



北海道大学

火山噴火の仕組みと火山災害

—原子力規制人材育成事業コンテンツ(導入教材)—

北海道大学 大学院理学研究院
附属地震火山研究観測センター

教授 青山 裕

はじめに

- 世界に**約1500あるとされる活火山のおよそ7%が日本に分布し**, 都市圏や重要施設へ**影響を与える恐れのある火山が複数存在**する.
- **マグマ活動を起因とする火山噴火は極めて多様な現象であり**, 噴火に伴って発生する**災害も幅広い**.
- 社会インフラが高度に発達した現代の日本社会は, 火山学的に大噴火と位置づけられる規模の噴火活動に伴う火山災害を経験したことがなく, 社会生活等への具体的な影響は未知数.
- 原子力規制庁が定めた火山影響評価ガイドでは, 原子力発電所に**影響を与える可能性のある火山事象として13の火山現象**が挙げられており, うち**5つは設計対応不可能な事象**に位置づけられている.



目次

1. 火山の分布と地学的な背景

火山とは. 世界及び日本の活火山分布と, 分布の偏りをもたらす
テクトニクス の復習

2. 火山噴火の様式と規模

多様な火山噴火様式とマグマ組成についての復習. 噴火規模の
指標の例

3. 火山噴火がもたらす多様な災害

火山噴火がもたらす多様な自然現象・災害の紹介



火山とは

地下深部で生成した高温のマグマ(揮発性物質を含む融解した岩石)が地表へ到達することで生成される山体地形。爆発や陥没によって生じた地形も含む。



【活火山】

- 過去1万年以内に噴火した履歴がある火山
- 現在も噴気活動が認められる火山

直近の過去1万年は
新生代第四紀完新世



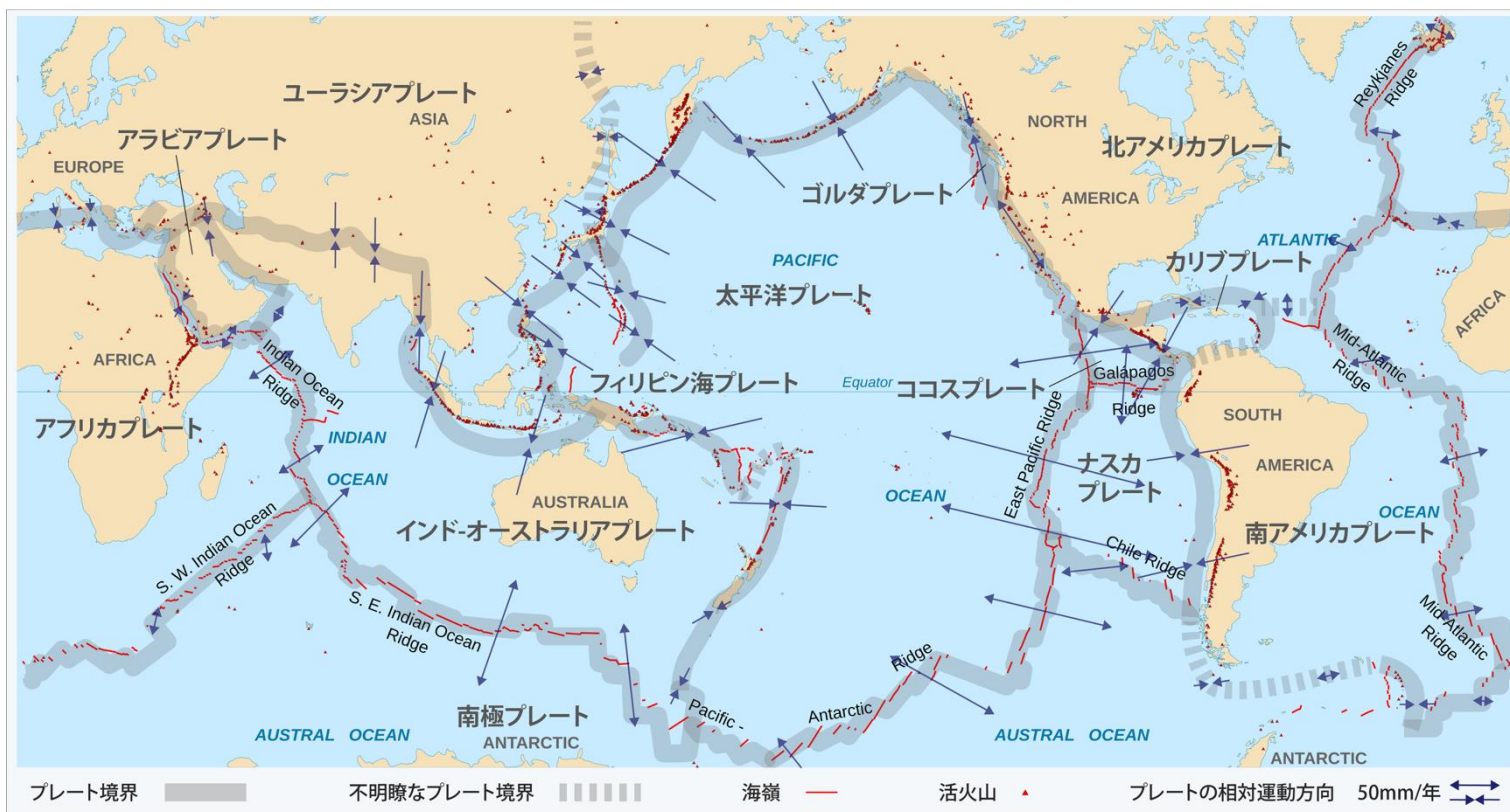
先カンブリア時代			顕生代																
冥王代	始生代	原生代	古生代						中生代			新生代							
			カンブリア紀	オルドビス紀	シルル紀	デボン紀	石炭紀	ペルム紀	トリアス紀	ジュラ紀	白亜紀	古第三紀		新第三紀		第四紀			
45.6億	40.3億	25億	5.38億	4.87億	4.43億	4.20億	3.59億	2.99億	2.52億	2.01億	1.43億	6600万	5600万	3390万	2304万	533万	258万	1.17万 (年前)	
	生命の誕生	緑藻類の出現	藻類の反映		陸上植物の出現		裸子植物の出現 シダ類の繁栄		三葉虫の繁栄		三葉虫の絶滅		ソテツ類の出現	針葉樹の繁栄	被子植物の出現				
			三葉虫の出現	魚類の出現 三葉虫の繁栄	サンゴの繁栄	両生類の出現 魚類の繁栄	両生類の出現 魚類の繁栄	爬虫類の出現 両生類の繁栄		三葉虫の繁栄		三葉虫の絶滅	爬虫類の発達 哺乳類の出現	恐竜の繁栄 鳥類の出現	恐竜の繁栄と絶滅				
			ロディニア超大陸分裂 (8億)					パンゲア超大陸形成 (3.3億)					パンゲア超大陸分裂 (1.8億)	大西洋形成開始 (1.3億)			インドの衝突 (5000万)	南極大陸の分離 (3300万)	日本海の形成 (1500万)
1/1	2/12	6/14	11/18	11/23	11/26	11/28	12/3	12/8	12/11	12/15	12/20	12/26 17:12	12/27 12:25	12/29 6:52	12/30 3:44	12/31 13:45	12/31 19:02	12/31 23:58:39	

