に全地球的な急速な寒冷化「火山の冬」を生み出す原因ともなる。

日本列島における直近の超巨大噴火は、7300 年前に南九州の鬼界海底カルデラで起きたみかけの噴出量 170 km^3 のアカホヤ噴火で九州の縄文文化が壊滅したことが、縄文土器の研究によって明らかにされている (栗畑, 2002 など)。アカホヤ噴火直前の日本列島では、南部九州を中心に塞ノ神 (せのかみ) 式土器文化を含

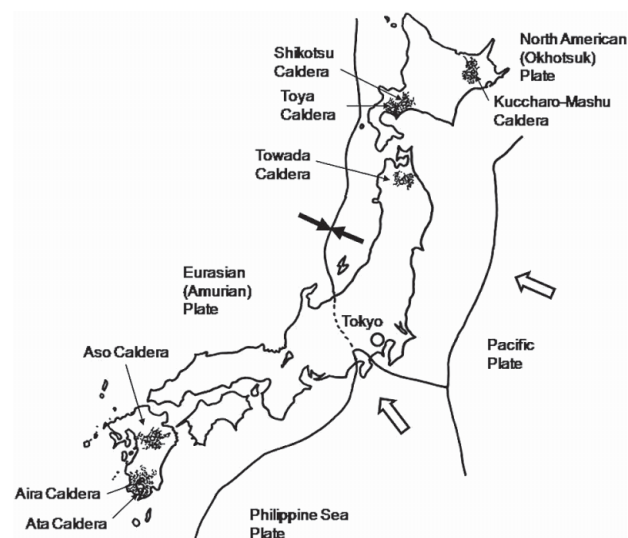


Fig. 4 Distribution of large-scale calderas and their erupted pyroclastic flow deposits in the late Quaternary Japanese islands. Open arrows indicate the moving direction of Pacific Plate and Philippine Sea Plate. Solid arrows show the convergent direction of North American Plate and Eurasian Plate.

む九州貝殻文系土器文化が繁栄しており、また九州から西日本にかけては押型文系土器文化が、東日本には貝殻条痕文系土器文化が発達していた。アカホヤ噴火以降、この九州貝殻文系土器文化は姿を消し、代わって東日本の貝殻条痕文系土器文化と朝鮮半島から南下してきた曾畑 (そばた) 式土器文化が繁栄するようになる。また、土壌中の植物珪酸体 (プラントオパール) の研究によれば、南九州ではアカホヤ噴火以降 600 年もの長期間にわたり、照葉樹林の森が復活しなかったことも明らかにされている (杉山, 2002)。

最近の日本列島では、1 万 2000 年に一回の確率で超巨大噴火が生じている。前回の超巨大噴火からすでに 7300 年が経過しているので、そろそろ超巨大噴火の発生を視野に入れてもよい時期に入ったといえるかもしれない。超巨大噴火の発生は、等間隔ではなく、頻繁に起きる活動期と静穏期に分けられる。日本列島の超巨大噴火は、11~12 万年前に 4 回、9 万年前頃に 2 回、3~4 万年前に 3 回と、特定の時期に集中する傾向があり、7300 年前に超巨大噴火が生じた現在の時期は、すでにその最新の活動期に入るという見方も不可能ではない。もし仮にこれが事実とすれば、現在の日本列島は超巨大噴火がいつ起きてもおかしくない状態に置かれていることになる。

8. おわりに

超巨大噴火が超低頻度自然災害であることは事実である。しかし一度起これば、超広域的で深刻な火山災害や、成層圏に大量に供給された大量の硫酸エアロゾルが、全地球的な地球寒冷化＝「火山の冬」をもたら

す。超巨大噴火の平均間隔が 67 万年程度である Toba 火山で、7 万 4000 年前に起きた新期 Toba Tuff と同じ規模の「スーパー噴火」がすぐに生じる可能性はきわめて低い。しかし、アメリカ合衆国西部の Yellowstone 火山では、130 万年前の超巨大噴火の次の超巨大噴火が 64 万年前であり、その休止期間は 66 万年である。前回の超巨大噴火からすでに 64 万年が経過しており、いつ次のスーパー噴火が起きてもおかしくない時期にきている。日本においても、「スーパー噴火」より規模は小さいものの、みかけ噴出量が 100 km³ を超えるような超巨大噴火が近い将来に起こる可能性を否定しきれない。超巨大噴火が地球上のどこかで明日起きたとしても、それは決して「想定外」ではない。超巨大噴火は超広域自然災害であり、一国だけの対策による問題解決はきわめて困難である。文字通り人類の生存を掛けた国際協力による対策が必要だが、残念ながらそれは現在に至るまで行われていない。次の超巨大噴火に備えて、国連などが中心となる国際的な超巨大噴火災害対策プロジェクトを、ぜひとも早急に立ち上げるべきであろう。

