

大規模火砕噴火推移時系列データ集 その1

Dataset of the time sequence of large-scale pyroclastic eruptions, No.1

下司信夫, 池上郁彦, 西原 歩

Nobuo Geshi, Fumihiko Ikegami, Ayumu Nishihara

地質調査総合センター 活断層・火山研究部門

Institute of Earthquake and Volcano Geology, Geological Survey of Japan, AIST

内容紹介

おおよそ VEI 4 より大きな火砕噴火を対象として, 中長期的前駆現象, 短期的前駆現象及び噴火発生後の推移について, 主に目撃記録に基づき取りまとめた。2019 年度は, 全世界から 12 噴火事例について噴火推移の記載情報を論文等から収集し, 長期的火山活動状況, 短期的前駆現象, および噴火推移について取りまとめた。また, 最大規模の噴火イベントを挟む前後 7 日間, 90 日間, 3 か月間および 200 年間の活動状況について, 統一的な基準に基づく噴火推移図を作成した。

Contents:

Time-sequence of pyroclastic eruptions larger than VEI 5 are compiled based on the observation records. The medium- to long-term activity, short-term precursory phenomena, and the time-evolution of the eruption sequence of 18 eruptions are compiled. The time-sequence diagrams with single format illustrate the evolution of the volcanic activities during 7-days, 90-days, 3-months and 200 years.

受理日: 2020 年 7 月 16 日

引用例

下司信夫, 池上郁彦, 西原 歩 (2020) 大規模火砕噴火推移時系列データ集. 産総研地質調査総合センター研究資料集. no. 700, 産総研地質調査総合センター, 60p.

Citation:

Geshi, N., Ikegami, F. and Nishihara, A. (2020) Dataset of the time sequence of large-scale pyroclastic eruptions, No.1. Open-File Report of the Geological Survey of Japan, AIST, no.700, 60p.

はじめに

本報告は、爆発的噴火の発生や噴火推移の予測に資するデータとして、過去に発生した大規模な爆発的噴火の長期・短期的活動状況や、噴火の時間推移の特徴をとりまとめた。データ収集の対象とした火山噴火は、国内外で発生した VEI が 4 以上の噴火のうち、日時レベルの精度で噴火推移の時系列データが収集可能なものを選び、そのうち 12 の火山噴火について情報を集約した (表 1)。信頼できる目撃記録を必要とするため、本報告で採録した 12 事例のうち、5 事例が 20 世紀後半以降、11 事例が 18 世紀以降の噴火である。

本報告では噴火推移の特徴を視覚的に表すため、統一的な基準に基づく噴火推移図 (図 1) を作成した。長期的な活動状況として、対象とする噴火の前後 200 年間の活動状況を対象に、噴火の発生タイミングや噴火規模、周辺での地震活動などの情報を 18 噴火について収集し、対象とする噴火の前後 200 年および 3 年間の噴火推移図をそれぞれの噴火について作成した。また、短期的前駆現象や噴火発生後の推移を表現するため、噴火開始前後 90 日間及び 7 日間の噴火推移図をそれぞれ作成した。また、噴火推移図のみでは表せない噴火活動を記載するため、それぞれの噴火について、長期的、短期的及び噴火推移を文章で取りまとめた。また、情報の収集に用いた代表的な文献をそれぞれの噴火ごとに取りまとめた。

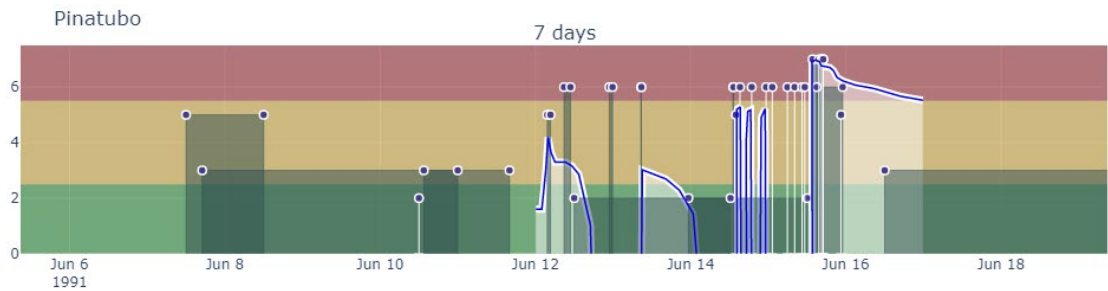


図1. 噴火推移図の例. ピナツボ火山1991年噴火の活動推移図. 縦軸は本報告で定義した噴火活動度の定性的評価指標 Volcanic Unrest Classification (VUC) であり, 緑帯部にプロットされた現象が非噴火現象, 黄が小・中規模の噴火現象, 赤が大規模噴火現象である. ピン(点と白い棒)およびボックス(点と黒い半透明矩形)で示された時刻および時間帯にその指標に該当する噴火活動があったことを示している. この図では” First large vertical eruption” (Sabit et al. 1996)が始まった6/12 8:51(現地時間)をX軸の中心原点とし, 前後7日間の活動レベルを可視化している. 6/7に再開した噴火が, 数日間低強度で続いた後に12-13日にかけて間欠的に高強度の噴火を3回繰り返し, 続いて14日午後から絶え間なく激しい噴火が続くようになり, そして15日午後にクライマックス噴火に至る様子が表現されている. 青い線は連続的な噴煙高度の変遷(Wolfe and Hoblitt, 1999)を大まかにVUCに換算し示している(後述). 詳細はピナツボ火山の噴火概要を参照.

噴火名	VEI	噴火概要	連続的データ	離散的データ
Calbuco 2015	4	本稿	-	○
Kelud 2014	4		観測	
Puyehue Cordon-Caulle 2011	5	本稿	観測	○
Grimsvotn 2011	4	本稿	観測	○
Chaiten 2008	4		-	○
Pinatubo 1991	6	本稿	観測	○
El Chichon 1982	5		-	○
有珠山 1977	3		-	○
Augustine 1976	4	本稿	-	○
Agung 1973	5		-	○
Bezymiany 1955-1956	5		-	○
Cerro Azul 1916-1932	5		-	○
北海道駒ヶ岳 1929	4		復元	
桜島大正噴火 (1914)	4	本稿	-	○
Colima 1913	4		-	○
Novarupta-Katmai 1912	6	本稿	復元	○
Santa Maria 1902	6		-	
Krakatau 1883	6	本稿	復元	○
Askja 1875	5	本稿	-	○
浅間天明噴火 (1783)	4	本稿	-	○
富士山宝永噴火 (1707)	5	本稿	復元	○
Vesuvius 79AD	5	本稿	復元	○

表 1. 調査対象とした火山噴火. 白色のものを本稿でまとめている. 灰色のものは別稿で扱う予定がある. VEI は Smithsonian Institution Global Volcanism Project (GVP) での評価による. ○は収集済みの離散的データを示す.

噴火推移レコード

活動推移図の作成に必要な時系列の噴火現象情報について、出版された論文を対象として文献調査を行い収集した。ただし2010年代の火山噴火では補完的情報としてスミソニアン博物館 Global Volcanism Project (GVP) のレポートを参照しているほか、調査対象の噴火前後200年間の噴火履歴はそれぞれ同GVP(海外の火山)と気象庁 有史以降の火山活動(国内の火山)を参照している。

収集した情報は機械判読可能なレコードとして、連続的データ(Appendix 1. Continuous シート)と離散的データ(Appendix 1. Discrete シート)の2つの表にまとめた。連続的データは原則として当該噴火のマグマ質量噴出率(MFR kg/s DRE)を用いる。20世紀以前の噴火について議論した一部の文献では、MFRは噴出物の分布や粒度、噴火の目撃記録等から復元が試みられている。一方20世紀末以降の噴火事例では、レーダーや気象衛星により得られた噴煙高度からMFRが求められていることが多い。データソースの文献中で記載された噴煙高度がMFRに換算されていない場合には、Mastin et al. (2009)のbest-fitting equation(式1)により噴煙柱高度(V km)からマグマ体積噴出率(H m³/s DRE)に換算し、更に当該噴火の代表的マグマ組成によってマグマ重量噴出率(kg/s DRE)を求めている。

$$H = 2 \cdot V^{0.241} \dots \text{式 1}$$

離散的データは爆発時刻のような点データ(point)、連続的噴火や地震活動のような時刻幅のあるデータ(span)、そして層序的に歴史記録の空白期間に起こったことが分かっている噴火やInSARによる地殻変動のような捉えた現象の発生時刻に顕著な誤差があるデータ(middle)などからなる。すべてのレコードは火山活動の強度を解釈し、指標として後述のVUCを与えている。

VUC – Volcanic Unrest Classification

爆発的噴火の時系列を可視化し比較する上で、火山の活動状態を同一の基準で一般化する必要がある。そこで本報告では、未噴火時から噴火中、歴史記録とから現代的観測データまでをシームレスに取り扱うことのできる火山活動の強度の定性的指標として、数値-1~7で表される火山活動強度指数 (Volcanic Unrest Classification (VUC)) を定義した(表 2)。VUC は未噴火状態と噴火状態を同時に扱う定性的な指標であり、あくまで火山活動の相対的変動を図示するものである (表 3)。

VUC	短い表現	典型的な現象例
-1	関係不明な特記事象	1960年チリ地震 (Mw. 9.5)
0	活動なし	目視で異常見つからず
1	ゆるやかな変状	地震活動が多めの状態
2	急激な変状	有感の群発地震の発生
3	弱い噴火	溶岩の噴出
4	小さい噴火	桜島 1954年以降の間欠的なブルカノ式噴火
5	やや大きな噴火	有珠山 1977年の散発的なサブプリニー式噴火
6	大きな噴火	Vesuvius 79AD プリニー式噴火の最盛期
7	巨大噴火	Novarupta からの VTTS 火砕流の噴出

表 2. Volcanic Unrest Classification (VUC) の分類とその現象例。

ここで定義した VUC は、時刻スケールの噴火現象について記述した特定記録・データに与えられる火山活動レベルの分類であり、VUC 1~2 は火山活動に関連する非噴火現象、VUC 3~5 は” Small to moderate eruptions” (Bonadonna et al. 2015)、6-7 は典型的なプリニー式噴火から大規模火砕流を噴出するような cataclysmic な噴火現象に対応する。火山活動に関連する現象がなかった/終了した場合は VUC 0 とし、火山活動との直接の関連はわからないが噴火推移等の理解に有用と考えられる現象については VUC -1 とした。噴火の有無と現象の定常・非定常性によって VUC 1~4 を判別する VUC 5~7 の識別は、主に噴煙高度を用いる(図 2)。各分類は±1 までには不確実性や解釈による評価揺れが容易に起こりうるが、±2 以上に乖離することは極めて考えにくいため可視化した場合に影響が少ない。VUC と他の噴火強度の指標との対応を表 4 に示す。また、VUC とマグマ質量噴出率(MFR)の関係には、 $VUC = \log_{10}(MFR) - 1.5$ の大まかな相関関係がある (図 3)。

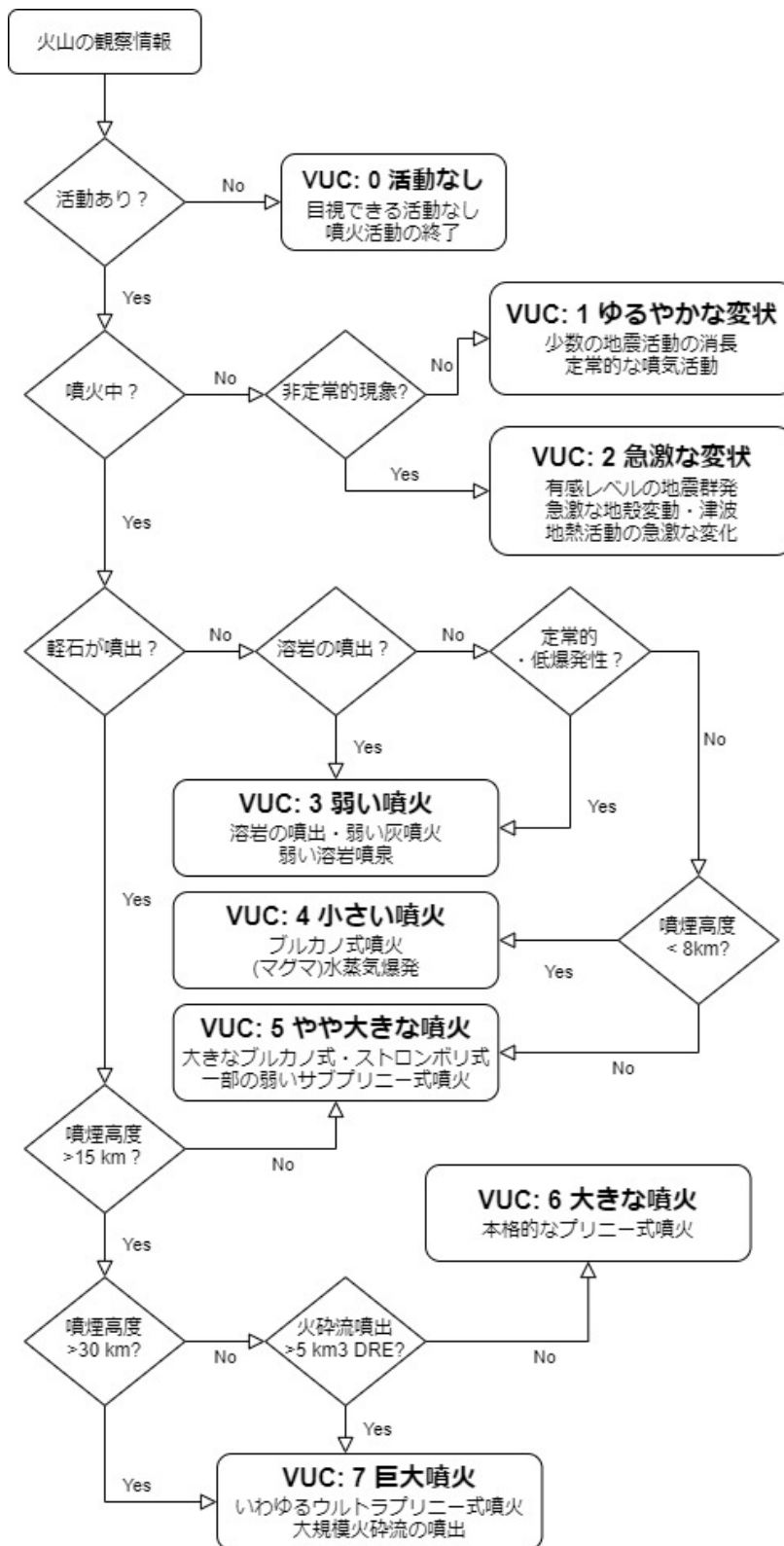


図 2. VUC の基本的な判定フローチャート. これでは分類できないものについては表 3 を参照.

VUC:-1 関係不明な特記現象

調査対象である噴火と直接的関係は不明だが、時系列を把握する上で有用、或いは未科学的関心の対象となっているような特記現象に与えられる。現在採録されているデータのうち該当するレコードは、すべて比較的近傍 (<200 km 程度)を震源として起きたと考えられる海溝型および内陸型の大きな地震である。これらの事象は活動推移図には表示されず、レコード内にのみ存在する。

VUC:0 活動なし

観察として、火山活動がみとめられなかった場合、あるいは噴火活動が一時的・永続的に停止したことをレコード上で明確にする必要がある際に与えられる。具体例としては、直接的観察による静穏である旨の記述、継続していた降灰や連続微動の停止などが該当する。

VUC:1 ゆるやかな変状

火山活動に由来する変状が見られているが、定常的・準定常的な現象で日～週単位でエスカレートする様子が見られない場合に与えられる。継続的な地熱活動による噴気、年単位での緩やかな地殻変動、火山周辺の定常的な地震活動(基本的に無感)とその緩やかな変化などが該当する。噴気活動以外は計器観測によって検知されるものであり、目撃記録からは検知困難である。

VUC:2 急激な変状

火山活動に関連する変状で、主に日単位かそれ以下の時間スケールで現象がエスカレートを示しているものに与えられる。有感地震の多発、地割れの開口、噴気活動の活発化などが含まれる典型的現象である。また>1000 t/日の SO₂ 放出、噴火と時空間的に近接した規模の大きな火山構造成地震もこれに含む。

VUC: 3 弱い噴火

火道において、毎時程度の時間スケールである程度の定常性が伴っている噴火現象に与えられる。溶岩噴出が最も典型であり、一般的な溶岩噴泉、浅いマグマヘッドからの灰噴火、暴噴状態の噴気もこれに含まれる。より強度の高い噴火と同時に起きている場合は異なるレコードとして記載される。

VUC: 4 小さな噴火

VUC:3 とは異なり爆発性が高いが、噴煙高度が 8 km を超えない状態に与えられる。水蒸気爆発やブルカノ式噴火の多くがこれに含まれる。降灰は数十 km の範囲に限られる。

VUC: 5 やや大きな噴火

爆発的噴火のうち、噴煙高度が 8-15 km、或いは噴出物に降下軽石が顕著に含まれる噴火が該当する。大気圏界面は低緯度で高く高緯度で低い傾向があり、8-15 km はそのおおよその変動範囲である。いわゆる大きいブルカノ式噴火、激しいストロンボリ式噴火と強いマグマ水蒸気爆発、そして弱いサブプリニー式噴火がこれに含まれる。

VUC: 6 大きな噴火
噴煙高度が 15 km を超えるような典型的プリニー式噴火，或いはそれ以下であってもマグマ質量噴出率が 10^7 kg/s を遙かに超えるような火砕噴火が該当する．前者の場合，噴煙柱は圏界面を完全に突破し，多量の降下軽石が堆積する．後者および前者の一部では 10 km 以上滑走する火砕流が複数ないしは全周方向に流下する．
VUC: 7 巨大噴火
噴煙高度が 30 km を超えたり，大規模火砕流(>5 km ³ DRE)が噴出したりするような現象が該当する．マグマ質量噴出率は 10^8 kg/s を超える．殆どのケースでカルデラ陥没を伴う．

表 3. VUC の詳細な区分および典型的な現象

VUC	噴煙高度 (km)	マグマ質量噴出率 (kg/s)	Volcanic Explosivity Index	Eruption Classification
0	なし	0		
1	噴気	0		
2	噴気	0		
3	0-8	$<10^6$	VEI 0-2	Small to Moderate
4	0-8	$<10^6$	VEI 2-3	
5	8-15	10^{6-7}	VEI 3-4	
6	15-30	10^{7-8}	VEI 4-5	Subplinian - Plinian
7	>30	$>10^8$	VEI 5-8	Plinian - Ultraplinian

表 4. VUC と VEI, Eruption Classification との対応関係．噴煙高度は離散的データを解釈して VUC を与える際の最も基本的なパラメータの一つである．マグマ質量噴出率は Mastin et al. (2009) により噴煙高度から求めることができ，連続的データを VUC と同時にプロットする際に用いることがある(図 3)．VEI は Newhall and Self (1982) に噴煙高度との対応関係がある．Eruption Classification はここでは Bonadonna and Costa (2013) の区分を用いている．