【地球史を1年に例えた場合】

地球の歴史(46億年)を1年で例えると、過去1万年は最後の1分20秒ほどに相当

活火山の分布

約1500座の活火山は、マグマ生成の条件が整う地域に偏在する。地球表面を覆うプレートの運動と火山の分布が密接に関連。



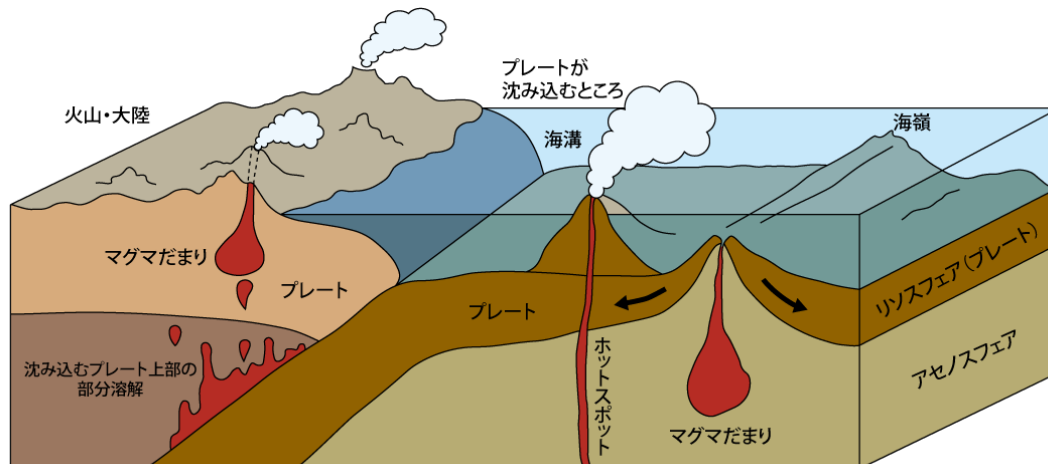
【1】 出典 : Eric Gaba (Sting - fr:Sting), CC BY-SA 2.5 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5>>, via Wikimedia Commonsをもとに情報を追記