References

- Bluth, G. J. S., Rose, W. I., Sprod, I. E. and Krueger, A.: Stratospheric Loading of Sulfur from Explosive Eruptions, *Journal of Geology*, **105**, 671–683 (1997)
- Catchpole, A. J. W. and Faurer, M. A.: Summer Sea Ice Severity in Hudson Strait, 1751–1870, *Climate Change*, **5**, 115–139 (1983)
- Chesner, C. A., Rose, W. I., Deino, A., *et al.*: Eruptive History of Earth's Largest Quaternary Caldera (Toba, Indonesia) Clarified. *Geology*, **19**, 200–203 (1991)
- Chesner, C. A.: Petrogenesis of the Toba Tuff, Sumatra, Indonesia, *Journal of Petrology*, **39**, 397–438 (1998)
- Christiansen, R. L.: The Quaternary and Pliocene Yellowstone Plateau Volcanic Field of Wyoming, Idaho and Montana, *U.S. Geological Survey Professional Paper*, **729**, 145 (2001)
- Fisher, M., Roller, K., Kuster, M., Stockhert, B. and McConnell, V. S.: Open Fissure Mineralization at 2600m Depth in Long Valley Exploratory Well (California)—Insight into the History of the Hydrothermal System, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **127**, 347–363 (2003)
- Hansen, J., Lacis, A., Ruedy, R., *et al.*: Potential Climate Impact of the Mount Pinatubo Eruption, *Geophysical Research Letters*, **19**, 215–218 (1992)
- Hildreth, W. and Wilson, C. J. N.: Compositional Zoning of the Bishop Tuff, *Journal of Petrology*, **48**, 951–999 (2007)
- Hunsen, S., Smith, R. B. and Waite, G. P.: Evidences for Gas and Magmatic Sources beneath the Yellowstone Volcanic Field from Seismic Tomographic Imaging, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **131**, 397–410 (2004)
- Jones, G. S., Gregory, J. M., Stott, P. A., Tett, S. F. B. and Thorpe, R. B.: An AOGCM Simulation of the Climate Response to a Volcanic Super-Eruption, *Climate Dynamics*, **25**, 725–738 (2005)
- Kuwahata, M.: Age and Cultural Influence of the Kikai-Akahoya Eruption as Seen from Archaeological Material in South Kyushu, Japan, *The Quaternary Research*, **41**, 317–330 (in Japanese)
- Langway, C. C., Osada, K., Clausen, H. B., Hammer, C. U. and Shoji, H.: A 10-Century Comparison of Prominent Bipolar Volcanic Events in Ice Cores, *Journal of Geophysical Research*, **100**, 211–216 (1995)
- Legrand, M. and Delmas, R. J.: A 220-Year Continuous Record of Volcanic H₂SO₄ in the Antarctic Ice Sheet, *Nature*, **327**, 671–676 (1987)
- Machida, H. and Arai, F.: Atlas of Tephra in and around Japan (revised edition). University of Tokyo Press, 336p (2003) (in Japanese)
- Miller, D. S. and Smith, R. B.: P and S Velocity Structure of the Yellowstone Volcanic Field from Local Earthquake and Controlled Source Tomography, *Journal of Geophysical Research*, **104**, 15105–15121 (1999)
- Oppenheimer, C.: Limited Global Change Due to the Largest Known Quaternary Eruption, Toba 74kyr BP? *Quaternary Science Review*, **21**, 1593–1609 (2002)
- Oppenheimer, C.: Climatic, Environmental and Human Consequences of the Largest Known Historic Eruption: Tambora Volcano (Indonesia) 1815, *Progress in Physical Geography*, **27**, 230–259 (2003)
- Parker, D. E., Wilson, H., Jones, P. D., *et al.*: The Impact of Mount Pinatubo on World-Wide Temperatures, *International Journal of Climatology*, **16**, 487–497 (1996)
- Pyle, D. M.: Size of Volcanic Eruptions. In H. Sigurdson (ed.) *The Encyclopedia of Volcanoes*, London, Academic Press, pp. 263–269 (2000)
- Rampino, M. R. and Ambrose, S. H.: Volcanic Winter in the Garden of Eden: the Toba Supereruption and the Late Pleistocene Human Population Crash, *Geological Society of America Special Paper*, **345**, 1–12 (1999)