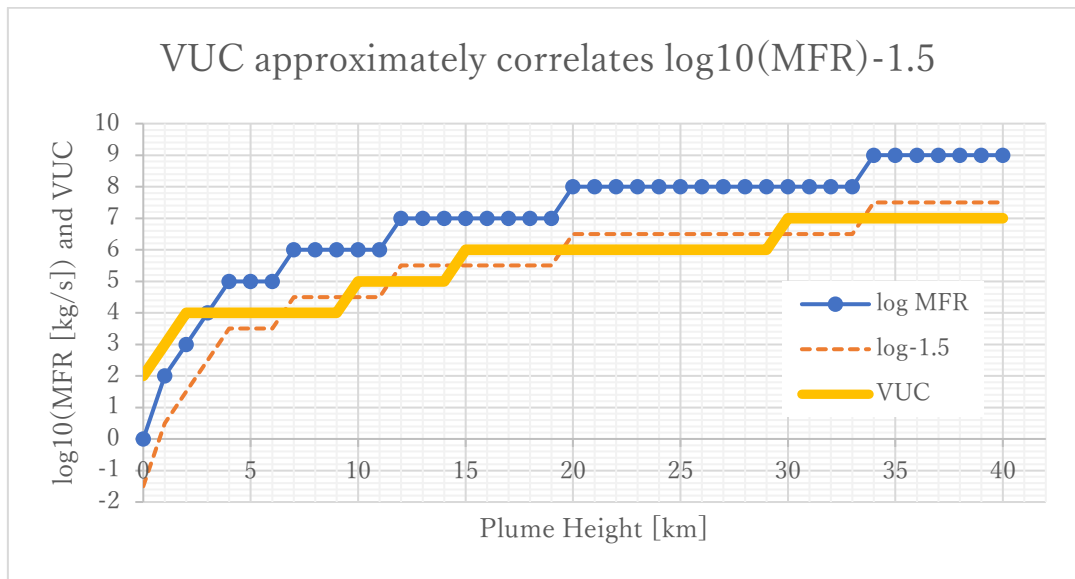


図 3. 噴煙柱高度に対する火山活動強度指数 (VUC) およびマグマ質量噴出率 (MFR) の関係。

引用文献

Bonadonna, C., Costa, A., 2013. Plume height, volume, and classification of explosive volcanic eruptions based on the Weibull function. *Bull. Volcanol.* 75, 742. <https://doi.org/10.1007/s00445-013-0742-1>

Mastin, L.G., Guffanti, M., Servranckx, R., Webley, P., Barsotti, S., Dean, K., Durant, A., Ewert, J.W., Neri, A., Rose, W.I., Schneider, D., Siebert, L., Stunder, B., Swanson, G., Tupper, A., Volentik, A., Waythomas, C.F., 2009. A multidisciplinary effort to assign realistic source parameters to models of volcanic ash-cloud transport and dispersion during eruptions. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 186, 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2009.01.008>

Newhall, C.G., Self, S., 1982. The volcanic explosivity index (VEI) an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *J. Geophys. Res.* 87, 1231-1238. <https://doi.org/10.1029/JC087iC02p01231>

噴火推移

データソースおよびコンパイル情報の構造

調査対象とした噴火について、出版された文献情報に基づきその噴火推移をまとめた。論文が未発表な 2010 年以降の一部の噴火では、スミソニアン博物館 Global Volcanism Program (GVP) の Bulletin Reports を参照し補足した。文中に登場する Volcanic Explosivity Index (VEI) の数値は同 GVP の Volcanoes of the World (VotW) データベースによる。長期では火山のテクトニクス背景や、火山全体の特徴、対象とする噴火に 1 年以上先立つ現象などに言及している。短期では対象の噴火の直前（およそ 1 年以内）現象について述べている。噴火概要では噴火開始から噴火終息までの経緯、噴出物の特徴や体積について述べている。

火山ごとに作成された活動推移図は、活動の定性的強度を縦軸、時系列を横軸にとった散布図となっている。本研究では VUC を縦軸にとり、噴火発生前後 7 日、90 日、3 年間、200 年間までの活動推移図を作成した。

個別の噴火推移

収録した噴火一覧

Calbuco 2015 年

Puyehue Cordon-Caulle 2011 年

Grímsvötn 2011 年噴火

Pinatubo 1991 年噴火

Augustine 1976 年噴火

桜島 1914 年噴火

Novarupta-Katmai 1912 年噴火

Krakatau 1883 年噴火

Askja 1875 年噴火

浅間 1783 年噴火

富士 1707 年噴火

Vesuvius 79 年噴火

Calbuco 2015 Eruption

火山名： カルブコ (Calbuco)

国： チリ

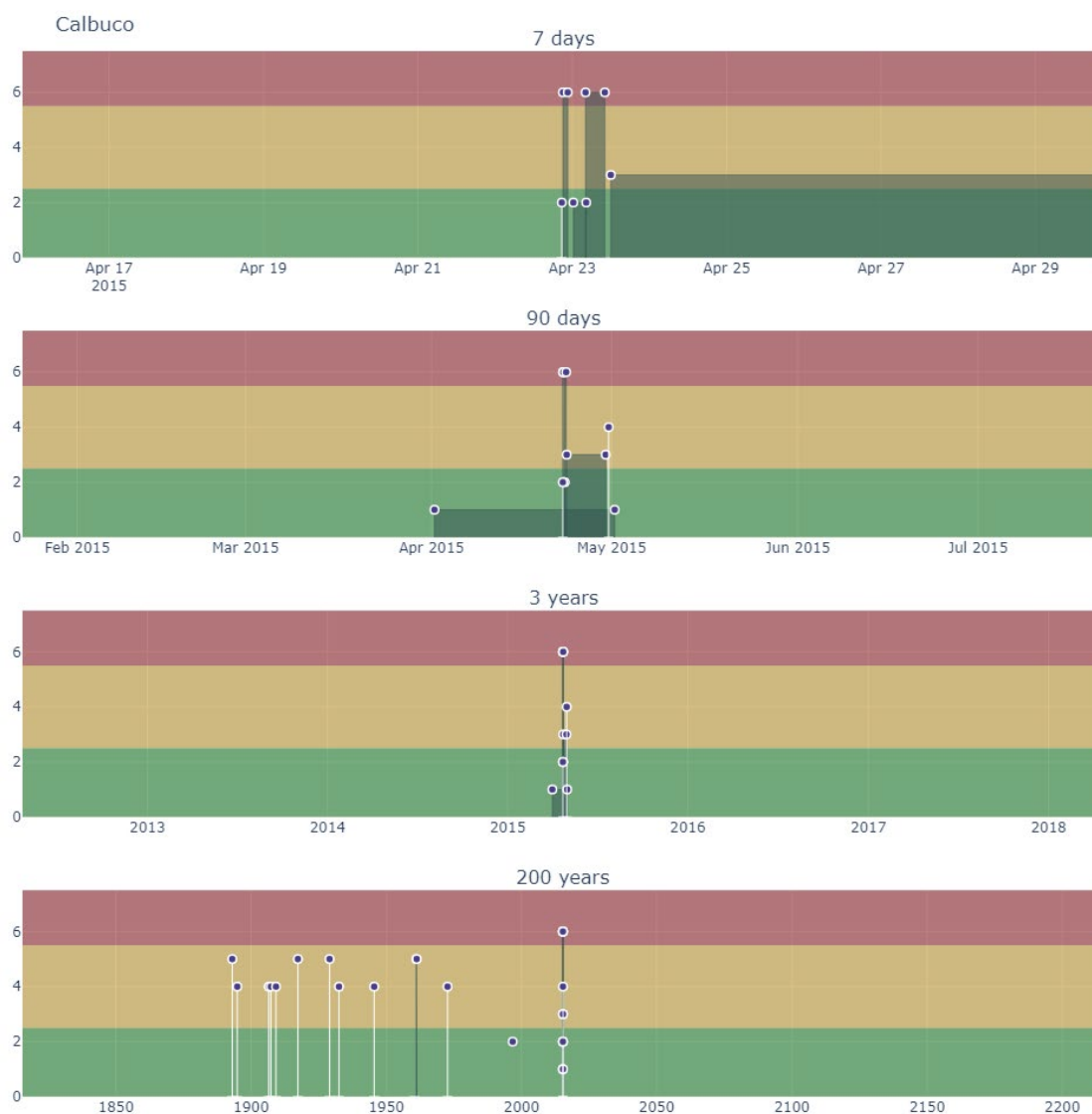
地域： アンデス南部火山帯 (Southern Volcanic Zone)

噴火開始日時： 2015 年 4 月 22 日

VEI : 4

噴出量： 0.11-0.13 km³ DRE (玄武岩質安山岩)

最高噴煙柱高度： 20 km



長期：

Calbuco 火山は、過去 30 万年間にわたって構築された成層火山体である (Selles and Moreno, 2011). Calbuco 1 火山は 34 万~11 万年前に活動し、玄武岩質安山岩を主体とし、少量の玄武岩および安山岩からなる。Calbuco2 は 11 万~1.4 万年前に活動し、安山岩からデイサイト溶岩とそれから発生したブロックアンドアッシュフローからなる。氷河の影響を受けている。少なくとも 2 回の山体崩壊が完新世に発生している。1.4 万年前の山体崩壊は、北~北東方向に開いた馬蹄形崩壊地形を形成した。この山体崩壊は 2~3km³ におよぶ岩屑なだれ堆積物を発生させ、55 km² の領域を最大 200m の厚さで覆っている。Calbuco3 (1.4 万年前以降先史時代) の活動は Calbuco2 の崩壊カルデラ内に限られ、安山岩~玄武岩質安山岩やデイサイトの溶岩を噴出し、また火砕流をともなう。Calbuco4 (歴史時代) の噴火は玄武岩質安山岩~安山岩質の塊状溶岩を噴出し、また溶岩ドームを成長させている (1893 年, 1911-12 年, 1917 年)。またブロックアンドアッシュフローや火砕流、降下テフラ、ラハールも発生している。爆発的な噴火は 1792 年以降しばしば発生している。1893 年噴火では噴煙柱高度が火口上 12 km に達する噴火が 3 回発生している (Petite-Breuilh, 1999)。2015 年噴火以前の噴火は 1960 年の M9.5 チリ地震の後の 1961 年に発生し、噴煙高度は 12-15 km に達した。火砕噴火のほか二つの溶岩流が噴出している。1961 年噴火は 3 か月継続している。1972 年の噴火はごく小規模である。1996 年には噴気活動の活発化があった。

短期：

Calbuco 火山では、2015 年に入ってから 4 月 21 日までに 147 回の地震が記録されている。地震回数は噴火のひと月前から顕著に増加した。4 月 22 日 18:11 (GMT) には、144 回の火山構造的な地震及び低周波地震が東山麓の直下で発生した。20:45 には熱異常が観測された。噴火の約 10 分前からハイブリッド地震が発生した。

噴火推移概要：

ごく短い前駆的活動ののち、21:05:55 から激しい爆発的噴火が発生し約 1.5 時間後の 22:32 まで継続した (Phase 1)。持続的な噴火に移行した。噴煙柱は火口上 15 km に達した。Phase 1 の噴出量は約 9.3×10^{10} kg、噴出率は最大 1.76×10^7 kg/s (Unit B) (J. E. Romero et al., 2015) と見積もられる。

23 日 00:20 から地震活動が活発化したのち、04:08 から二回目のより激しい爆発的噴火が発生した (Phase 2)。噴煙柱は火口上空 15 km 以上に達した。熱赤外観測によると噴煙柱頂部の温度は -68°C であり、これは海面上 18-20 km (火口上 16-18 km) に相当する。爆発的噴火は約 6 時間継続した。Phase 2 の噴出量は約 1.8×10^{11} kg、噴出率は最大 2.19×10^7 kg/s (Unit C) と見積もられる (J. E. Romero et al., 2015)。23 日午後以降噴煙柱高さは火

口上 2 km以下で持続したが、4 月 30 日には一時的に約 4 kmに達した。

一連の噴火の総噴出量は 0.11-0.13 km³ DRE である。噴出物の化学組成は玄武岩質安山岩 (SiO₂~55 重量%) である。

参考文献

Romero, J.E., Morgavi, D., Arzilli, F., Daga, R., Caselli, A., Reckziegel, F., Viramonte, J., Díaz-Alvarado, J., Polacci, M., Burton, M., Perugini, D., 2016. Eruption dynamics of the 22-23 April 2015 Calbuco Volcano (Southern Chile): Analyses of tephra fall deposits. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 317, 15-29. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2016.02.027>

Van Eaton, A.R., Amigo, Á., Bertin, D., Mastin, L.G., Giacosa, R.E., González, J., Valderrama, O., Fontijn, K., Behnke, S.A., 2016. Volcanic lightning and plume behavior reveal evolving hazards during the April 2015 eruption of Calbuco volcano, Chile. *Geophys. Res. Lett.* 43, 3563-3571. <https://doi.org/10.1002/2016GL068076>

Puyehue Cordon-Caulle 2011 Eruption

火山名： プジェウエ・コルドン・カウジェ火山群 (Puyehue Cordon-Caulle Volcanic Complex)

国： チリ

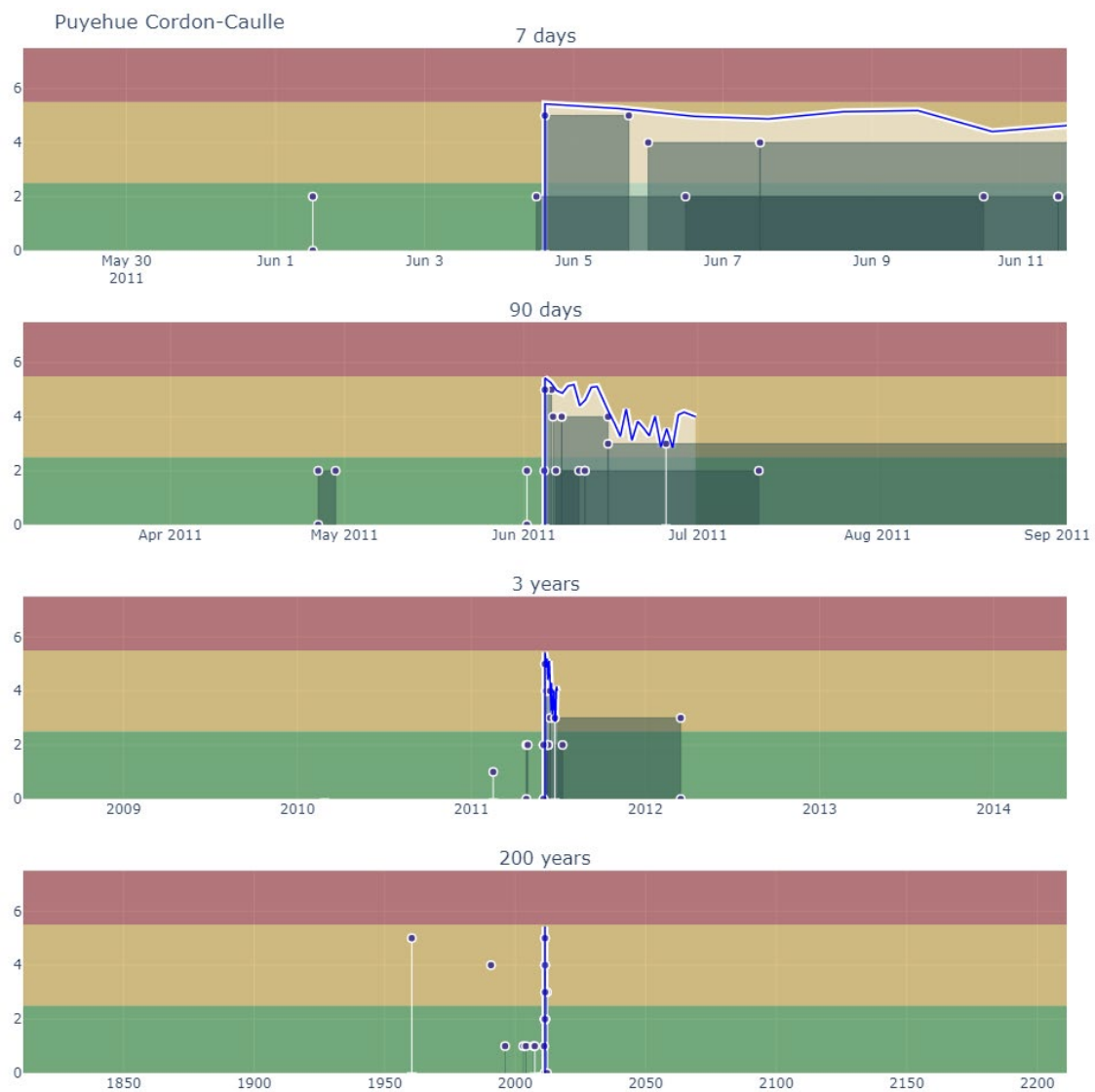
地域： アンデス南部火山帯 (Southern Volcanic Zone)

噴火開始日時： 2011年6月4日

VEI： 5

噴出量： 1 km³ DRE (流紋岩質)

最高噴煙柱高度： 13.7 km



長期的活動:

Puyehue Cordon-Caulle (PCC) 火山群は Cordillera Nevada カルデラと成層火山の Puyehue, そして両者をつなぐ長さ 9 km のグラーベン構造に噴出した珪長質単成火山群 Cordon-Caulle からなる. 活動史は Lara et al. (2006) に詳しく, 遅くとも 40 万年前には Cordillera Nevada と Cordon-Caulle 火山が山体の形成を開始し, Puyehue 火山も 24 万年前には存在したものとみられている.

Cordillera Nevada 火山は玄武岩質安山岩からデイサイト質までのマグマ組成であり, 13~7 万年前のいずれかの時点で San Pablo 火砕流 (>15 km³) を噴出, 直径 8.5 km のカルデラを形成した. カルデラ形成後も環状断層沿いに安山岩質溶岩を噴出するなどしたが, 完新世に顕著な活動を行った痕跡はない. 現在は後述の Cordon-Caulle のグラーベン構造に取り込まれている.

Puyehue 火山も同様に玄武岩質から流紋岩質まで幅広いマグマの組成レンジをもち, 現在の成層火山体は山頂に直径 2.4 km のカルデラを持つ. 山体はチリ海溝南部の沈み込み帯に沿って 1200 km にわたって南北に伸びる長大な Liquiñe-Ofqui 断層帯 (LOFZ) と重なっている. 歴史記録に噴火はないが, この山頂カルデラは 6.4 ka の年代が得られている流紋岩質溶岩を切っている. また北西側の山腹には直径 0.6 km の火口があり, 2.2 ka より新しいと考えられている.