プレート運動とマグマ生成

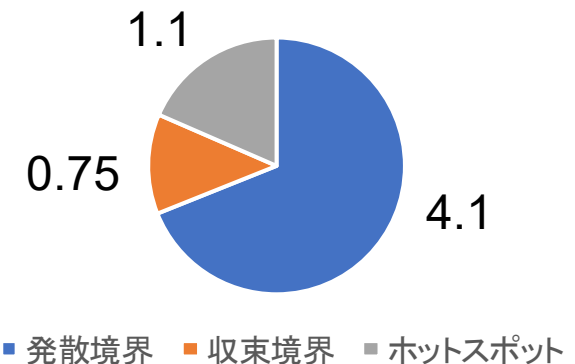
火山が分布する地域

- プレートの発散境界…アフリカ大地溝帯, 大洋底の海嶺など
- プレートの収束境界…環太平洋地域など(日本を含む)
- ホットスポット…ハワイ島, レユニオン島など

➡ 地球内部でマグマの生成条件が整う地域が主にこの3つ



地域別のマグマ噴出率 [km³/年]



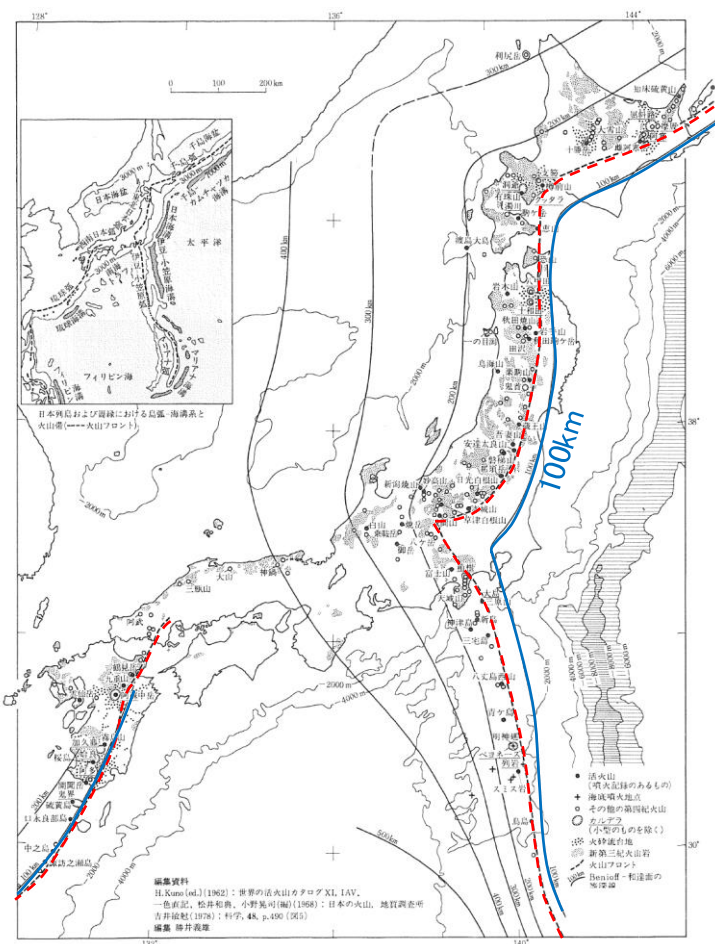
日本の活火山分布

日本には活火山が**111座**

- **東日本火山帯**・・・北海道～東北～伊豆・小笠原諸島 ⇒ 太平洋プレートの沈み込みによる火山列
- **西日本火山帯**・・・九州～南西諸島 ⇒ フィリピン海プレートの沈み込みによる火山列