- Rampino, M. R. and Self, S.: Volcanic Winter and Accelerated Glaciations Following the Toba Supereruption, *Nature*, **359**, 50–52 (1992)
- Rampino, M. R. and Self, S.: Climate-Volcanic Feedback and the Toba Eruption of 74,000 Years Ago, *Quaternary Research*, **40**, 69–80 (1994)
- Rampino, M. R., Self, S. and Stothers, R. B.: Volcanic Winters, *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, **16**, 73–99 (1988)
- Robock, A.: Volcanic Eruptions and Climate, *Reviews of Geophysics*, **38**, 191–219 (2000)
- Scailliet, B., Luhr, J. F. and Carroll, M. R.: Petrologic and Volcanic Constraints on Volcanic Sulfur Emissions to the Atmosphere, *Geophysical Memoir*, **180**, 11–40 (2003)
- Self, S.: Effects of Volcanic Eruptions on the Atmosphere and Climate. In Marti, J. and Ernst, G. G. J. (eds.), *Volcanoes and the Environment*, Cambridge University Press, Cambridge, pp 152–174.
- Self, S. and Blake, S.: Consequences of Explosive Supereruptions, *Elements*, **4**, 41–46 (2008)
- Self, S., Zhao, J. X., Holasek, R. E., Torres, R. C., *et al.*: The Atmospheric Impact of the Mount Pinatubo Eruption. In Newhall, C. G. and Punongbayan (eds.), *Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo*, Philippines. Philippine Institute of Volcanology and Seismology, University of Washington Press, Seattle and London. pp. 1089–1115 (1996)
- Self, S., Gertisser, R. and Thondorson, T., *et al.*: Magma Volume, Volatile Emissions and Stratospheric Aerosols from the 1815 Eruptions of Tambora, *Geophysical Research Letters*, **31**, L20608 (2004)
- Sugiyama, S.: The Impact of the Kikai-Akahoya Explosive Eruption on Vegetation in Southern Kyushu, Japan, Clarified by Phytolith Studies, *The Quaternary Research*, **41**, 311–316 (in Japanese)
- Steck, L. K. and Prothero, W. A.: Crustal Structure beneath Long Valley Caldera from Modeling Teleseismic P Wave Polarization and Ps Converted Waves, *Journal of Geophysical Research*, **99**, 6881–6898 (1994)
- Stothers, R. B.: The Great Eruption of Tambora and Its Aftermath, *Science*, **224**, 1191–1198 (1984)
- Thompson, L. W.: A Diagnostic Aerosol Size Distribution Inferred from SAGEII Measurements, *Journal of Geophysical Research*, **96**, 501–522 (1991)
- Timmreck, C. and Graf, H. F.: The Initial Dispersal and Radiative Forcing of a Mid-Latitude Super-Eruption: a Northern Hemisphere Case Study, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, **5**, 7283–7308 (2005)
- Wilson, C. J. N.: The 26.5ka Oruanui Eruption, New Zealand: an Introduction and Overview, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **112**, 133–174 (2001)
- Zhao, J., Turco, R. P. and Toon, O. B.: A Model Simulation of Pinatubo Volcanic Aerosols in the Stratosphere, *Journal of Geophysical Research*, **100**, 7315–7328 (1996)
- Zielinski, G. A.: Stratospheric Loading and Optical Depth Estimates of Explosive Volcanism over the Last 2,100 Years Derived from the GISP2 Greenland Ice Core, *Journal of Geophysical Research*, **100**, 20937–20955 (1995)
- Zielinski, G. A., Mayewski, P. A., Meeker, L. D., *et al.*: A 110,000 Year Record of Explosive Volcanism from the GISP2 (Greenland) Ice Core, *Quaternary Research*, **45**, 109–118, (1996a)
- Zielinski, G. A., Mayewski, P. A., Meeker, L. D., *et al.*: Potential Atmospheric Impact of the Toba Mega-Eruption, *Geophysical Research Letters*, **23**, 837–840 (1996b)