Cordon-Caulle はデイサイトから流紋岩質のマグマを溶岩や火砕物として噴出する火山であり, Cordillera Nevada カルデラの形成と前後して遅くとも 7 万年前までには独特なグラーベン構造内部での単成火山活動を行うようになった. PCC 火山群で唯一歴史記録のある噴火を引き起こしており, 1921 年と 1960 年そして 2011 年に規模の大きい噴火があり, いずれもサブプリニーないしプリニー式噴火に始まりデイサイト~流紋岩質の溶岩流出を経て終息している. 加えて溶岩噴出はないものの, 1990 年に形成されたと推定されている小さな火砕丘も存在する. やや不確かではあるものの, 1996~99 年の干渉ペアによる InSAR 解析では 3 cm/y 程度の沈降が観測されている (Pritchard and Simons, 2004).

短期的活動 (1960) :

1960 年 5 月 21 日にチリ海溝南部で始まった地震活動は, 22 日 19:11 (UTC) に観測史上最大の M9.5 チリ地震でピークを迎えた. それから 38 時間後の 24 日 09:00 UTC 頃, Cordon-Caulle のグラーベン内に割れ目火口列が生じ, サブプリニー式噴火を開始した. この地震と噴火の関連性については未解明であるが, 噴火の時系列は Katsui and Katz (1967) および Lara et al. (2004) に述べられている.

短期的活動 (2011) :

2011 年の活動は 1921 年および 1960 年の活動と類似して (サブ) プリニー式噴火に始まり珪

長質溶岩の噴出で終息したが、火砕物と溶岩双方において噴出量がやや大きかった点、溶岩が黒曜石質の形態をとっていた点、割れ目火口ではなくほぼ単一の火口で噴出が起こった点などが異なる。なお前年2月の Mw 8.8 マウレ地震と同時期に Cordillera Nevada カルデラにおいて圧力源深さ \sim 2 km の小さな中心部の隆起と縁辺部の沈降がおきたと見られているが、Cordon-Caulle に変化はなく、熱水溜まりに関連する活動とみられる (Jay et al. 2014)。

2011 年の活動に先立ち、Cordon-Caulle は隆起傾向にあった。InSAR 解析によれば、2003–2005 年には 1 cm/y, 2004–2006 年では 3 cm/y, そして 2007–2008 年には 19.8 cm/y もの隆起がみられており (Fournier et al. 2010), その頃浅い地震も起こるようになっていた (Bertin et al. 2015)。しかしながら噴火前の隆起から推定される膨張量は 2011 噴火の噴出量より一桁以上少なかった (Jay et al. 2014)。2011 年に入ると 2 月には構造的、低周波、ハイブリッド型の地震が北部で起きるようになった。4 月末には顕著な地震活動の高まりが起き現地住民が噴気の増加を通報したが、チリ国立地質鉱山調査所 (SERNAGEOMIN) の航空調査では異常はみつからなかった。27 日の時点で震源は 4–6 km の深さに集中しており、多くがハイブリッド型地震で最大マグニチュードは M3.9 であった。地震活動は 29 日までに減少したが、5 月 4 日と 17 日にはそれぞれ Mw3.5 と 4.2 の地震が発生し続けた。6 月 1 日に地震活動は再び激しくなり、2 日には深さ 2–5 km 付近を震源に毎時 60 回に達した。SERNAGEOMIN および現地当局関係者が航空調査をしたが、この時点でも顕著な異常は見られなかった。4 日に入ると地震活動は毎時 230 回に達し、震源深さは 1–4 km と浅くなっていた。6 時間でマグニチュード 3 以上が 50 回、4 以上が 12 回と規模の大きな地震も含まれていた (Global Volcanism Program, 2011)。

Cordon-Caulle のグラーベン東部に We Pillán 火口が形成され噴火が開始したのは 6 月 4 日 14:30 ないし 14:45 (18:45 UTC) 頃であった。噴煙柱は 15:15 には 10–12 km の高度に達し (サブ) プリニー式噴火に発展した。噴煙は 4 日のうちに高度 10.7–13.7 km に達して東南東方向へ 870 km にわたって流され、5 日も噴煙柱は高度 10.7–12.2 km を維持し側方に伸びた噴煙の全長は 1778 km に達した (VAAC Buenos Aires, 2011)。噴煙柱高度からモデリングにより推定されたこの期間の質量噴出率 (MFR) はほぼ 10^7 kg/s に達した (Bonadonna et al. 2015)。Pistolesi et al. (2015) は 4 日から 5 日にかけての 24–30 h を一連の噴火のピークとし、粗粒の軽石質の噴出物からなる 0.75 km³ の Unit I をこのときの噴出物として識別した。またこの間噴煙柱は噴火開始以降少なくとも 5 回にわたって部分的崩壊を起こし、これに伴う火砕流が主に北へ流下した。5 日以降、Bonadonna et al. (2015) による推定では MFR はその後 15 日までやや減少しながらも 10^6 kg/s 以上で変動しながら推移した。6 日から 7 日にかけては風向の急激な変化があり、北北東であった 6 日には噴煙柱高度は 5.5–9.8 km, 西風であった 7 日には 5.5–9.8 km に低下した (VAAC Buenos Aires)。この風向変化と同期して Pistolesi et al. (2015) の Unit II および III がそれぞれ堆積したが、そのうち Unit II にはそれまでなかった新鮮な黒曜石質の岩片が多量に含まれており、火道の状態が変化

したことを示唆していた。7日以降の Unit III 噴出物は降下火砕物はより細粒になる一方、噴火様式がより間欠的になり弾道放出物がみられるようになった。また前後関係は不明ながら 6~11 日にかけて火口西側に潜在溶岩ドームとみられる隆起が発達し、1 ヶ月後の 7 月 6 日までに火口周辺の $\sim 12 \text{ km}^2$ にわたって最大 200 m 以上の隆起を引き起こした (Castro et al. 2016)。

溶岩は 15 日に観測された TerraSAR-X 衛星のレーダー画像に初めて登場し、その時点で既に 1 km 以上流下していた (Bertin et al. 2015)。同じ 15 日頃に火口における爆発的噴火の MFR は安定して 10^6 kg/s を下回るようになったとみられ (Bonadonna et al. 2015)、また噴出物も粗粒なものを含わず近傍のみに堆積した Unit IV に転じていた (Pistolesi et al. 2015)。溶岩の時間あたり噴出量は 25 日頃に $72.1 \pm 5.6 \text{ m}^3/\text{s}$ のピークを迎え、7 月中旬に $20 \text{ m}^3/\text{s}$ で下げ止まった (Bertin et al. 2015)。この溶岩は黒曜石質のブロック状溶岩であり、2012 年 1 月時点での先端での厚さは 30-40 m であった。噴出は 2012 年 3 月 15 日まで続いたと推測されているが、溶岩先端は 2013 年 1 月 11 日時点でも流動を続けていたことが観察されている (Tuffen et al. 2013)。最終的にこの 2011 年溶岩は 30 km 以上にわたる溶岩原を形成した。

2011 年の一連の噴火では無斑晶質な流紋岩とデイサイトの境界付近の 68-72% SiO_2 のマグマが噴出し、微量元素組成の範囲からも比較的均質なマグマだまりであったことが推定されている (Pistolesi et al. 2015)。また Castro et al. (2013) は鉄チタン酸化物温度計と水飽和条件からこれらのマグマが当初保存されていた深さを 2.5-5.0 km と推定した。噴出物の体積はテフラである Unit I が 0.75 km^3 、Unit II が 0.21 km^3 、Unit III 中の最も粗粒な K2 層が 0.05 km^3 であり、火砕流堆積物の総量が $0.08 \pm 0.01 \text{ km}^3$ 、それ以外の噴出物はそれ未満と見積もられている (Pistolesi et al. 2015)。また溶岩の総噴出量は $0.5\text{-}0.8 \text{ km}^3$ であったほか (Tuffen et al. 2013; Farquharson et al. 2015)、潜在溶岩ドームとして地下浅所で隆起を引き起こしたマグマの体積も最大 0.8 km^3 あったと見積もられている (Castro et al. 2016)。

参考文献:

Global Volcanism Program, 2011. Report on Puyehue-Cordon Caulle (Chile). In: Sennert, S K (ed.), Weekly Volcanic Activity Report. Smithsonian Institution and US Geological Survey.

Bertin, D., Lara, L.E., Basualto, D., Amigo, Á., Cardona, C., Franco, L., Gil, F., Lazo, J., 2015. High effusion rates of the Cordón Caulle 2011-2012 eruption (Southern Andes) and their relation with the quasi - harmonic tremor. *Geophys. Res. Lett.*, Prof. Pap 42, 7054-7063. <https://doi.org/10.1002/2015GL064624>

Bonadonna, C., Pistolesi, M., Cioni, R., Degruyter, W., Elissondo, M., Baumann, V., 2015. Dynamics of wind-affected volcanic plumes: The example of the 2011 Cordón

Caulle eruption, Chile. *J. Geophys. Res. [Solid Earth]* 120, 2242-2261.

<https://doi.org/10.1002/2014JB011478>

Castro, J.M., Cordonnier, B., Ian Schipper, C., Tuffen, H., Baumann, T.S., Feisel, Y., 2016. Rapid laccolith intrusion driven by explosive volcanic eruption. *Nat. Commun.* 7, 13585. <https://doi.org/10.1038/ncomms13585>

Castro, J.M., Ian Schipper, C., Mueller, S.P., Militzer, A.S., Amigo, A., Parejas, C.S., Jacob, D., 2013. Storage and eruption of near-liquidus rhyolite magma at Cordón Caulle, Chile. *Bull. Volcanol.* 75, 1-17.

<https://doi.org/10.1007/s00445-013-0702-9>

Collini, E., Osores, M.S., Folch, A., Viramonte, J.G., Villarosa, G., Salmuni, G., 2013. Volcanic ash forecast during the June 2011 Cordón Caulle eruption. *Nat. Hazards* 66, 389-412. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0492-y>

Farquharson, J.I., James, M.R., Tuffen, H., 2015. Examining rhyolite lava flow dynamics through photo-based 3D reconstructions of the 2011-2012 lava flowfield at Cordón-Caulle, Chile. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 304, 336-348.

<https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.09.004>

Jay, J., Costa, F., Pritchard, M., Lara, L., Singer, B., Herrin, J., 2014. Locating magma reservoirs using InSAR and petrology before and during the 2011-2012 Cordón Caulle silicic eruption. *Earth Planet. Sci. Lett.* 395, 254-266.

<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.03.046>

Katsui, Y., Katz, H.R., 1967. Lateral fissure eruptions in the southern Andes of Chile. *Journal of the Faculty of Science.*

Lara, L.E., Moreno, H., Naranjo, J.A., Matthews, S., Pérez de Arce, C., 2006. Magmatic evolution of the Puyehue-Cordón Caulle Volcanic Complex (40° S), Southern Andean Volcanic Zone: From shield to unusual rhyolitic fissure volcanism. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 157, 343-366.

<https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2006.04.010>

Lara, L.E., Naranjo, J.A., Moreno, H., 2004. Rhyodacitic fissure eruption in Southern Andes (Cordón Caulle; 40.5° S) after the 1960 (Mw:9.5) Chilean earthquake: a structural interpretation. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 138, 127-138. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2004.06.009>

Pistolesi, M., Cioni, R., Bonadonna, C., Elissondo, M., Baumann, V., Bertagnini, A., Chiari, L., Gonzales, R., Rosi, M., Francalanci, L., 2015. Complex dynamics of small-moderate volcanic events: the example of the 2011 rhyolitic Cordón Caulle eruption, Chile. *Bull. Volcanol.* 77. <https://doi.org/10.1007/s00445-014-0898-3>

Tuffen, H., James, M.R., Castro, J.M., Ian Schipper, C., 2013. Exceptional mobility of an advancing rhyolitic obsidian flow at Cordón Caulle volcano in Chile. Nat. Commun. 4. <https://doi.org/10.1038/ncomms3709>

Grímsvötn 2011 Eruption

火山名： グリムスヴォトン (Grímsvötn)

国： アイスランド

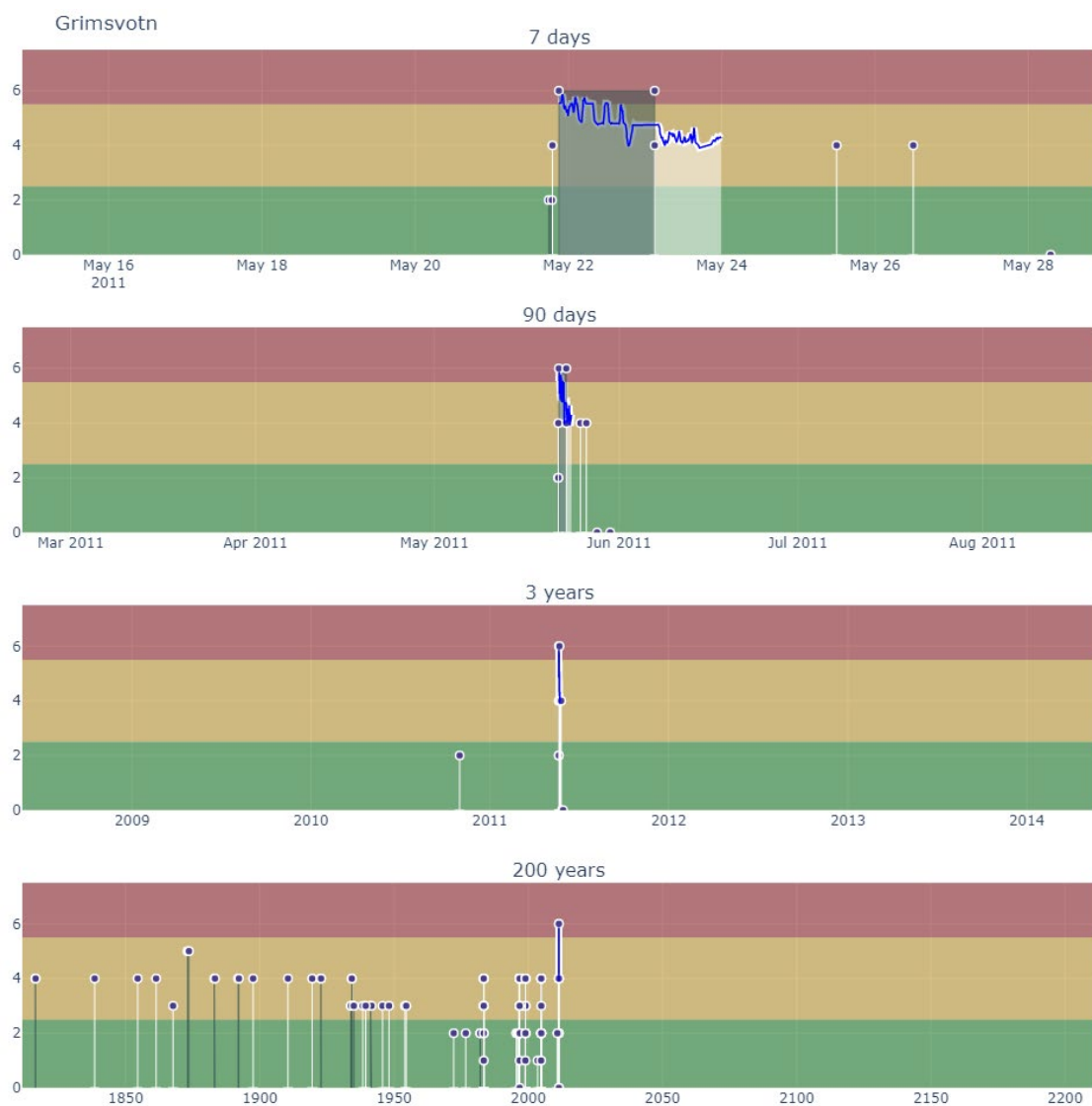
地域： 東部火山帯 (Eastern Volcanic Zone)

噴火開始日時： 2011 年 5 月 21 日

VEI : 4

噴出量： 0.2-0.3 km³ DRE (玄武岩質)

最高噴煙柱高度： 20 km



長期：

Grímsvötn はアイスランドの Eastern Volcanic Zone (EVZ) に位置する、リフトゾーンへマグマを供給している中心火山 (Central Volcano) の一つである。アイスランド・ホットスポットのマンタルプリュームの直上に位置しており、歴史時代を通じてほぼ 10 年に 1 回というアイスランドで最も高頻度で噴火してきた火山でもある (Gudmundsson, 2000)。NE-SW 方向に延びるリフトゾーンも数多くの噴火を引き起こしており、Laki 1783 年噴火が特によく知られている。山頂には直径 3-5 km、比高 200 m のカルデラが 3 つあり、地熱活動によってそれを覆っているヴァトナ氷冠 (Vatnajökull) の下に氷底湖を作り出している。この氷底カルデラ湖は、地熱活動の高まりに応じて頻繁に溢れ出しヨークルフロイプを引き起こしている (Gudmundsson et al. 2005)。カルデラ縁深さ 1-2 km 付近では微小地震活動が見られ、地震波の伝播経路から地下 3 km 付近にマグマだまりの天井があると考えられている (Alfaro et al. 2007)。非常に高いマグマ生産率 (0.01-0.11 km³/yr) があると考えられており、恒常的な cm/y オーダーの山体隆起と噴火による急激な沈降を繰り返している (Sturkell et al. 2003; Reverso et al. 2014)。

短期：

1996 年には山頂から 10 km 離れた隣接する Bardarbunga と Grímsvötn の間の氷底で Gjalp 割れ目噴火が起き、氷の中に比高 400 m のハイアロクラスタイトのリッジを形成した (Gudmundsson et al. 2002)。山頂での噴火はマグマ水蒸気噴火が多く、近年はいずれも南カルデラに E-W 走向で 1 km 程度伸びる割れ目沿いで起きている (1934, 1983, 1998, 2004 年噴火)。大規模だった 2011 年噴火も同様の割れ目沿いで起こったが、このような爆発的な噴火は 1873 年以来であった。

噴火推移概要：

2011/05/21 17:50 UTC 頃に M3.1 の地震活動が始まったが、その後微動振幅にかき消されてしまった。噴火はハーモニック微動が現れたとみられる 19:00 UTC 頃に氷底噴火として始まったと推定されているが (Hreinsdottir et al. 2014 Supplementary materials)、まもなく 200 m 以上ある氷冠を破って大気中に達した。21:00 UTC の時点で噴煙柱は 65,000 ft (20 km) に達した。火口は 2004 年噴火と同じ南カルデラ南西端であった。およそ 30 時間後、徐々に変動が落ち着いてきた傾斜計と GPS と同期して噴煙高度は 9 km 未満になった。天候が悪かった 24 日を挟んで噴煙高度は 5 km 程度になった。28 日 6:30 - 7:00 UTC にかけて微動は急激に衰え消滅した。30 日には噴火が終わっていることが現地調査により確認された (Icelandic Met Office, 2011)。一連の噴煙は 2010 年の Eyjafjallajökull の噴火をうけて国際民間航空機関の要請で設置されていたイタリア市民保護局の可搬型レーダーにより 80 km 地点から精密観測された (Marzano et al. 2013)。噴出物の総量は 0.2-0.3 km³ DRE

と推定されている (Gudmundsson et al. 2012 EGU).