火山分布の海溝側の端を結んだ線を「**火山前線(火山フロント)**」と呼ぶ。プレートの沈み込み深さが**100km程度**となる付近に位置する。

収束境界の**火山の寿命は一般に数十万年程度**と社会の時間スケールよりはるかに長い。**数千年の活動休止期**をはさむこともある。



【2】 出典：杉村新, 中村保夫, 井田喜明 (編) 『図説 地球科学』, 岩波書店, 1988をもとに情報を追記

目次

1. 火山の分布と地学的な背景

火山とは. 世界及び日本の活火山分布と, 分布の偏りをもたらす
テクトニクスの復習

2. 火山噴火の様式と規模

多様な火山噴火様式とマグマ組成についての復習. 噴火規模の
指標の例

3. 火山噴火がもたらす多様な災害

火山噴火がもたらす多様な自然現象・災害の紹介



多様な噴火様式

噴火様式の区分別

噴火様式	アイスランド式	ハワイ式	ストロンボリ式	ブルカノ式	プリニー式	水蒸気爆発
	地表の割れ目から粘性の低い玄武岩質マグマが大量に流出し、溶岩流となる	山頂火口や山腹の割れ目火口から、粘性の低い玄武岩質マグマが噴水のように噴き出す	比較的粘性の低いマグマが、火山弾やスコリアとして間欠的に噴出する	粘性の高いマグマが爆発的に噴出し、火山弾や火山灰を放出する	火山灰や軽石を連続的に長時間噴出し、巨大な噴煙柱を形成する。火砕流を伴う場合もある	マグマの熱で生じた高温高圧の水蒸気が、噴石や土砂とともに爆発的に噴出する
火山噴火の例	クラフラ グリムスボトン レイキャネス (アイスランド)	マウナケア マウナロア キラウエア (ハワイ)	ストロンボリ エトナ (イタリア) 伊豆大島 三宅島 阿蘇山	桜島 浅間山 霧島新燃岳 十勝岳	桜島 北海道駒ヶ岳 十勝岳 有珠山 霧島新燃岳	御嶽山 本白根山 霧島硫黄山 雌阿寒岳 北海道駒ヶ岳
噴煙高度	～数100m	<1km	0.1～5km	3～25km	10km～	
主な噴出物	溶岩流	溶岩流	スコリア・火山弾	火山弾・火山灰	軽石・火山灰・火砕流	
噴出物の色調	黒色・暗灰色				灰色・淡灰色	
マグマの組成	玄武岩質	玄武岩質～安山岩質		安山岩質	デイサイト質 ～流紋岩質	
マグマの粘性	低い (SiO ₂ 少)				高い (SiO ₂ 多)	
マグマの温度	高	1200℃	1100℃	1000℃	900℃	低

マグマの性質(粘性)やマグマ中の揮発性物質の振る舞いの違いによって、多様な噴火様式が生まれる



マグマと揮発性物質

マグマ

- 溶けて液体状になった岩石
- 一般に鉱物結晶を含む
- 水を主成分とする揮発成分も含む
- 冷えて固まると火成岩と呼ばれる
- 低温なほど, SiO_2 含有率が高いほど, 粘性が上がる

マグマ = メルト(液相)
+ 斑晶(固相)
+ 気泡(気相)
三相の混合物

マグマ中の揮発性物質

- 主成分は H_2O (水)
- CO_2 (二酸化炭素), SO_2 (二酸化硫黄), H_2 (水素), N_2 (窒素), H_2S (硫化水素)など多様な成分を含む

➡ 火山地帯において噴気として放出される気体を, 一般に「火山ガス」と言う. 一般的に90%以上は水蒸気. マグマの温度低下や減圧の過程で, マグマから気相となって離溶し, マグマから抜けていく(脱ガス).

噴火様式の違いの例



【3】 出典 : Ronny Quireyans / www.volcanodiscovery.com

アイスランド, ファグラダルスフィヤルの噴火. 噴水のように粘性の低いマグマが噴きだし, 溶岩流となって流れ下る(アイスランド式)

➡ Effusive eruption (溢流的噴火)



噴火様式の違いの例



(c) Kagoshima Local Meteorological Observatory

【4】出典：鹿児島地方気象台「昭和火口の噴火と火山雷（2012年2月9日、黒神町より撮影）」



(c) Kagoshima Local Meteorological Observatory

【5】出典：鹿児島地方気象台「南岳山頂火口の噴火。噴煙が火口縁上3000mまで上昇した（2009年10月3日鹿児島地方気象台より撮影）」

桜島の噴火. 火口から爆発的に火山弾や火山灰を放出する(ブルカノ式). 安山岩質のマグマ組成を持つ火山で一般的に見られる噴火様式.

➡ Explosive eruption(爆発的噴火)

噴火様式の違いが、火山災害の多様性を生み出す



噴火規模の違いの例

小規模な噴火



イタリア, ストロンボリの噴火.
直径数m程度の火口から火山
ガスと共にマグマの破片が噴き
出す(ストロンボリ式)

大規模な噴火



[6] Courtesy of the U.S. Geological Survey, "The June 12, 1991 eruption column from Mount Pinatubo taken from the east side of Clark Air Base."

フィリピン, ピナツボの噴火.
1991年の噴火は20世紀最大規
模の噴火とされ, 気候にも影響を
与えたと言われる(プリニー式)