文献情報

Alfaro, R., Brandsdóttir, B., Rowlands, D.P., White, R.S., Gudmundsson, M.T., 2007. Structure of the Grímsvötn central volcano under the Vatnajökull icecap, Iceland. *Geophys. J. Int.* 168, 863-876. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03238.x>

Global Volcanism Program | Report on Grimsvotn (Iceland) – November 1998 [WWW Document], n.d. URL <https://volcano.si.edu/showreport.cfm?doi=10.5479/si.GVP.BGVN199811-373010> (accessed 3.2.20).

Gumundsson, M.T., 2005. 6. Subglacial volcanic activity in Iceland, in: Caseldine, C., Russell, A., Hardardóttir, J., Knudsen, Ó. (Eds.), *Developments in Quaternary Sciences*. Elsevier, pp. 127-151. [https://doi.org/10.1016/S1571-0866\(05\)80008-9](https://doi.org/10.1016/S1571-0866(05)80008-9)

Hreinsdóttir, S., Sigmundsson, F., Roberts, M.J., Björnsson, H., Grapenthin, R., Arason, P., Árnadóttir, T., Hólmjárn, J., Geirsson, H., Bennett, R.A., Gudmundsson, M.T., Oddsson, B., Ófeigsson, B.G., Villemin, T., Jónsson, T.,

Sturkell, E., Höskuldsson, Á., Larsen, G., Thordarson, T., Óladóttir, B.A., 2014. Volcanic plume height correlated with magma-pressure change at Grímsvötn Volcano, Iceland. *Nat. Geosci.* 7, 214-218. <https://doi.org/10.1038/ngeo2044>

Marzano, F.S., Picciotti, E., Montopoli, M., Vulpiani, G., 2013. Inside Volcanic Clouds: Remote Sensing of Ash Plumes Using Microwave Weather Radars. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 94, 1567-1586. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00160.1>

Reverso, T., Vandemeulebrouck, J., Jouanne, F., Pinel, V., Villemin, T., Sturkell, E., Bascou, P., 2014. A two-magma chamber model as a source of deformation at Grímsvötn Volcano, Iceland. *J. Geophys. Res. [Solid Earth]*, chap. Analytical volcano deformation source models *Volcano Deformation* 119, 4666-4683. <https://doi.org/10.1002/2013JB010569>

Sturkell, E., Einarsson, P., Sigmundsson, F., Hreinsdóttir, S., Geirsson, H., 2003.

Deformation of Grímsvötn volcano, Iceland: 1998 eruption and subsequent inflation.
Geophys. Res. Lett. 30, 147. <https://doi.org/10.1029/2002GL016460>

Pinatubo 1991 Eruption

火山名： ピナツボ (Pinatubo)

国： フィリピン

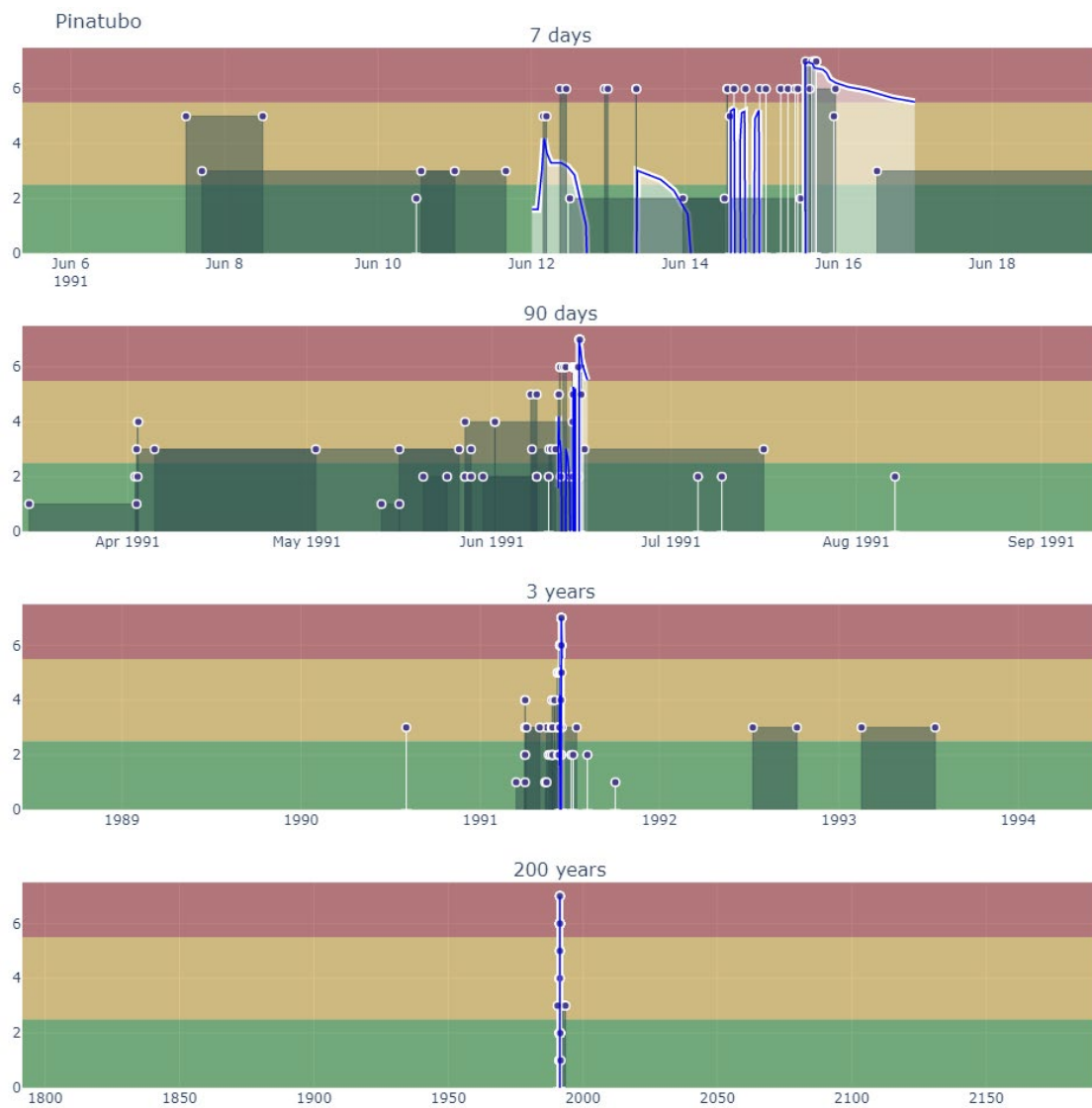
地域： ルソン弧

噴火開始日時： 1991 年 4 月 2 日

VEI : 6

噴出量： 5 km³ DRE (デイサイト質)

最高噴煙柱高度： 34 km



噴火前活動状況：

静穏。歴史噴火なし。地熱地帯あり。

長期：

Pinatubo は主に安山岩とデイサイト質のマグマ組成からなる火山群である。火山岩の古い K-Ar 年代は 1.1 Ma 頃まで遡り、35 ka 付近を境として先ピナツボ (Ancestral Pinatubo) と現ピナツボ (Modern Pinatubo) に分けられる (Newhall et al. 1996)。先ピナツボは溶岩流出を主体とする成層火山であったが、現ピナツボは 1991 年噴火のような爆発的噴火を繰り返す活動様式となっている。噴火サイクルは Inararo (>35 ¹⁴C kyr BP), Sacobia (17.35 cal. kyr BP), Pasbul (9 cal. kyr BP), Crow Valley (5.5 kyr BP), Maraunot (~3.9 kyr BP), Buag (500 yr BP) が定義されている。最も大規模なものは Inararo 火砕流であり体積は 25 km³ 程度である。1991 カルデラの外側には Tayawan カルデラと呼ばれる陥没構造が広がっており、Newhall et al. (1996) はその形成を Inararo 火砕流に対比したが、14700 ± 40 yr BP と新しい年代の湖成層が 1991 カルデラ壁面の Tayawan カルデラ充填堆積物から見つかり、おりははっきりしない。1991 年までマグマ噴火の歴史記録はなかったが、先住民の伝承に Buag 噴火サイクルと関連が疑われる内容がある (Rodolfo and Umbal, 2008)。

短期：

1988-89 年に 3 本の地熱試錐が行われたが放棄 (Delfin et al. 1996)。ピナツボの 100 km 北東を震源として 1990/7/16 M_s7.8 ルソン地震。1990/8/3 に北西の地熱地帯で地滑りがあり噴気活動の変化があった。局所的な有感地震は 3/15 ごろ開始したらしい。4/2, 水蒸気爆発の 10 時間前に地震活動が急激に増加。

噴火推移概要：

Newhall and Punongbayan (1996) に書籍として多くの情報が纏められている。この中で Hoblitt et al. (1996a) は噴火の推移を I: 3-5 月の水蒸気爆発, II: 6/1-7 に現れたマグマ噴火に先行する異常, III: 6/7-12 の溶岩ドームの誕生と成長, IV: 6/12-14 の 4 回のサブプリニー式噴火, V: 6/14-15 のクライマックス直前の噴火活動の高まり, VI: 6/15 のクライマックス, VII: 以降 9 月までかけて減衰した火山灰放出, VIII: 翌 1992 年 6-10 月の溶岩ドーム形成, の 8 つのフェーズに区分した。このうち I~III に起こった前駆的諸現象については Sabit et al. (1996) が, IV~V の火砕噴火については Hoblitt et al. (1996b), VI のクライマックスは Koyaguchi (1996) が, 気象衛星観測に関しては Holasek et al. (1996) が時系列に関して詳しい。

1991 年 4 月 2 日朝に急激に地震活動が活発になり 16 時頃水蒸気爆発。1.5 km にわたって北山腹に割れ目火孔が形成される。激しい噴気は 3 つの火孔に収束。5/16 頃から噴気に火

山灰が混じるようになり、5/27 に活発化。以降消長を繰り返しながら降灰をもたらす規模の噴火活動をするようになる。6/7 には溶岩ドームが形成を開始。6/12 にプリニー式噴火がおき、14 日までに4回の噴煙柱高度 20 km クラスの噴火を繰り返す。14 日午後から台風接近により視程悪化するが、数時間おきに山体全周方向への大規模な火砕流の流下が見られた。15 日 13:42 に激しい高周波微動と大気圧変動が始まり、噴火はクライマックス期に入る。15:40 のひまわり 4 号は頂部の高度およそ 34 km, 直径 400 km の笠雲を捉えた。17:00 頃からシグネチャは減衰に転じ、22:30 頃に概ね終了。その後噴煙高度 10 km を超えるような非常に活発な灰噴火が 1 ヶ月以上継続した。

Pinatubo 1991 噴火は全体でおよそ 5 km³ DRE のマグマが噴火したと考えられている (Wolfe and Hoblitt, 1996)。降下火砕物について、Paladio-Melosantos et al. (1996) はフェーズ IV-V のプリニー式噴火を 0.17 km³, クライマックス (VI) で 4.5-4.4 km³, その後のフェーズ VII は 0.2 km³ (いずれも bulk) と見積もった。ただし Koyaguchi (1996) は堆積物として追跡できない微細粒子が相当量噴出していることを指摘し、2-10 km³ DRE とやや大きい値を推定している。火砕流堆積物は Scott et al. (1996) が 5.5±0.5 km³ (bulk) と見積もっている。噴出したマグマは玄武岩質 (50-52% SiO₂), デイサイト質 (64.5±0.3% SiO₂), そして両者の混合によるハイブリッドな安山岩質 (59-60% SiO₂) の 3 タイプがある (Pallister et al. 1996)。フェーズ II, III, VIII はいずれも玄武岩質のインクルージョンを含む安山岩質マグマが噴出し、IV, V, VI, VII ではデイサイト質のマグマが主に噴出した。

文献情報

Holasek, R.E., Self, S., Woods, A.W., 1996. Satellite observations and interpretation of the 1991 Mount Pinatubo eruption plumes. *J. Geophys. Res.* 101, 27635-27655. <https://doi.org/10.1029/96JB01179>

Newhall, C.G., Punongbayan, R., 1996. Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines. Philippine Institute of Volcanology and Seismology.

Scott, W.E., Hoblitt, R.P., Torres, R.C., Self, S., Martinez, M.M.L., Nillos, T., 1996. Pyroclastic flows of the June 15, 1991, climactic eruption of Mount Pinatubo. *Fire and Mud: eruptions and lahars of Mount Pinatubo, Philippines* 545-570.

Rodolfo, K.S., Umbal, J.V., 2008. A prehistoric lahar-dammed lake and eruption of Mount Pinatubo described in a Philippine aborigine legend. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 176, 432-437. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.01.030>

Tanaka, S., Sugimura, T., Harada, T., Tanaka, M., 1991. Satellite Observation of

the Diffusion of Pinatubo Volcanic Dust to the Stratosphere. *Journal of the Remote Sensing Society of Japan* 11, 529-537. <https://doi.org/10.11440/rssj1981.11.529>

Wolfe, E.W., Hoblitt, R.P., 1996. Overview of the eruptions, in: FIRE AND MUD: ERUPTIONS AND LAHARS OF MOUNT PINATUBO, PHILIPPINES.

Augustine 1976 Eruption

火山名： Augustine (Chonobora)

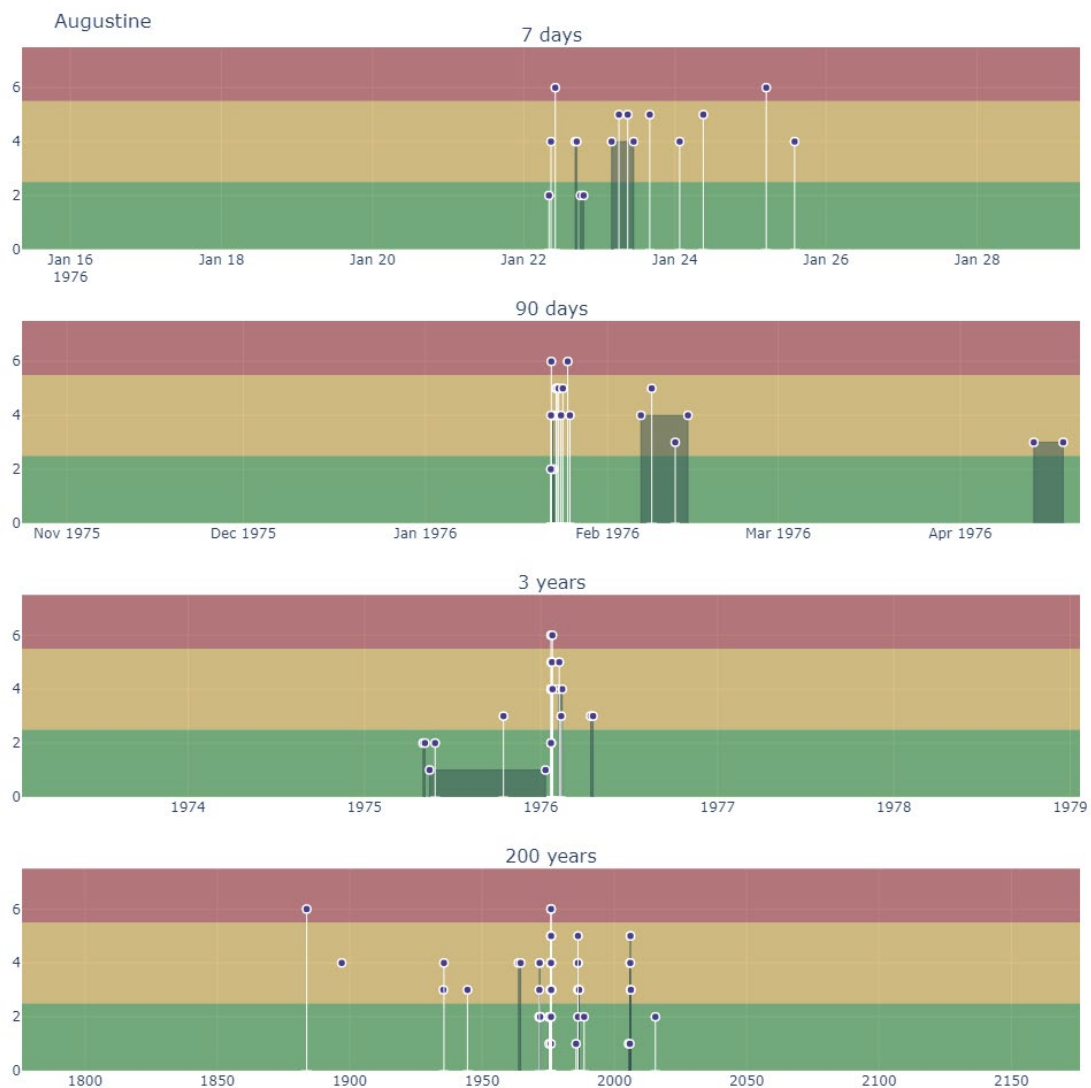
国： アメリカ合衆国 アラスカ州

地域： アリューシャン弧 アラスカ半島

噴火開始日時： 1976 年 1 月 22 日

VEI : 4

噴出量： 0.39 km³ DRE (安山岩質)



長期：

Augustine は最終氷期以降に活動を開始したとみられる成層火山である。山体は中心火道からたびたび噴出した溶岩ドームと、その崩壊物及び噴出した火砕物からなる斜面からなっている。マグマ組成は安山岩～デイサイト質であり、高い斑晶割合と流紋岩質の石基を特徴とする。僻地であるため 19 世紀以前は歴史記録に乏しいが、記録のある限り現在に至るまで頻繁に溶岩ドームの破壊と形成を繰り返している。1883 年の噴火は山体崩壊とそれによる津波を伴う大規模なものだった。

短期：

5 年前、1971 年に噴火があったが、古い文献では 76 年噴火以前は 12 年の休眠期にあったと書かれ見過ごされていることがある (e. g. Kienle and Shaw, 1979; Kamata et al. 1991)。これは地震計が 1970 年に島内に設置されてから最初の顕著な火山活動であった (Power and Lalla, 2010)。8/30 から 9/6 まで激しい火山構造的な地震の群発活動があった。9/3 には山体東側から激しい噴気が起きている様子が目撃された。10/7 23:00 - 10/8 1:00 (AKDT: UTC-8) に火山性微動が観測され、同じ頃 38 km 離れた洋上の漁船が山頂の赤熱と降灰を目撃した。11/28-30 と 12/19-21 にも以前のものより小さな群発地震活動があった。

1976 年噴火に対しては、先行して 1975 年の 5/2-6 と 5/27 頃に火山構造的な地震が群発した。5/27 以降、9/14、11 月末と定常的な地震活動が段階的に高まっていたが、12 月に島内の複数の地震計が故障してしまったため以降は遠隔地の地震計観測による。10 月の観察では噴気活動が高まっていた。

噴火推移概要：

噴火は 1976 年 1 月 22 日から数日続いた最初の爆発的噴火活動、2/6 に再開し 1 週間弱続いた 2 回目の爆発的噴火活動、そして 2/12 以降に成長した溶岩ドームの形成活動に分けられる。文献により時刻の誤植および時差の計算ミスに伴う混乱が多数あるが、本文では断りのない限り Kienle and Shaw (1979) の Fig. 3 を信頼し、現地時刻として文献に多く登場するが現在は用いられない AST (Alaska Standard Time UTC-10) で表記する。僻地であるため目撃された現象に乏しく、遠地における地震計とインフラサウンドの観測に依っている部分が多い。

最初の爆発的噴火活動は Kienle and Shaw (1979) に詳しい。まず 8 時頃に短い微動、続いてインフラサウンド (可聴域未満の大気中音波) が観測された。10 時頃レーダーに高度 14 km の噴煙が現れ、その後 14:30 に Augustine の西 200 km 高度 9 km を飛行していた 2 機の F-4E 戦闘機が噴煙に突入して軽い損傷を受けた。16:19 にも噴火があり、噴煙が上昇、圏界面に到達して広がる経過が撮影された。18 時頃に顕著な地震活動があり、翌 23 日 4 時頃から顕著な微動、続いてインフラサウンドが観測され、噴煙高度 10 km クラスの噴火を 25 日まで

繰り返した。25日の14時には高度10 kmを飛行中のJAL貨物機が火山灰に入り損傷している。一連の噴火は1935と1964溶岩ドームの間の新火口で発生し、これらのドームを破壊した。

2回目の爆発的噴火活動については Reeder and Lahr (1987)に詳しい。噴火は2/6 15:44 (14:44 AKST)頃に始まったとみられ、間欠的に14日頃まで続いた。2/8が最盛期であったが噴煙柱高度は7 kmにとどまり、1回目の活動よりは弱かったとみられる (Stith et al. 1978)。2/12日に溶岩ドームが目撃されているが、その後活動は静穏化する。本格的に溶岩ドームが成長したのは4/13-18に活動が再開したときとみられ、ブロックアンドアッシュフローに特徴的な地震計シグナルが多数観測された。

1976年噴火の噴出物は0.39 km³の60-62% SiO₂の安山岩質であった (Swanson and Kienle, 1988)。噴火初期のやや大きな爆発的噴火による堆積物は専ら火山灰と火砕流堆積物からなるが、一連の噴出物の上位には軽石層があり Kamata et al. (1991)はこれを1/25 5時頃の噴火に対応させている。

文献情報

Kamata, H., Johnston, D.A., Waitt, R.B., 1991. Stratigraphy, chronology, and character of the 1976 pyroclastic eruption of Augustine volcano, Alaska. *Bull. Volcanol.* 53, 407-419. <https://doi.org/10.1007/BF00258182>

Kienle, J., Shaw, G.E., 1979. Plume dynamics, thermal energy and long-distance transport of vulcanian eruption clouds from Augustine Volcano, Alaska. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 6, 139-164. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(79\)90051-9](https://doi.org/10.1016/0377-0273(79)90051-9)

Power, J.A., Lalla, D.J., 2010. Seismic Observations of Augustine Volcano, 1970-2007, in: John A. Power, Michelle L. Coombs, Jeffrey T. Freymueller (Ed.), *The 2006 Eruption of Augustine Volcano, Alaska.*

Power, J.A., Nye, C.J., Coombs, M.L., Wessels, R.L., Cervelli, P.F., Dehn, J., Wallace, K.L., Freymueller, J.T., Doukas, M.P., 2006. The reawakening of Alaska's Augustine volcano. *Eos Trans. AGU* 87, 373. <https://doi.org/10.1029/2006E0370002>

Reeder, J.W., Lahr, J.C., 1987. *Seismological Aspects of the 1976 Eruptions of Augustine Volcano, Alaska.* U.S. Government Printing Office.

Stith, J.L., Hobbs, P.V., Radke, L.F., 1978. Airborne particle and gas measurements in the emissions from six volcanoes. *J. Geophys. Res.* 83, 4009.

<https://doi.org/10.1029/JC083iC08p04009>

Swanson, S. E., Kienle, J., 1988. The 1986 Eruption of Mount St. Augustine: Field Test of a Hazard Evaluation. *J. Geophys. Res.* 93, 4500-4520.

<https://doi.org/10.1029/JB093iB05p04500>

桜島大正噴火 (Aira 1914 Eruption)

火山名： 桜島, 始良カルデラ

国： 日本

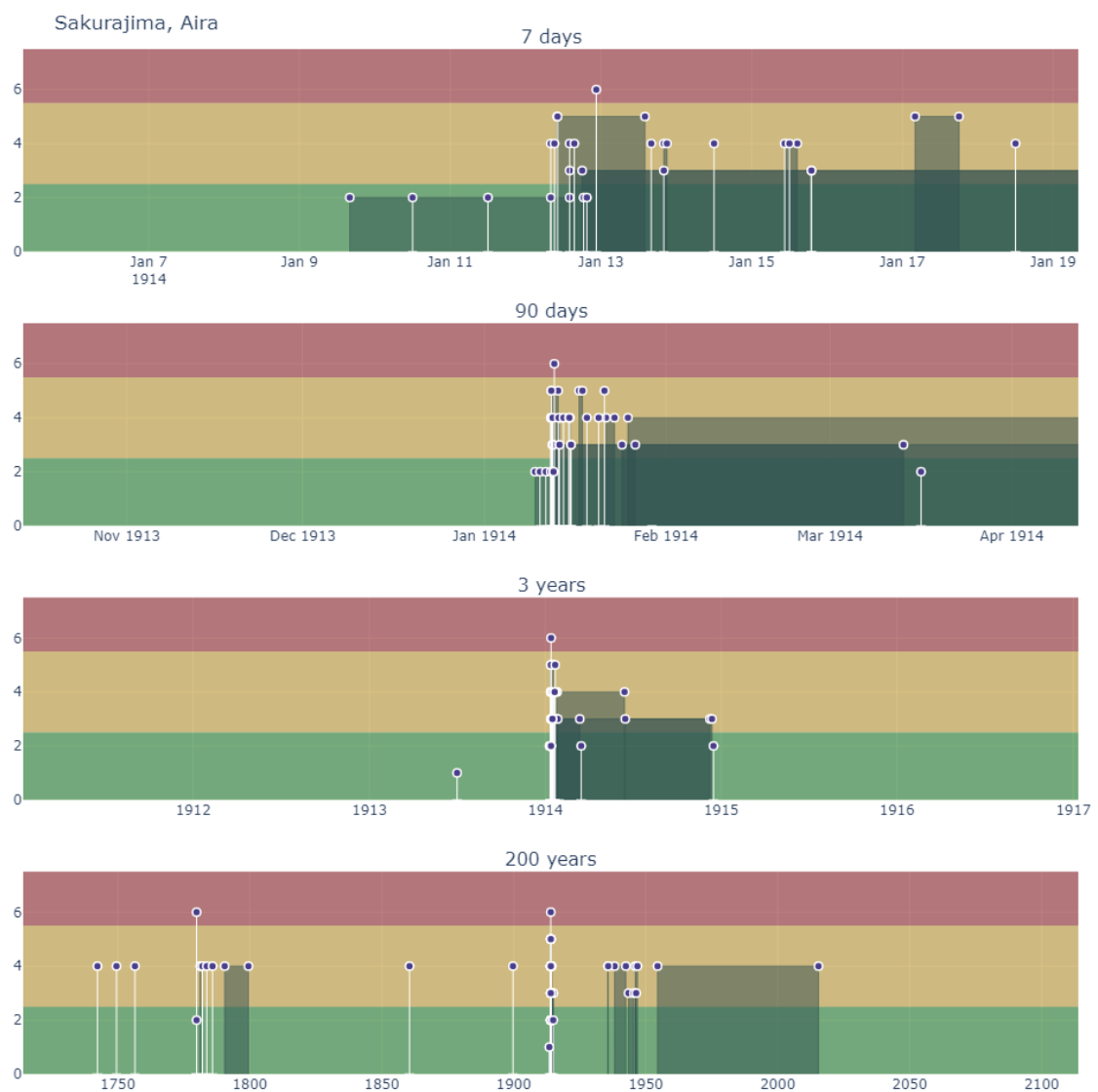
地域： 鹿児島地溝・琉球弧北端

噴火開始日時： 1914年1月12日

VEI： 4

噴出量： 0.6 km³ bulk 火砕物と 1.34 km³ 溶岩 (安山岩質)

最高噴煙柱高度： >10 km 東西両側



長期：

1779年～1783年にかけて発生した安永噴火では、桜島の南及び北山腹から準プリニー式噴火が発生し、両山麓に溶岩流が流下したほか、桜島北東沖での噴火活動では海底下へのマグマ貫入が発生し、激しいマグマ水蒸気爆発を頻発したほか、海底の隆起により「安永諸島」が形成された。安永噴火以降噴火活動は低調で、特に19世紀間には数回のごく小規模な噴火が記録されているのみである。

短期：

1913年7月、桜島南東麓の有村で噴出した二酸化炭素による酸欠死亡事故が発生した。1913年11月以降、桜島島内で有感地震が記録されている。12月ごろから桜島島内のほぼ全域で井戸水の異常（濁水）が認められた。

噴火直前の現象としては、1月11日午前3時ごろから火山性地震が群発しはじめた。群発地震開始から約15時間は無感地震が多いが、11日18時以降は地震の規模が大きくなったため有感地震が増加した。噴火直前（12日午前6時以降）は有感地震が減少した（宇平，1994）。噴火当日（12日）早朝には、南東山麓の脇や有村海岸の地温が上昇し、また海中に熱水が噴出した。また、井戸水の水位上昇が発生した。

噴火の1914年1月12日8時頃に桜島の複数箇所から白煙の上昇が目撃されている。

噴火推移概要：

時系列は安井ほか(2006)に詳しい。ただし桜島の東西で同時進行した活動のうち、当初風下であったことや鹿児島市から遠く記録が少ないために東側での活動推移は不明な点が多い。

10時05分頃に桜島西山腹の標高350m付近から、10時10分頃に南東山腹の標高400m付近から噴火が開始した。噴火の強度は午前11時ごろから増大し、鹿児島市内でも強い空振が感じられた。プリニー式噴火～準プリニー式噴火は13日16時頃に軽石の降下が終了するまでの30時間程度継続したとみられるが、安井ほか(2007)は東側では西側より早く終了したとしている。11日14時頃には地震活動は低下したが、18時29分には桜島西沖でM7.1の地震が発生した。また19:30頃には鹿児島市沿岸に小津波が押し寄せた。溶岩の噴出は、プリニー式噴火が起こっている最中の12日午後から13日朝にかけて両火口で始まったとみられている。プリニー式噴火終了後も両側の火口群は間欠的に大きな爆発的噴火を繰り返し、溶岩の噴出も継続した。13日夜の西側では規模の大きな火砕流が発生した。17日の西側からのものは鹿児島市が真っ暗になるほどであった。21日頃の東側からの噴火では少量の軽石が大隅半島に降下した。24日頃から西側でのブルカノ式噴火活動は低調になり、

27 日頃には溶岩の流出も止まったとみられる。東側での活動ははるかに長く続き、6 月頃まで薩摩半島や大隅南部へ降灰をもたらすような噴火をたびたび繰り返した。溶岩はデルタを形成し海峡を埋め立て、1 月 29 日に大隅半島に達した。噴出はその後少なくとも 12 月頃まで続いたとみられ、周辺地域や海底に広がった。翌 1915 年半ばまでは溶岩の流動が続いたが、噴出が停止した後での現象の可能性もある。

安井ほか(2007)は一連の噴火を、12 日 10 時から 13 日夜までの噴火最盛期のステージ 1、14 日から約 2 週間続いた両側山腹からの溶岩噴出のステージ 2、その後東側のみで終年続いた弱い溶岩噴出活動をステージ 3 と区分した。なおステージ 2 および 3 には噴出火口における間欠的な大小の爆発的噴火活動が含まれるほか、各ステージには明瞭な休止期はない。噴出したマグマは SiO_2 59–63%の安山岩質であり、降下軽石の体積が 0.6 km^3 (Kobayashi et al. 1988)、西側の溶岩が 0.25 km^3 で東側が 1.09 km^3 (石原ほか, 1981)と見積もられている。

文献情報

井口正人・為栗健・平林順一・中道治久, 2019, マグマ貫入速度による桜島火山における噴火事象分岐論理. 火山, 64, 33–51.

KOBAYASHI, Tetsuo, 2009. Origin of New Islets (An-ei islets) Formed During the An-ei Eruption (1779–1782) of Sakurajima Volcano, Southern Kyushu, Japan. Bull. Volcanol. Soc. Jpn. 54, 1–13.

宇平幸一, 1994, 大正噴火以後の桜島の活動史. 験震時報 58, 49–58

安井真也, 高橋正樹, 石原和弘, 味喜大介, 2007. 桜島火山大正噴火の噴火様式とその時間変化. 火山 52, 161–186. https://doi.org/10.18940/kazan.52.3_161

安井真也, 高橋正樹, 石原和弘, 味喜大介, 2006. 桜島火山大正噴火の記録. 日大文理自然科学研究所紀要 (Proc. Inst. Natl. Sci., Nihon Univ.) 41, 75–107.

Novarupta-Katmai 1912 eruption

火山名： カトマイ火山群 (Katmai Volcano Cluster)

国： アメリカ合衆国 アラスカ州

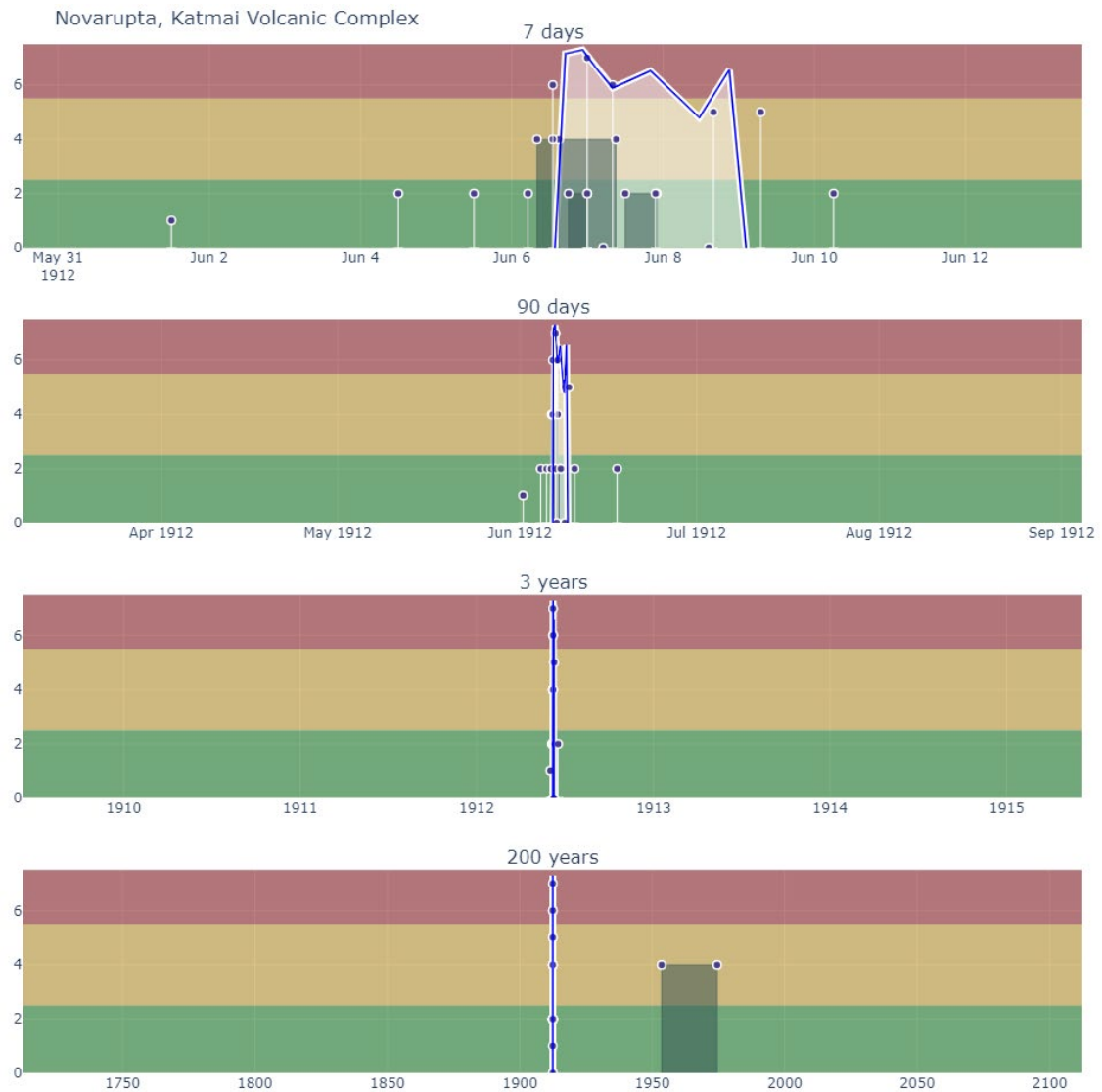
地域： アリューシャン弧 アラスカ半島

噴火開始日時： 1912年6月6日

VEI： 6

噴出量： 13.5 km³ DRE (流紋岩質)

最高噴煙柱高度： ? km



長期的活動:

カトマイ火山群(Katmai Volcano Cluster)はアラスカ半島の付け根に位置する火山群である。アリューシャン沈み込み帯の火山フロントに位置しており、背弧側の裾野は大規模な横ずれ断層である Bruin Bay 断層帯に規制されている。火山群は西北西から東南東方向に 20 km あまりの距離に密集した噴出中心からなる。地理的には Katmai, Trident 火山群, Mageik, Martin などの火山体が知られているが、これらの名称は火山学上の噴出中心とは十分に対応しない。加えてこの火山列から 10 km 程度北側には成層火山体の Griggs が位置している。いずれも安山岩~デイサイト質のマグマ組成を主体とした火山であり、Katmai 以外の火山は 1912 年噴火の主体である流紋岩質マグマを噴出したことがない。

短期的活動:

僻地であるため、1912 年以前の噴火は記録されていない。1912 年以降も、確実な噴火は 1953 年から 21 年間にわたって Trident 火山群で起こった間欠的なブルカノ式噴火のみである。

噴火推移概要

爆発的噴火としては 20 世紀最大の噴出量(13.5 km³ DRE)の噴火であった。僻地であるため当時の記録は極めて限られているが、Hildreth and Fierstein (2012)が噴出物の観察結果を中心に噴火の背景および時系列を非常に詳細にまとめている。地震活動については Abe (1992)が 50 個の地震の時刻と規模を決定しているが、当時の地震計網の感度の限界から M5.5 以下のものは十分に検知できていない。

この噴火では Novarupta と呼ばれるじょうご型構造の火口が新規に形成され、24 時間のうちに 6 km³ DRE の大規模な火砕流が噴出し、溶結凝灰岩で埋め立てられた”Valley of Ten Thousand Smokes (VTTS)”を形成した。これと平行あるいはやや遅れて Novarupta から約 10 km 離れた場所にあった連峰の Katmai 頂部が激しい水蒸気爆発を伴いながら 1000 m あまり陥没した。複数の系統のマグマが噴出したことも特徴で、噴火当初では流紋岩質(77% SiO₂)だがその後デイサイト質(63-69% SiO₂)および安山岩質(58-63% SiO₂)の噴出物の割合が増加する。最終的に Novarupta 火口には溶岩ドームが形成された。

参考文献

Hildreth, W., Fierstein, J., 2012. The Novarupta-Katmai Eruption of 1912: Largest Eruption of the Twentieth Century : Centennial Perspectives. U.S. Geological Survey.