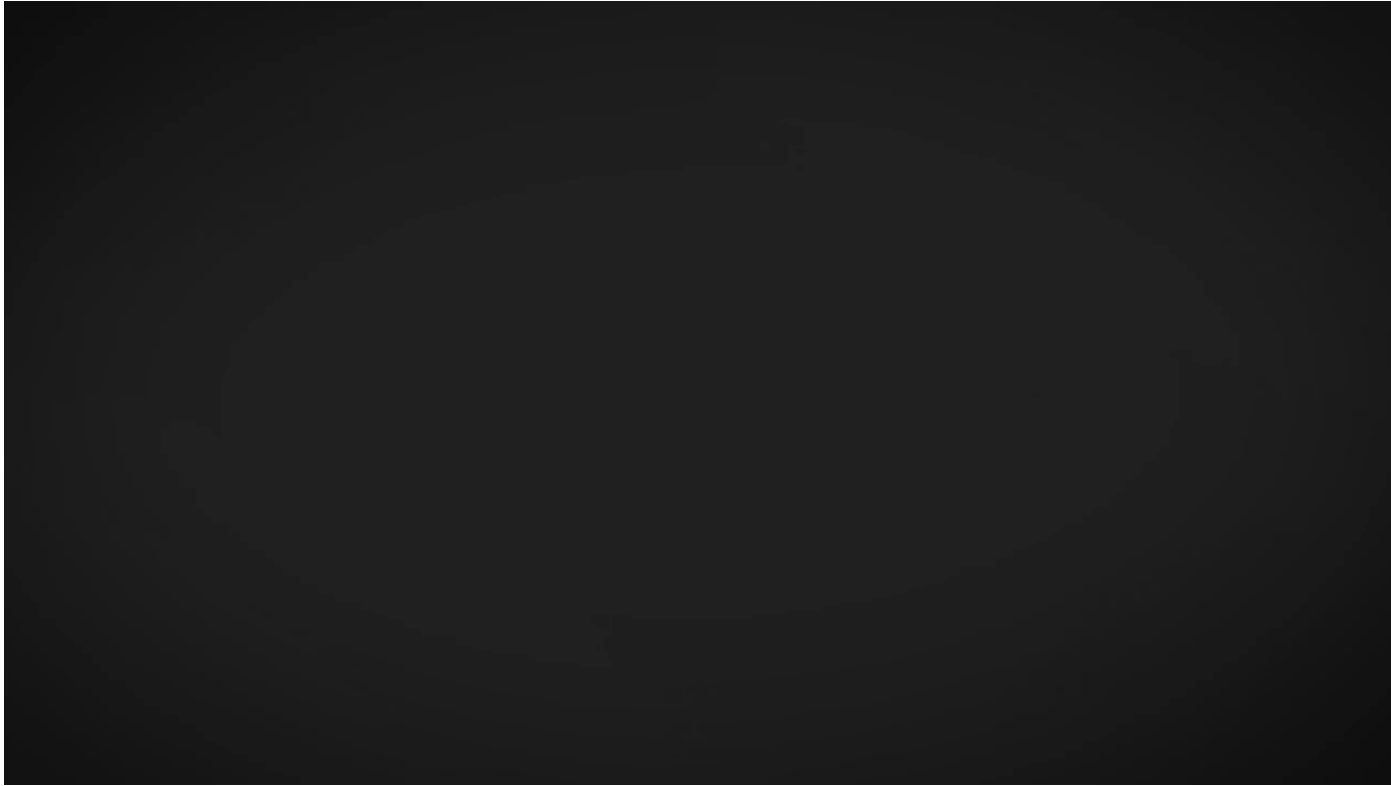
噴火規模によって影響範囲が大きく異なる



噴火に伴う特殊な現象

火砕流

IAVCEI Volfilm: “Pyroclastic flows: the hazard”