Krakatau 1883 Eruption

火山名： クラカタウ (Krakatau; Krakatau Group; 不正確だが普及した英語表記: Krakatoa)

国： インドネシア

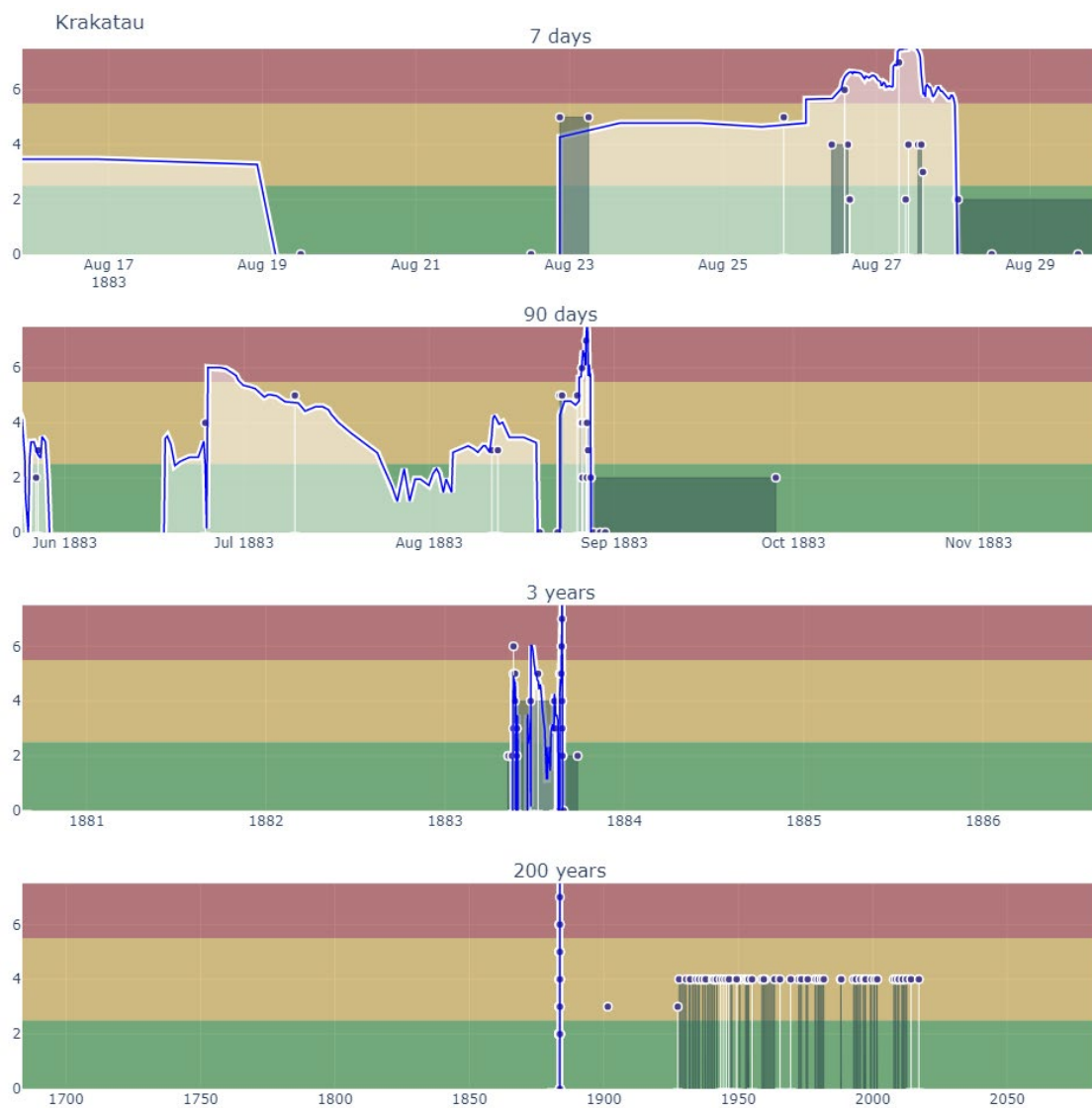
地域： スンダ海峡

噴火開始日時： 1883 年 5 月 19 日

VEI : 6

噴出量： 9 km³ DRE (デイサイト質)

最高噴煙柱高度： >40 km



長期：

Krakatau はスマトラ島とジャワ島の間、スンダ海峡にあるカルデラ火山である。スンダ海峡にはインド洋プレートの斜め沈み込みによる Sumatra sliver の南東端が存在し、スマトラ島を貫く The Great Sumatra fault が pull-apart basin を伴いながら海溝側へステップし Mentawai fault に合流している。Krakatau はこの pull-apart basin の東縁に位置している。Susilohadi et al. (2009) は Krakatau の南側で南北に延びる完全に埋積された堆積盆 (Krakatau Graben) を見出しており、これがカルデラ直下を通っている可能性がある。

1883 年噴火前時点の旧クラカタウ島は、北から Perbuwatan (標高~120 m)、Danan (445 m)、そして最も大きな Rakata (813 m) の連続した 3 つの火山体からなっていた。これらは後述の 1883 年噴火で破壊され、Rakata の山体の一部が滑落崖を残して残るのみである。北西には Sertung (別名 Verlaten)、北東には Panjang (別名 Lang / Rakata Kecil / Krakatau Kecil) という細長い島があり、どちらも 1883 噴火を生き延びた。両島は先クラカタウのカルデラ外輪山とする見方があるがはっきりしない。1883 年以降 Perbuwatan と Danan があつた付近に新島として Anak Krakatau が形成された。Anak Krakatau は 1883 カルデラ縁という重力的に不安定な場所で標高 338 m にまで成長したが、2018 年に山体崩壊とプリニー式噴火を起こし 110 m まで低下した。

1883 年噴火で旧クラカタウ島の大部分が失われてしまったため、それ以前の噴火史についての情報は極めて乏しい。Abdurrachman et al. (2018) は Stehn (1929) を元に、Sertung および Panjang 島にみられるデイサイト質溶岩は先史時代の 416 年頃の活動によるものだとしている。1200 年頃、Rakata が活発に溶岩を噴出し成長した。続いて Danan・Perbuwatan も溶岩を噴出していたようである。1680 年 5 月には地震・雷鳴・硫黄の匂い・漂流軽石が記録されている。

短期：

Simkin & Fiske (1983) が当時の記録を時系列に詳細にまとめており、また Self (1992) が火山学的な解釈を与えた推移図を描いている。1880/09/01 に、スンダ海峡付近で大きな地震があり、オーストラリアでも有感になった。1883 年は、5 月に入って噴火開始に先立って複数回の有感地震の増加があった。5/20 にプリニー式噴火があり、その後噴火活動が消長しながら 8 月のクライマックスを迎えた。

5/19 に航行中の船が煙と湯気を目撃。5/20 未明から午前にかけてプリニー式噴火が起こった。以降間欠的な爆発を繰り返す。27 日にクラカタウ島に上陸した Schuurman らが噴火する Perbuwatan の写真を撮影し、それがカルデラ形成前のクラカタウ島を写した唯一の写真である。このとき山麓では 30 cm の明色の軽石層を 60 cm の灰色の火山灰が覆っており、それぞれデイサイト質と玄武岩質であった。それ以降の島の情報は少ない。6/24 に Perbuwatan の山頂が失われているとの報告。この後大気異常現象の記録が多い。7/9 にス

ンダ海峡を通過した船が 1380 km にわたって漂流軽石の中を航行し、その後同様の報告多数。Self (1992)は噴煙柱高度 20 km クラスの噴火があったと推測している。8/11 に Ferzenaar が Krakatau を調査し、部分的な地形図を描いている。このとき Danan が噴気を上げていたほか、島の各所から蒸気が上がっていた。8/12 には島北岸で、海水準より数 m 高い場所に火口が形成されて 3.4 km まで噴煙が上がっているのが目撃された。8/19-22 は噴火停止していたらしい。

噴火推移概要：

8/22 夜に航行中の船から噴煙柱と火山雷が目撃され、翌日にかけて周辺の船に激しく砂と灰が降下した。25 日には 80 km NNW の Telok Betong に灰と軽石が降った。26 日には 100 km 以上離れた Batavia(ジャカルタ)に弱い降灰があった。

8/26 13:00 に 100 km 弱離れたジャカルタで降灰。14:00 に 120 km 離れた船から観測された噴煙柱高度は 26 km に達し、Self (1992)はこれを Climactic Phase I とした。15:30 頃から爆発音と津波が頻発するようになる。噴火は翌 27 日朝にエスカレートし、Self (1992)は 7:00 時点での噴煙柱高度は 40 km 以上と推定した (Climactic Phase II)。いずれかの時点で洋上をわたった火砕流が 60 km 離れた Lampong Bay に到達。9:58, 最大の爆発音。同じ頃最大規模の津波が発生。14:30 頃爆発音が聞こえなくなる。28 日 1:00 頃降灰終了。有感地震は 9 月末まで続いた。クライマックスの噴出物はデイサイト質であり、非常に大まかな見積もりであるものの 16 km³の大規模火砕流堆積物と 12 km³の降下火砕物からなる。

文献情報

Abdurrachman, M., Widiyantoro, S., Priadi, B., Ismail, T., 2018. Geochemistry and Structure of Krakatoa Volcano in the Sunda Strait, Indonesia. *Geosci. J.* 8, 111. <https://doi.org/10.3390/geosciences8040111>

Sigurdsson, H., Carey, S., Mandeville, C., Bronto, S., 1991. Pyroclastic flows of the 1883 Krakatau eruption. *Eos Trans. AGU* 72, 377-377. <https://doi.org/10.1029/90E000286>

Self, S., 1992. Krakatau revisited: The course of events and interpretation of the 1883 eruption. *GeoJournal* 28, 109-121. <https://doi.org/10.1007/BF00177223>

Simkin, T., Fiske, R.S., 1983. Krakatau, 1883--the volcanic eruption and its effects. Smithsonian Institution Press.

Susilohadi, S., Gaedicke, C., Djajadihardja, Y., 2009. Structures and sedimentary

deposition in the Sunda Strait, Indonesia. *Tectonophysics* 467, 55-71.
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.12.015>

Askja 1875 Eruption

火山名： アスキヤ (Askja)

国： アイスランド

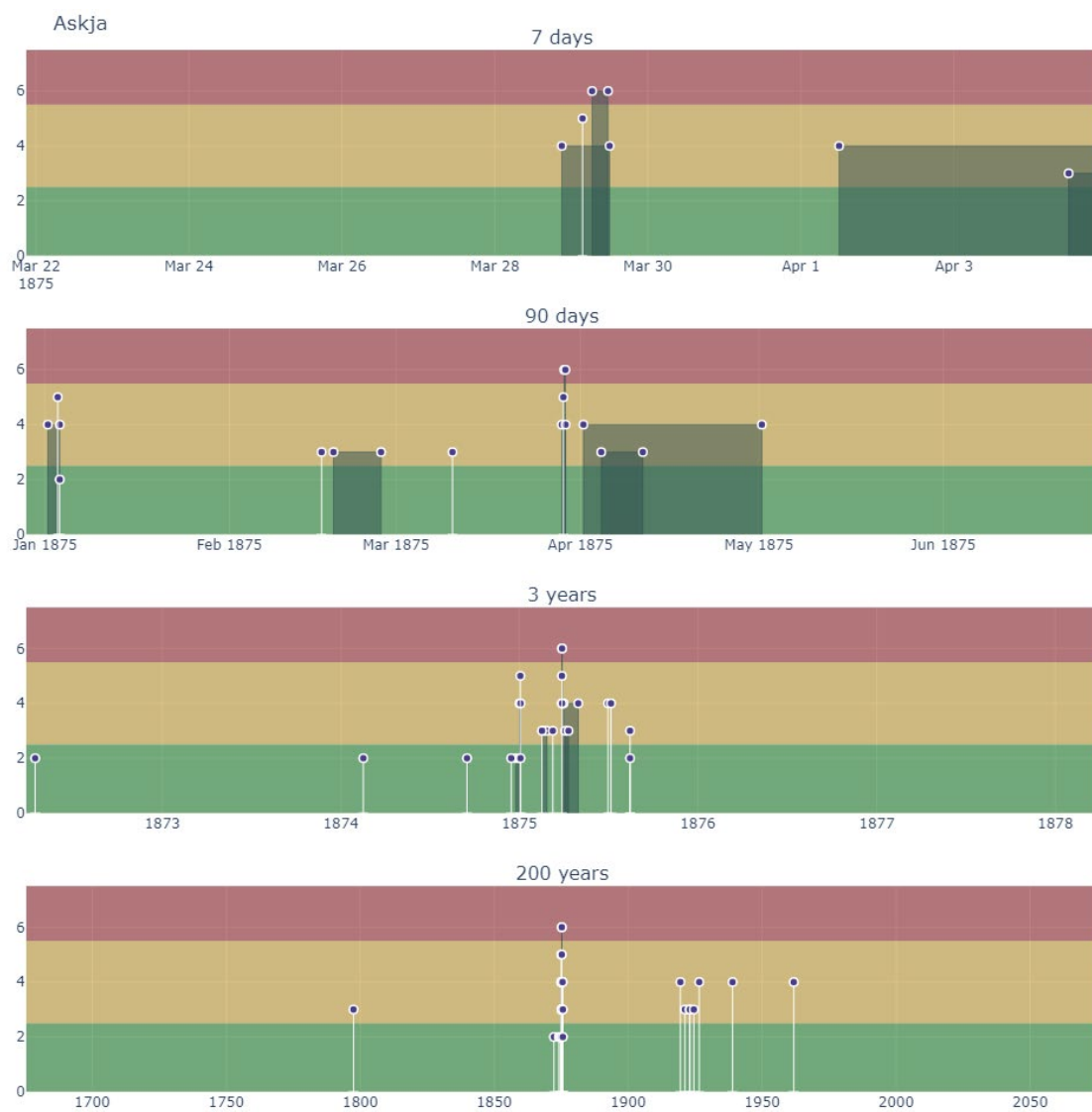
地域： アイスランド東部火山帯

噴火開始日時： 1875 年 1 月 1 日

VEI : 5

噴出量： 1.8-2.8 km³ bulk (流紋岩質)

最高噴煙柱高度： 26 km (Unit D)



長期：

アスキアは Dyngjufjöll 山地を構成する大型の玄武岩質中央火山で、重複した3つのカルデラによって切断されている。約1万年前に Dyngjufjöll から発生した流紋岩マグマによる爆発的噴火がアスキアカルデラの形成にかかわったと考えられる。多数の後氷期の割れ目噴火が環状割れ目に沿って発生している。また、延長100kmにおよぶアスキア割れ目噴火群もまたアスキア火山システムに属すると考えられる。1875年噴火以前の火山活動の詳細については不明である。

短期：

1872年4月にはアイスランド東リフトゾーン北部で激しい地震が発生した。マグニチュードは6ないし7に達した。この地震はおそらく、アイスランドリフトゾーン北端と、アイスランド北方沖に続く Kolbeinsey 海嶺をつなぐトランスフォーム断層である Tjprnes 断層帯の変位によるものである。

1874年2月にはアスキアから激しい水蒸気の噴出が記録されている。1974年秋にはアスキアから南に50~70km離れた Sveinagja 地域に新たな地割れが発生した。12月中旬にリフトゾーン北部で地震活動が活発化し、未確認の記録ながら Vatnajökull 地域で噴火活動が報告されている。クリスマスから新年にかけて地震活動は地震回数および強度とも増大し、アイスランド北部で広く有感となった。

噴火推移概要：

噴火は1875年1月1日及び2日に開始し、アスキア地域で噴煙の上昇がみられた。Myvatn 地域においては1月3日に地震活動の強度及び頻度が最大となり、8日まで継続した。地震活動はその後2か月半にわたって断続的にみられた。

1月3日未明直前に発生し、アスキア上に火柱が目撃された。2回目の噴火はアスキア南部から発生した。黒色の火山灰や変質パラゴナイト火山灰が降下した。

2月16日には、アスキアカルデラ南東縁に開口した火口が活動しているのが目撃されている。活動がマグマ噴火か水蒸気噴火かははっきりしない。火口の西側200mの領域では35000m²の広さが約10m陥没しているのが目撃された。陥没地域の北西には小さな池が形成された。陥没領域の南部では二つ目の火口が活動しており小規模な溶岩流がみられた。三つめの小さな火口が陥没領域の西側に開口していた。

2月18日には、アスキアの南方70kmで Sveinagja 割れ目噴火が開始した。割れ目噴火は延長2~5kmの割れ目から発生した。2月25日に活動は衰退するまで、10⁶m³の玄武岩質溶岩が噴出した。3月10日には Sveinagja の北1.5kmで割れ目噴火が再開した。3月23日には噴火割れ目北部で噴火活動が活発化し、40か所から溶岩噴泉が噴出した。その後、

Sveinagja 割れ目噴火は一時的に衰退した。

3月28日にはアスキアにおけるクライマックス噴火が開始した。3月28日21時ごろ黒煙がアスキア上に上昇した。その後3月29日3時30分アスキアから50km東方で、雷をともなう小規模な降灰が1時間継続。灰色細粒で粘着質の火山灰が降下した。ついで6時30分から軽石の降下がアスキアの東方の広範囲にわたって発生。激しい軽石の降下により周囲が真っ暗になった。12時ごろに軽石の降下が終了した。

その後、アスキアでは小規模な爆発噴火が5日から7日の間隔を置いて発生し、4月末まで継続した。4月4日にはSveinagja 割れ目噴火が再開し、11日まで断続的に噴火した。小規模な活動が7月1日及び13日に記録されている。8月15日には広範囲において地震が感じられた。それまで休止していたSveinagja 噴火割れ目は8月15日から噴火再開し、噴火割れ目南部の20か所から溶岩噴泉が噴出した。

1974年から75年にかけての火山テクトニック活動によってOskjuvatn カルデラが形成された。W.L.Wattsの観察によれば、1875年7月にはカルデラは3~4km²の領域で深さは120~150mであった。G.Carocの1876年の調査では、カルデラの領域は7km²に拡大し、深さは232mであった。今日、カルデラの領域は11km²で、カルデラ北側リムはカルデラ湖から50mの高さがあり、最大水深は217mである。

参考文献

Carey, R. J., Houghton, B. F., Thordarson, T., 2010. Tephra dispersal and eruption dynamics of wet and dry phases of the 1875 eruption of Askja Volcano, Iceland. *Bull. Volcanol.* 72, 259-278. <https://doi.org/10.1007/s00445-009-0317-3>

Hartley, M. E., Thordarson, T., 2012. Formation of Öskjuvatn caldera at Askja, North Iceland: Mechanism of caldera collapse and implications for the lateral flow hypothesis. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 227-228, 85-101. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2012.02.009>

Sparks, R. S. J., Wilson, L., Sigurdsson, H., 1981. The Pyroclastic Deposits of the 1875 Eruption of Askja, Iceland. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. A* 299, 241-273.