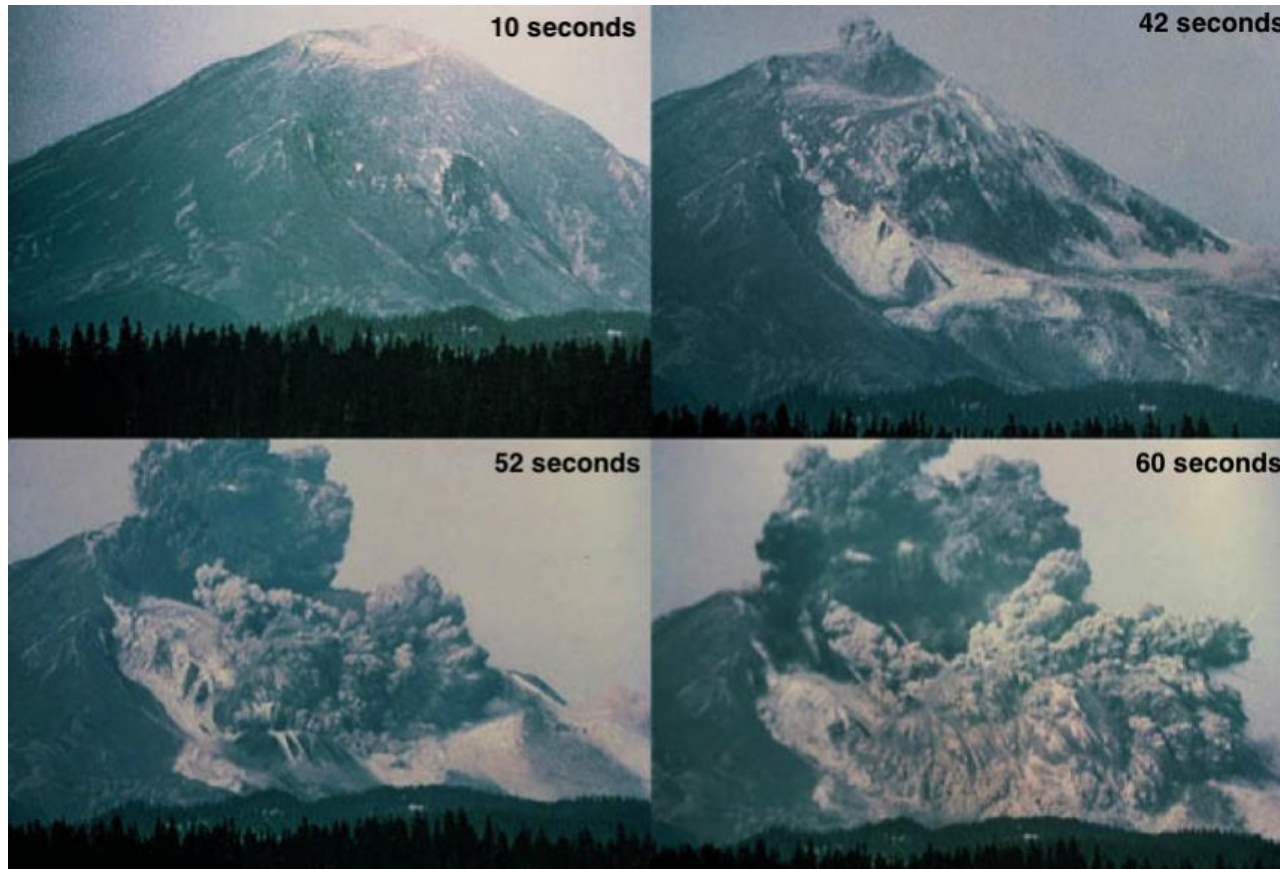
【7】 出典 : VolFilm (<https://www.iavceivolcano.org/new-public-information-films-on-volcanic-hazards-and-their-impact/>)

高温の火砕物とガスの混合物が高速で斜面を駆け下る(時速200km/h以上)

噴火に伴う特殊な現象

山体崩壊(岩屑なだれ)

アメリカ・セントヘレンズ山の噴火(1980.5.18 8:32am) VEI 5

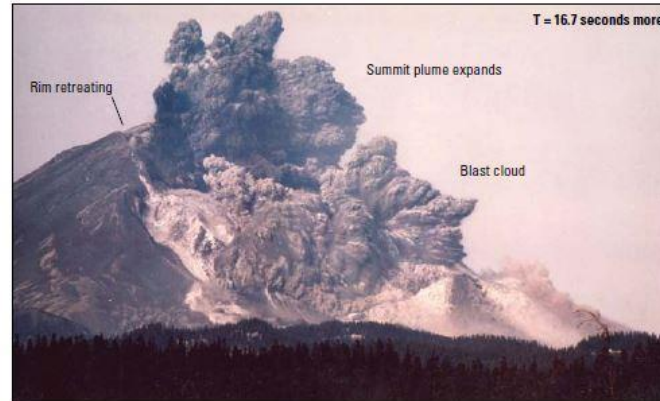
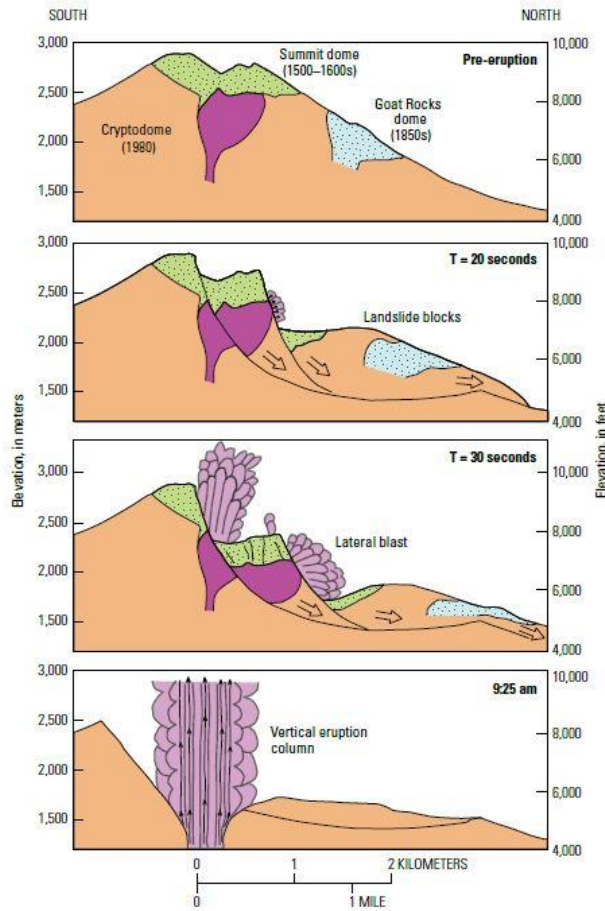


【8】 Courtesy of the U.S. Geological Survey, "Sequence of Mount St. Helens photos of the colossal landslide and ensuing lateral blast following the Mw 5.1 earthquake, 1980. Timestamps indicate the time following the earthquake."



噴火に伴う特殊な現象

マグニチュード5.1の地震を契機に、北側斜面が崩壊して大規模噴火を誘発。
直径1.5kmの馬蹄形カルデラを形成。爆風で約22km先まで樹木が倒れた。



左【9】右【10】 Pallister, J. S., Clynne, M. A., Wright, H. M., Van Eaton, A. R., Vallance, J. W., Sherrod, D. R., & Kokelaar, B. P. (2017). Field-trip guide to Mount St. Helens, Washington-An overview of the eruptive history and petrology, tephra deposits, 1980 pyroclastic density current deposits, and the crater. Scientific Investigations Report, (2017-5022-D).

⇒ 北海道駒ヶ岳，渡島大島，雲仙普賢岳などでは、
崩れた土砂が海に入って津波を引き起こした

噴火規模の指標

○火山爆発指数 (Volcanic Explosivity Index: VEI) (Newhall and Self, 1982)

- 噴火で放出された火砕物の体積と噴煙高度 (爆発性) に基づく9段階の指標
- 噴出物が残っていれば過去の噴火にも適用できるため、広く使われている
- 溶岩流出を主とする溢流的噴火の評価には適さない カルデラ形成を伴う

VEI	0	1	2	3	4	5	6	7	8
規模	非爆発的 噴火	小規模	中規模	やや 大規模	大規模	非常に 大規模			
テフラ体積 (m ³)	1×10^4	1×10^6	1×10^7	1×10^8	1×10^9	1×10^{10}	1×10^{11}	1×10^{12}	
噴煙高度 (km) 火口上 海面上	<0.1	0.1-1	1-5	3-15	10-25	>25			
噴火のタイプ	← ハワイ式 →	← ストロンボリ式 →		← ブルカノ式 →		← プリニー式 →			← ウルトラプリニー式 →
噴火継続時間	← <1 時間 →		← 1-6 時間 →			← >12 時間 →			
対流圏への供給	微小	少量	中程度	大量					
成層圏への供給	なし	なし	なし	時にあり	必ずあり	顕著			

御嶽山(2014年) VEI 2

新燃岳(2011年, 2018年) VEI 3

桜島(1914年) VEI 4

富士山(1707年) VEI 5

フンガ・トンガ(2022年) VEI 5

ピナツボ(1991年) VEI 6

タンボラ(1815年) VEI 7

阿蘇4(9万年前) VEI 7

Newhall, C. G., & Self, S. (1982). The volcanic explosivity index (VEI) an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 87(C2), 1231-1238. を翻訳し引用



噴火規模の指標

○噴火マグニチュード(早川, 1993)

- 噴出物の質量から求める噴火規模の指標
- 溢流的噴火(溶岩流・溶岩ドーム)にも適用できる

$$M = \log_{10} m - 7 \quad m: \text{噴出物の質量 (kg)}$$

○噴火強度

- 単位時間当たりの噴出質量

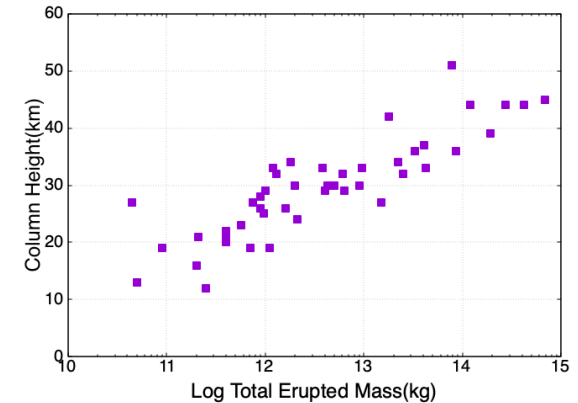
$$I = \log_{10} \dot{m} + 3 \quad \dot{m}: \text{噴出率 (kg/s)}$$

ピナツボ(1991年:VEI 6)の場合

噴煙最大高度: 35 km

噴出物質量: 1.1×10^{13} kg ... $M = 6.0$

最大噴出率: 4×10^8 kg/s ... $I = 11.6$



[11] Steven Carey et al, The intensity of plinian eruptions, Bulletin of Volcanology, 51, p28-40, 1989, Springer Nature

噴煙高度は総噴出量と高い相関



[6] Courtesy of the U.S. Geological Survey, "The June 12, 1991 eruption column from Mount Pinatubo taken from the east side of Clark Air Base."