浅间 天明噴火 (Asama 1783 Eruption)

火山名： 浅间山 (Asama)

国： 日本

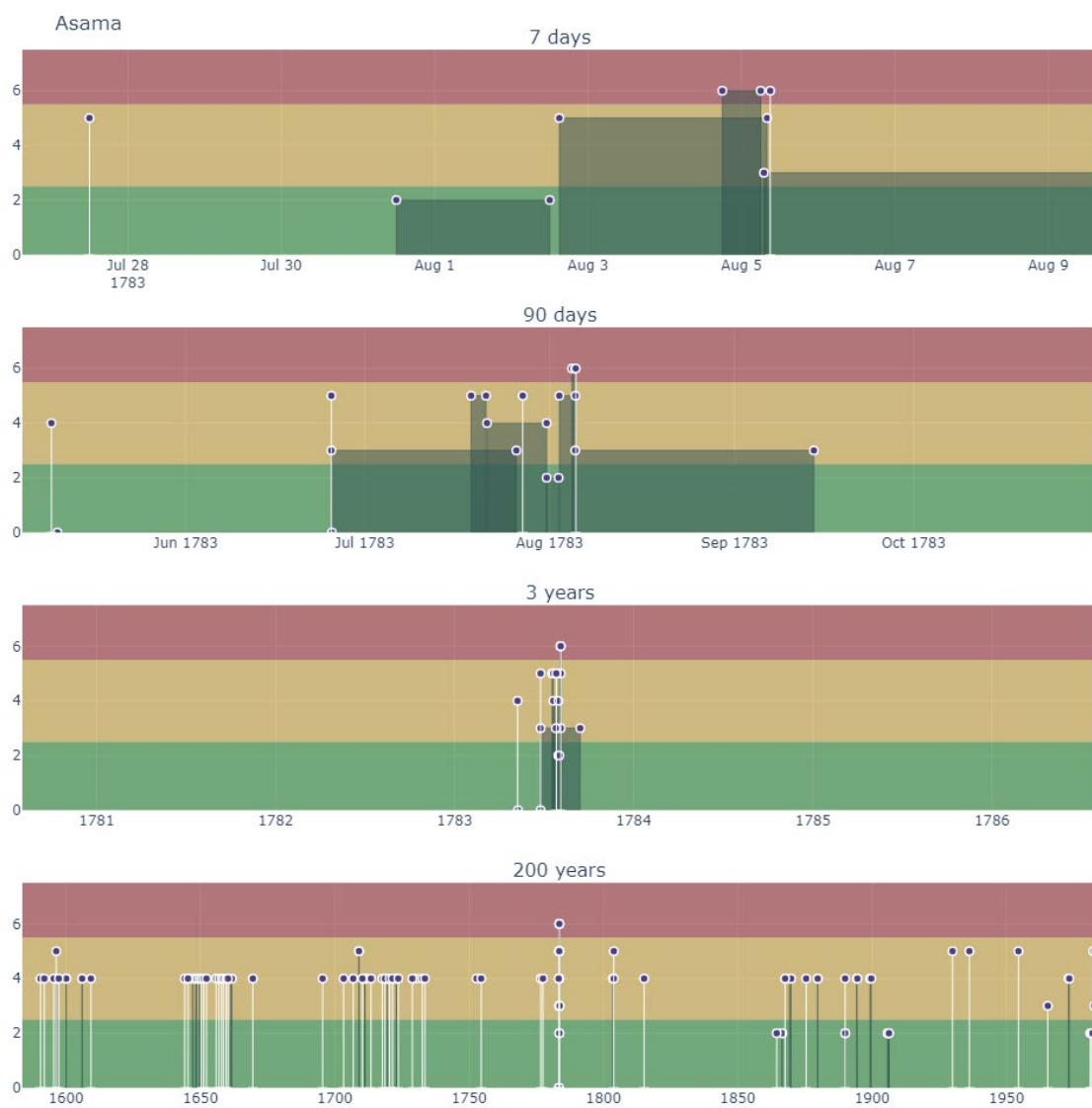
地域： 関東・中部日本

噴火開始日時： 1783 年 6 月 25 日

VEI： 4

噴出量： 0.48km³ DRE (安山岩質)

最高噴煙柱高度： 不明



長期：

浅間山は太平洋プレートの沈み込みによる東北弧の南端と、フィリピン海プレートの沈み込みによる伊豆弧の北端の延長の交点付近に位置する大型の成層火山である。噴出物の殆どは SiO₂ 60%前後の安山岩質である。浅間山の活動は形成した火山体構造や噴出したマグマ組成などから、黒斑期（約 13 万年前～2.6 万年前）、仏岩期（2.6 万年前～1.3 万年前）および前掛期（1.3 万年前以降現在）に区分される。現在活動している前掛火山は、約 1.3 万年前から成長を開始した成層火山である。

前掛火山から噴出した複数の降下軽石層が知られている。そのうち、4 世紀ごろに噴出した C 軽石、1108 年噴火（天仁噴火）の噴出物である B 軽石、1128 年噴火噴出物に対比されている B' 軽石、および 1783 年噴火（天明噴火）の噴出物である A 軽石は比較的規模の大きな降下軽石で、準プリニー式～プリニー式噴火の噴出物である。これらの軽石層の間には、より規模の小さなブルカノ式噴火などの噴出物がみられる事から、前掛火山では数 100 年おきに準プリニー式～プリニー式噴火が発生し、その間に小規模な噴火活動を繰り返す時期が続いたと考えられている。

短期：

浅間前掛火山では、B' 軽石を噴出した 1128 年噴火以降、1783 年噴火までの間、山麓に顕著な堆積物を残す規模の噴火は記録されていない。しかし、信頼できる歴史記録が残る 16 世紀末以降では、1783 年噴火までの間に数年～10 数年おきに山頂火口からの小規模な噴火が記録されている。これらの噴火は、噴出物の特徴からブルカノ式噴火が卓越していたと考えられる。

噴火推移概要：

1783 年噴火は浅間前掛山頂火口から発生した。その噴火推移は歴史記録およびそれに対応した地質記録からまとめられている。Aramaki (1956, 57) により噴火推移がまとめられたのち、田村・早川 (1995) や Yasui and Koyaguchi (2004) などにより再解釈が行われた。このまとめは主にこの二つの文献による。それらによると、1783 年 5 月 9 日（田村・早川 1995 では 8 日）に小噴火が発生し、その後静穏状態を経て 6 月 25 日午前 10 時ごろやや規模の大きなブルカノ式噴火が発生した。その後小規模な噴火があるものの小康状態を経て、7 月 18 日夜にサブプリニー式噴火が発生し、北～北西に軽石が降下した。21 日ごろから断続的な噴火に推移し、27 日には断続的なサブプリニー噴火が発生し、北東方向に軽石が降下した。その後 31 日ごろまで断続的に小～中規模の噴火が発生した。8 月 2 日午前まで比較的

静穏な状況で推移したが、午後になって噴火が激化した。噴火規模が断続的に変化しながら、大量の降下軽石を東南東方向に降下させた。4日夕から5日未明にかけて噴火規模は極大となり、大量の降下軽石を東南東方向に降下させた。プリニー式噴火に伴い、火口周辺には釜山火砕丘が成長し、その一部は北麓にむけて流下し鬼押出溶岩となった。同時に北麓に吾妻火砕流が数次にわたり流下した。5日朝には噴火は小康状態となった。5日午前、北麓の鬼押出溶岩の先端部から鎌原岩屑なだれが発生し、吾妻川から利根川沿いに泥流となって流下した。その後9月中旬ごろまで小規模な噴火が断続的に発生した。

6月25日のブルカノ式噴火に伴う降下物は、浅間前掛山山頂から北北西に分布するテフラ(NWN)に相当すると考えられる。北東に伸びる降下軽石(NE)は7月18日のサブプリニー式噴火の噴出物と考えられる。東南東方向に分布する天明噴出物(浅間A軽石:ESE)の大部分は、8月2日午後から開始したプリニー式噴火の産物と考えられ、その大半は4日夜から5日未明の噴火最盛期の噴出物と考えられる。東南東方向に分布する軽石の下半分と互層する細粒火山灰は、同時に北麓に流下した吾妻火砕流からの灰かぐら堆積物と解釈されている(田村・早川1995など)。鬼押出溶岩は火砕成溶岩であり、8月2日午後から開始したプリニー式噴火に伴い火口周辺に堆積した火砕物の二次流動による溶岩流と解釈されている(安井・小屋口1998など)。

1783年噴火以降、1803年まで噴火は記録されていないが、1803年以降は再び数年～数10年おきに噴火の記録がある。特に、20世紀前半には活発なブルカノ式噴火がみられた。

文献情報

Aramaki, S. (1956) The 1783 activity of Asama volcano. Part I. Japan J Geol Geogr 27:189-229.

Aramaki, S. (1957) The 1783 activity of Asama volcano. Part II. Japan J Geol Geogr 28:11-33.

田村知栄子・早川由紀夫(1995)史料解読による浅間山天明三年(1783年)噴火推移の再構築。地学雑誌, 104, 843-864.

安井真也・小屋口剛博(1998)浅間火山1783年のプリニー式噴火における火砕丘の形成。火山, 43, 457-465.

Yasui M., and Koyaguchi T., 2004, Sequence and eruptive style of the 1783 eruption of Asama Volcano, central Japan: a case study of an andesitic explosive eruption

generating fountain-fed lava flow, pumice fall, scoria flow and forming a cone.
Bull Volcanol. 66, 243-262.

安井真也 (2015) 降下火砕堆積物からみた浅間前掛火山の大規模噴火. 火山, 60:211-240

富士山宝永噴火 (Fuji 1707 Eruption)

火山名： 富士山 (Fuji)

国： 日本

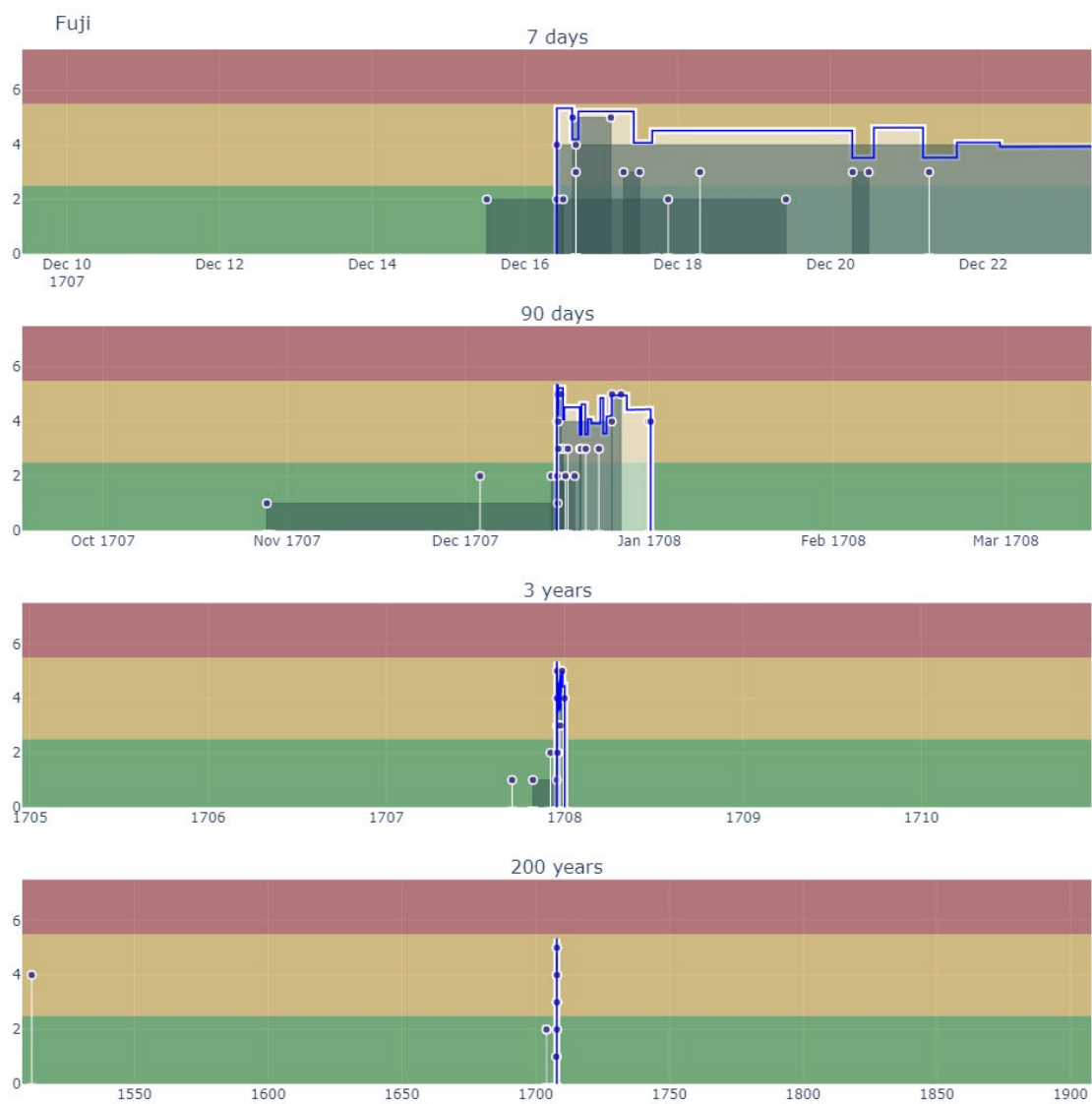
地域： 関東・中部日本, 伊豆弧衝突部・海溝三重点

噴火開始日時： 1707 年 12 月 16 日

VEI : 4

噴出量： 0.68 km³ DRE (玄武岩質)

最高噴煙柱高度： 15 km



長期：

富士山は太平洋プレートとフィリピン海プレートの沈み込み帯の海溝三重点付近に位置する大型の成層火山である。噴出物の殆どは SiO_2 50%前後の玄武岩質である。山元ほか(2007)のステージ区分では、星山期(100-18 ka)、富士宮期(15-6 ka)、須走期(6 ka-現在)に活動期間が大別されている。

歴史時代は少なくとも 8 から 11 世紀に至るまでは数十年おきに噴火が起こっていた。主なものとしては、800-802 年の噴火ではスコリア流出と溶岩噴出により足柄路が埋没。864-866 年には貞観噴火(1.2 km³ DRE)が起こり、北西山腹の長尾山から青木ヶ原溶岩が流出した。12 世紀以降は顕著な噴火は減るものの、1435/36 年と 1511 年にも噴火があったとみられる。その後と現在までの間には 1707 年の噴火しか知られていない。ただし主に山頂火口における噴気活動の消長は 20 世紀に至るまでたびたび起きている。

短期：

噴火に先行して 2 回の巨大地震がその地域で起こった。1 回目は噴火の 4 年前に相模湾付近で起こった元禄関東地震(M8.2)であり、その 2 か月後に富士山で複数回にわたって鳴動があった。2 回目は噴火の 49 日前に南海トラフで起こった宝永地震(Mw8.7)であり、翌日富士宮付近を震源として最大余震が起こった。これ以降富士山周辺とみられる有感地震の活動が増加していった。

噴火推移概要：

宝永噴火は 1707 年 12 月 16 日に富士山南東斜面で発生し、翌 1708 年 1 月 1 日まで 16 日間続いた。噴火開始は 12 月 16 日 10 時ごろと考えられる。噴火開始時にはデイサイト質の軽石を噴出し、噴煙柱高度は 15km に達した。16 日午後 4 時ごろには黒色スコリアの放出に変わった。噴火は 12 月 16 日の夜に入り再び激しくなり、火口から約 10km 離れた須走村にも直径 10cm 以上の多数の火山岩塊が落下し、家屋の半数が焼失した。噴火強度は 17 日の午前 6~7 時頃にやや低下した。その後 20 日朝ごろまで続いた。その後、小規模な噴火を断続的に繰り返した。25 日午後 3 時ごろから再び噴火が活発化し、27 日ごろまで多量のスコリアを放出した。その後噴火活動は衰え、1708 年 1 月 1 日未明の爆発を最後に一連の噴火は終了した。

噴出量は 0.68 km³ DRE であり、うち当初の白色軽石は 0.05 km³ 程度であった。

文献情報

Yamamoto, T., Ishizuka, Y., Takada, A., 2007. Surface and Subsurface Geology at the Southwestern Foot of Fuji volcano, Japan: New Stratigraphy and Chemical Variations of the Products, in: Fuji Volcano. Yamanashi Institute of Environmental Sciences, pp. 97-118.

報告書 (1707 富士山宝永噴火) : 防災情報のページ - 内閣府 [WWW Document], n. d.
URL
http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/kyoukunnokeishou/rep/1707_houei_fujisan_funka/ (accessed 3.4.20).

高田亮, 山元孝広, 石塚吉浩, 中野俊, 2016. 富士火山地質図 [WWW Document]. 産業技術総合研究所 地質調査総合センター. URL
https://gbank.gsj.jp/volcano/Act_Vol/fujisan/index.html (accessed 3.5.20).

宮地直道・小山真人 (2007) 富士火山1707年噴火(宝永噴火)についての最近の研究成果. 藤井敏嗣・中田節也編 富士火山. 山梨県環境科学研究所, p. 339-348

Vesuvius 79 AD Eruption (Pompeii pumice)

火山名： Vesuvius / Somma

国： イタリア

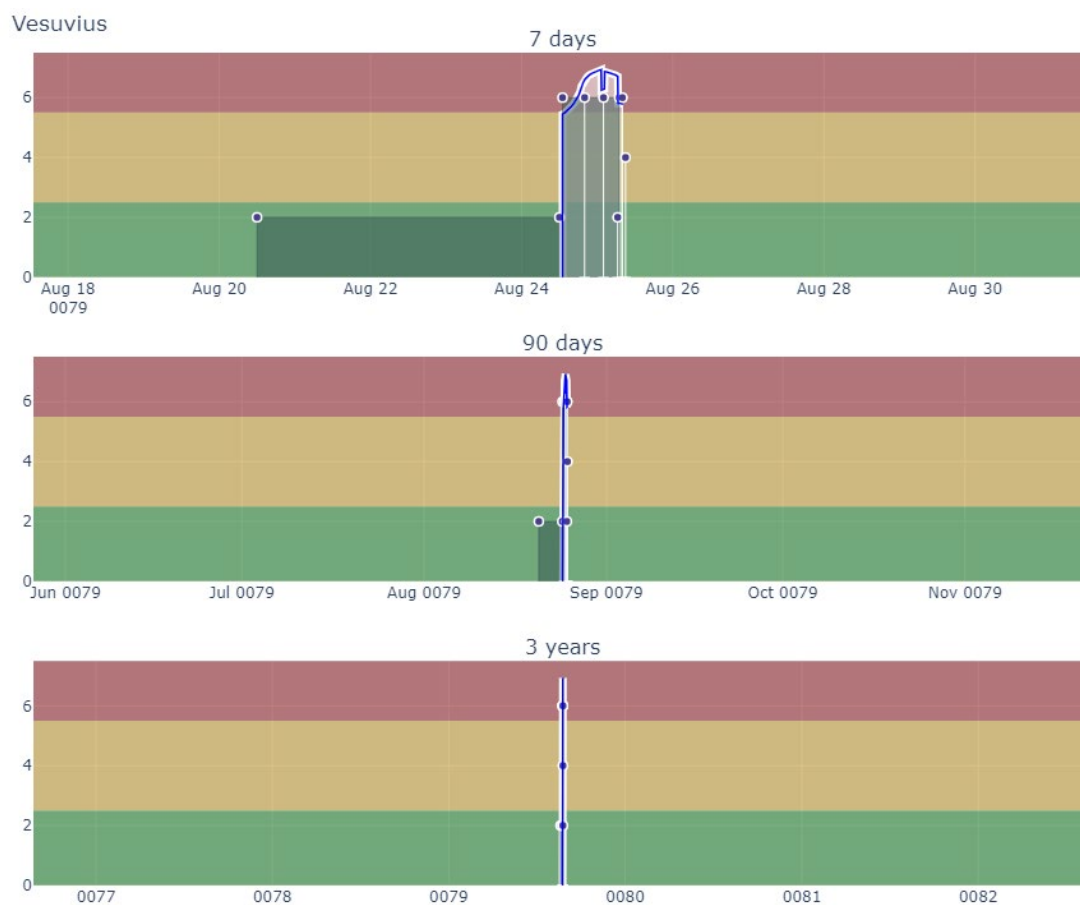
地域： カンパニア平原

噴火開始日時： 79年8月24日?

VEI： 5

噴出量： 3 km³ DRE (フォノライト質)

最高噴煙柱高度： 30 km



長期：

Vesuvius は狭義には Somma の馬蹄形カルデラの内側に形成された火砕丘である。両者の区別は厳密ではなく、全体を Vesuvius, 或いは Somma-Vesuvius Volcanic Complex (SVVC) と呼び、Phonolite-Tephrite-Trachyte 質のマグマを噴出する成層火山体である。マグマだまりが石灰岩からなる基盤の内部にあると考えられており、噴出物にはたびたびスカルンのゼノリスが含まれる。Vesuvius は数千年おきに爆発的噴火を繰り返しており、完新世では Ottaviano eruption (8000 yr BP), Avellino eruption (3550 yr BP), A.D. 79 (Pompeii pumice), A.D. 472 がある (Lirer et al. 2001)。このような噴火スタイルには、基盤岩からマグマへ供給された CO₂ が影響していると考えられている (Dallai et al. 2011)。

短期：

17 年前の 62 年 2 月に、カンパニア州で広く被害を出す大きな地震があった。噴火 4 日前から有感地震が増加し、枯れる湧水が多発した。

補足 1. 噴火日時に関する議論

噴火推移は便宜上 Sigurdsson et al. (1982) に従う。同文献では噴火開始日時を 8 月 24 日としているが、後述の通り噴火開始日はより秋の遅い時期、特に 10 月頃である可能性が示唆されている。

8 月 24 日は、小プリニウスのタキトゥスへの書簡に現れる日付である (Project Gutenberg, 2001)。しかし同文書はあくまで 9 世紀の写本であり、信頼性が高く評価されている資料の最も完全な写本ではあるものの、誤りを含む可能性は十分にある (Mather, 2017)。200 年頃に書かれたカッシウス『ローマ史』には噴火は夏の終わり～秋であったと記されている (Thayer, 2011)。直接的な反証としては、10 月 17 日を意味する日付が記された家屋の壁が新たにポンペイで発掘されたとの報道が 2018 年 10 月にあったが (例えば *la Repubblica*, 2018)、2020 年 3 月現在これに関する学術的資料はない。強力な間接的反証としては、秋に産する果実の痕跡・暖炉の痕跡・カーペットの敷かれた床などの発掘、そして南東に伸びた 79 年噴火のテフラ分布が現代の同地 8 月の高層季節風トレンドでは極めて起こりにくいことが指摘されている (Rolandi et al. 2007 and references therein)。

補足 2. “Plinian eruption” の起源

Plinian eruption - プリニー式噴火は現在では圏界面を突破するような高い浮力と規模を兼ね備えた大規模で爆発的な噴火の一般的名称として、完全に定着している (e. g. Bonadonna et al. 2013)。

英語の特性上、言葉の初出は明らかではない。例えば *Popular Science* 1906 年 12 月号には Plinian eruption, Plinian disaster, Plinian catastrophe といった単語が出現する

が (Eastman, 1906), いずれも「プリニーの時の」といった意味合いしかないためである。しかし 1930 年代までには Plinian-type と呼ぶ向きがあったらしく, Escher (1933) はそれを Vesuvius 1906 噴火になぞらえ, 同噴火を記載した Perret (1924) の名前をとって Perret-type と再定義している。一方で, 1947-48 年のアイスランド Hekla の噴火を目撃した Thorarinsson (1967) は Plinian-type とそれを認識した。

20 世紀後半, Plinian eruption の再定義を強力に推し進めたのが G. P. Walker である。Fogo 1563 (Walker and Croasdale, 1971), Vesuvius 79AD (Lirer et al. 1973) などの噴出物研究から Walker (1973) の粒径と分布面積を使った定量化された分類へ発展させ, 今日の Plinian eruption の用法の大元となっている。

噴火推移概要：

時系列はプリニウスの記述を元にして Sigurdsson et al. (1982) が, 噴出物層序は Cioni et al. (1992) に詳しい。マグマだまりは Guriori et al. (2005), 火道は Shea et al. (2012) が考察している。

噴火は昼間に始まった。洋上のプリニウスらは 1 時頃, Vesuvius の方角から非常に高く立ち昇る雲を目撃した。雲はイタリアカサマツの樹木の形状をしており, 樹冠に相当する頂点では枝を広げるように広がっていた。典型的なプリニー式噴火である。およそ 7 時間にわたってフォノライト質マグマによる白色軽石が噴出し, Cioni et al. (1992) の EC1 および EC2 ユニットが降下した。夜 8 時頃, 噴煙柱が部分的に崩壊し P1 火砕流が発生した。この頃, 白色軽石をつくったフォノライト質マグマが枯渇し, 白色と灰色が混交した噴出物に変化する。灰色部分は tephri-phonolitic なマグマであった。岩片の割合は少なく, 火道拡大はゆっくり進んでいた。

深夜～未明にかけて噴火はピークを迎え, 噴煙柱高度 30 km (Sigurdsson et al. 1982), MDR 10^8 kg/s (Carey and Sigurdsson, 1987) に達する。白色軽石は見られなくなり, 灰色軽石がこの EC3 噴出物の主体となる。規模の大きな P2 および P3, 少し間を置いて P4 火砕流が発生し, 南西の Herculaneum などを埋め立てた。朝になり噴煙柱が完全に崩壊し, 前駆的な P5 に続いて大規模な P6 火砕流が全周だが特に南東へ最大 15 km 流下し Pompeii を破壊した。P6 には多量の岩片が含まれ, 79AD 噴火における Monte Somma の陥没進行が起こったのはこのときであろうと考えられている。崩壊後もマグマ水蒸気爆発が続き, EU4-8 のユニットが堆積した。

一連の噴火では 3 km^3 DRE のテフラが噴出した (Cioni et al. 1992)。うち軽石噴出物は Pompeii pumice / pomici di Pompei と呼ばれている。

文献情報

Carey, S., Sigurdsson, H., 1987. Temporal variations in column height and magma discharge rate during the 79 AD eruption of Vesuvius. Geological Society of America.

Cioni, R., Marianelli, P., Sbrana, A., 1992. Dynamics of the A.D. 79 eruption: stratigraphic, sedimentologic and geochemical data on the successions of the Somma-Vesuvius southern sector 2, 109-196.

Dallai, L., Cioni, R., Boschi, C., D' Oriano, C., 2011. Carbonate-derived CO₂ purging magma at depth: Influence on the eruptive activity of Somma-Vesuvius, Italy. Earth Planet. Sci. Lett. 310, 84-95.
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.07.013>

Sigurdsson, H., Cashdollar, S., Stephen R. J. Sparks, 1982. The Eruption of Vesuvius in A. D. 79: Reconstruction from Historical and Volcanological Evidence. Am. J. Archaeol. 86, 39-51. <https://doi.org/10.2307/504292>

Gurioli, L., Houghton, B.F., Cashman, K.V., Cioni, R., 2005. Complex changes in eruption dynamics during the 79 AD eruption of Vesuvius. Bull. Volcanol. 67, 144-159. <https://doi.org/10.1007/s00445-004-0368-4>

Lirer, L., Petrosino, P., Alberico, I., Postiglione, I., 2001. Long-term volcanic hazard forecasts based on Somma-Vesuvio past eruptive activity. Bull. Volcanol. 63, 45-60. <https://doi.org/10.1007/s004450000121>

文献情報（補足項目）

Eastman, C.R., 1906. Vesuvius during the Early Middle Ages, in: Popular Science Monthly, Popular Science. Bonnier Corporation, pp. 558-566.

Escher, B.G., 1933. On a classification of central eruptions according to gas pressure of the magma and viscosity of the lava. Leidse Geologische Mededelingen 6, 45-49.

Lirer, L., Pescatore, T., Booth, B., Walker, G.P.L., 1973. Two Plinian Pumice-Fall Deposits from Somma-Vesuvius, Italy. GSA Bulletin 84, 759-772.

[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1973\)84<759:TPPDFS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1973)84<759:TPPDFS>2.0.CO;2)

Mather, W., 2017. Eruption day at Pompeii 79 AD - Australian National Maritime Museum [WWW Document]. Australian National Maritime Museum. URL <https://www.sea.museum/2017/09/06/eruption-day-pompeii-79-ad> (accessed 3.12.20). Archived URL <https://web.archive.org/web/20200312010953/https://www.sea.museum/2017/09/06/eruption-day-pompeii-79-ad>

Perret, F.A., 1924. The Vesuvius Eruption of 1906: Study of a Volcanic Cycle. Carnegie Institution of Washington.

la Repubblica, 2018. Pompei, un' iscrizione cambia la data dell'eruzione: avvenne il 24 ottobre del 79 d.C [WWW Document]. la Repubblica. URL https://napoli.repubblica.it/cronaca/2018/10/16/news/pompei_un_iscrizione_cambia_la_data_dell_eruzione_avvenne_il_24_ottobre_del_79_d_c_-209083048/ (accessed 3.9.20).

Project Gutenberg, 2001. Letters of Pliny, by Gaius Plinius Caecilius Secundus [WWW Document]. The Project Gutenberg EBook of Letters of Pliny. URL https://www.gutenberg.org/files/2811/2811-h/2811-h.htm#link2H_4_0065 (accessed 3.9.20).

Rolandi, G., Paone, A., Di Lascio, M., Stefani, G., 2008. The 79 AD eruption of Somma: The relationship between the date of the eruption and the southeast tephra dispersion. J. Volcanol. Geotherm. Res. 169, 87-98. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.08.020>

Thayer, B., 2011. Roman History by Cassius Dio [WWW Document]. Bill Thayer's Website. URL https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Cassius_Dio/66*.html (accessed 3.9.20).

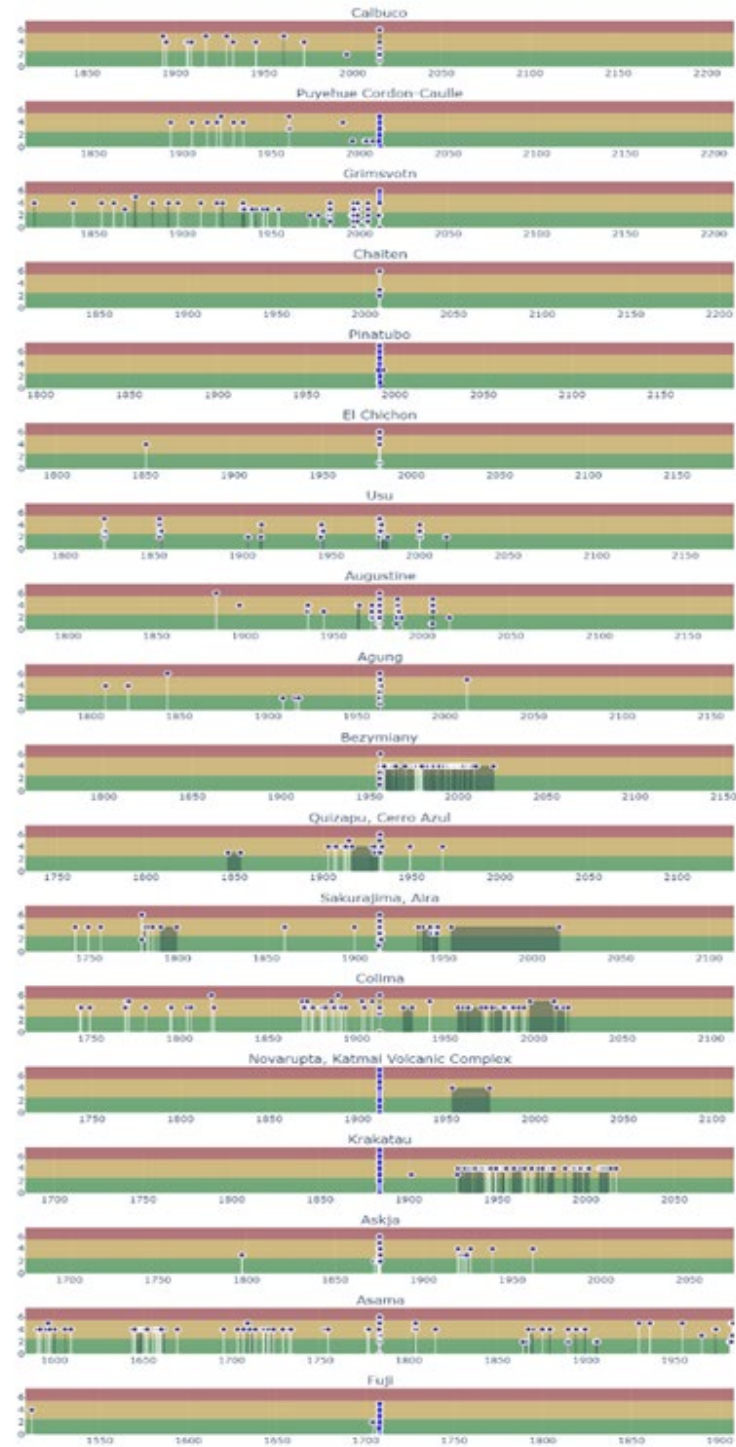
Walker, G.P.L., 1973. Explosive volcanic eruptions - a new classification scheme. Geol. Rundsch. 62, 431-446. <https://doi.org/10.1007/BF01840108>

Walker, G.P.L. , 1971. Grain-Size Characteristics of Pyroclastic Deposits. J. Geol. 79, 696-714.

Walker, G.P.L., Croasdale, R., 1971. Two Plinian-type eruptions in the Azores. J. Geol. Soc. London 127, 17-55. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.127.1.0017>

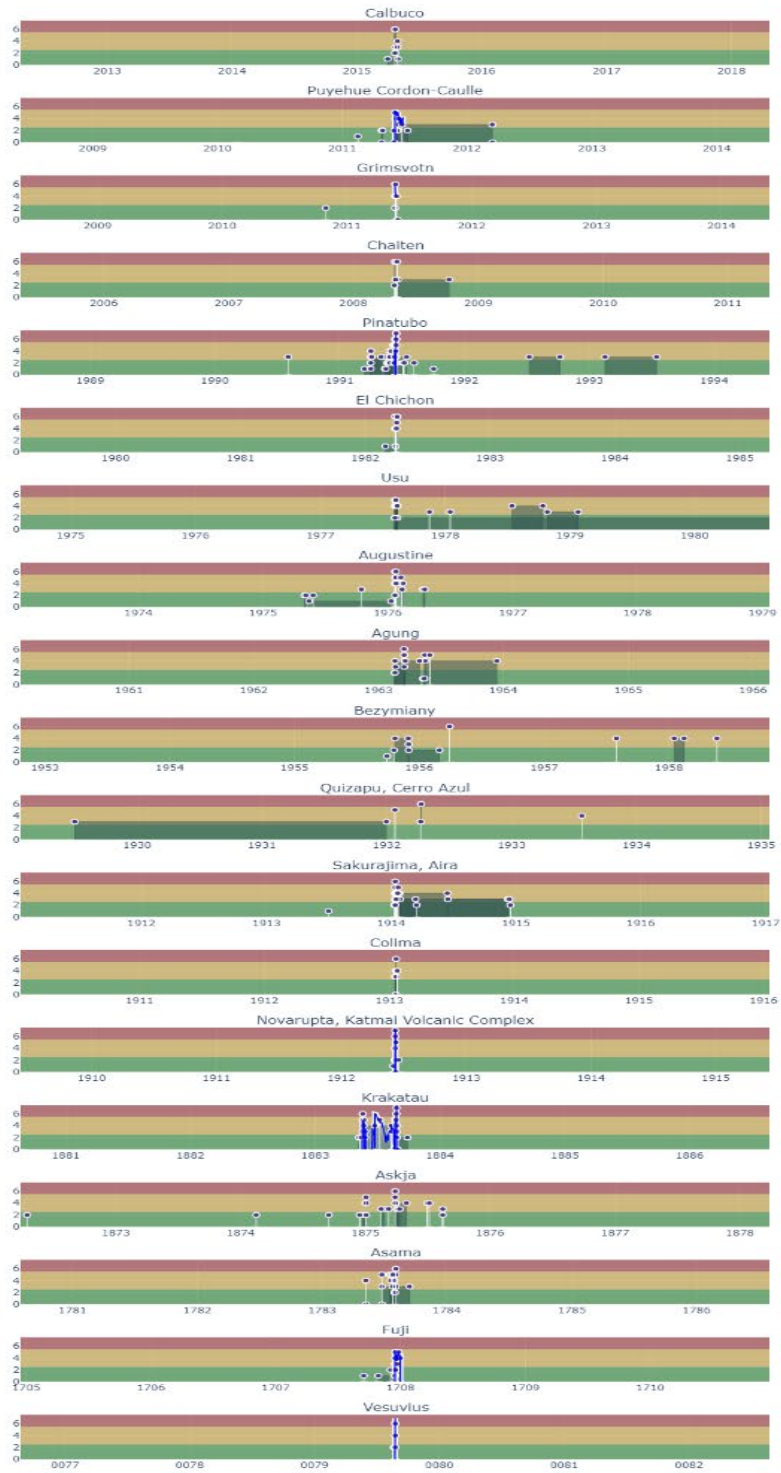
全体図

Unrest Timelapse (± 73000 days 00:00:00)



前後 200 年間の噴火推移図

Unrest Timelapse (± 1095 days 00:00:00)



前後 3 年間の噴火活動推移図