目次

1. 火山の分布と地学的な背景

火山とは. 世界及び日本の活火山分布と, 分布の偏りをもたらす
テクトニクス の復習

2. 火山噴火の様式と規模

多様な火山噴火様式とマグマ組成についての復習. 噴火規模の
指標の例

3. 火山噴火がもたらす多様な災害

火山噴火がもたらす多様な自然現象・災害の紹介



噴火に伴う様々な現象



【12】 出典：気象庁ホームページ

(<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kazan/volsaigai/saigai.html>)

火山現象の例：

- 力学(固)的：火山性地震，地盤変動，噴石・火山弾・・・
- 力学(流)的：噴煙上昇・移流・降下，溶岩流，火砕流，温泉，噴気，山体崩壊・・・
- 熱学的：マグマ生成・冷却，地熱異常，噴煙運動・・・
- 電磁気学的：磁場・電場変化，火山雷，熱水流動・・・
- 化学的：火山ガス，マグマ組成変化，温泉成分・・・

⇒ これらの現象の影響が社会生活に及ぶと「**火山災害**」

火山活動に伴う様々な現象は、

- 力学的(固体的)な現象
- 力学的(流体的)な現象
- 熱学的な現象
- 電磁気学的な現象
- 化学的な現象

が、複雑に絡み合う



噴火に伴う様々な火山災害

- 衝撃波, 爆風



【13】撮影：MRT宮崎放送

- 噴石, 火山弾



【14】写真：名古屋市消防局

- 火砕流, 火砕サージ



【15】Courtesy of the U.S. Geological Survey / Pyroclastic flow during August 7, 1980, Mount St. Helens eruption. The view is from Johnston Ridge, located 8 km (5 mi) north of Mount St. Helens.

- 山体崩壊 → 津波



【16】Pengguna DriftingPangea, CC BY-SA 3.0

- 火山泥流, 土石流



【17】出典：宇井忠英, 現場で熱を感じ探る 火山の仕組み, ベレ出版, 2023, 304p.

急速に進展する火山現象

噴火に伴う様々な火山災害

- 溶岩流



キラウエア(ハワイ)

【18】 Courtesy of the U.S. Geological Survey

- 地盤変動



有珠山(北海道)

【19】 出典：伊達市ホームページ
(<https://www.city.date.hokkaido.jp/hotnews/detail/00001026.html>)

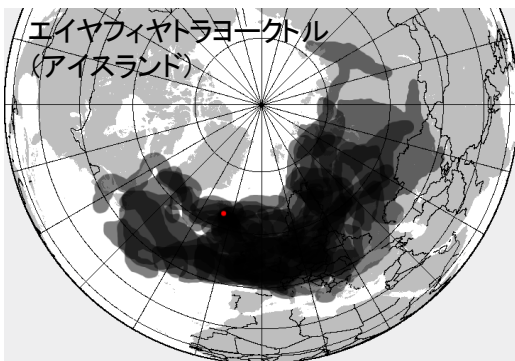
- 降下火砕物



有珠山(北海道)

【20】 写真提供：共同通信社

- 火山ガス, 大気汚染



エイヤフィヤトラヨークトル
(アイスランド)

【21】 Cogiati, CC BY-SA 3.0 (Wikipedia
「2010年のエイヤフィヤトラヨークトルの噴火による交通麻痺」より)

緩やかに進展する火山現象

2010年4月からの噴火では、欧州全域に広がった火山灰の影響で航空網が大混乱



噴火災害と原因別死者数

西暦1680年以降の火山災害による原因別死者数

死亡原因	1680-1899	1900-1986
火砕流・岩屑なだれ	18,200 (9.8%)	36,800 (48.4%)
火山泥流・洪水	8,300 (4.5%)	28,400 (37.4%)
降下火砕物・噴石	8,000 (4.3%)	3,000 (4.0%)
津波	43,600 (23.4%)	400 (0.5%)
噴火後の飢饉・疫病	92,100 (49.4%)	3,200 (4.2%)
溶岩流	900 (0.5%)	100 (0.1%)
火山ガス・酸性雨	-	1,900 (2.5%)
その他・不明	15,100 (8.1%)	2,200 (2.5%)
合計	186,200 (100%)	76,000 (100%)
年平均死者数	620	880

多数の死者を出す噴火災害は、

- 火砕流
- 岩屑なだれ(山体崩壊)
- 火山泥流
- 津波
- 飢饉

高速(高温)の物質移動を伴う現象
に起因する

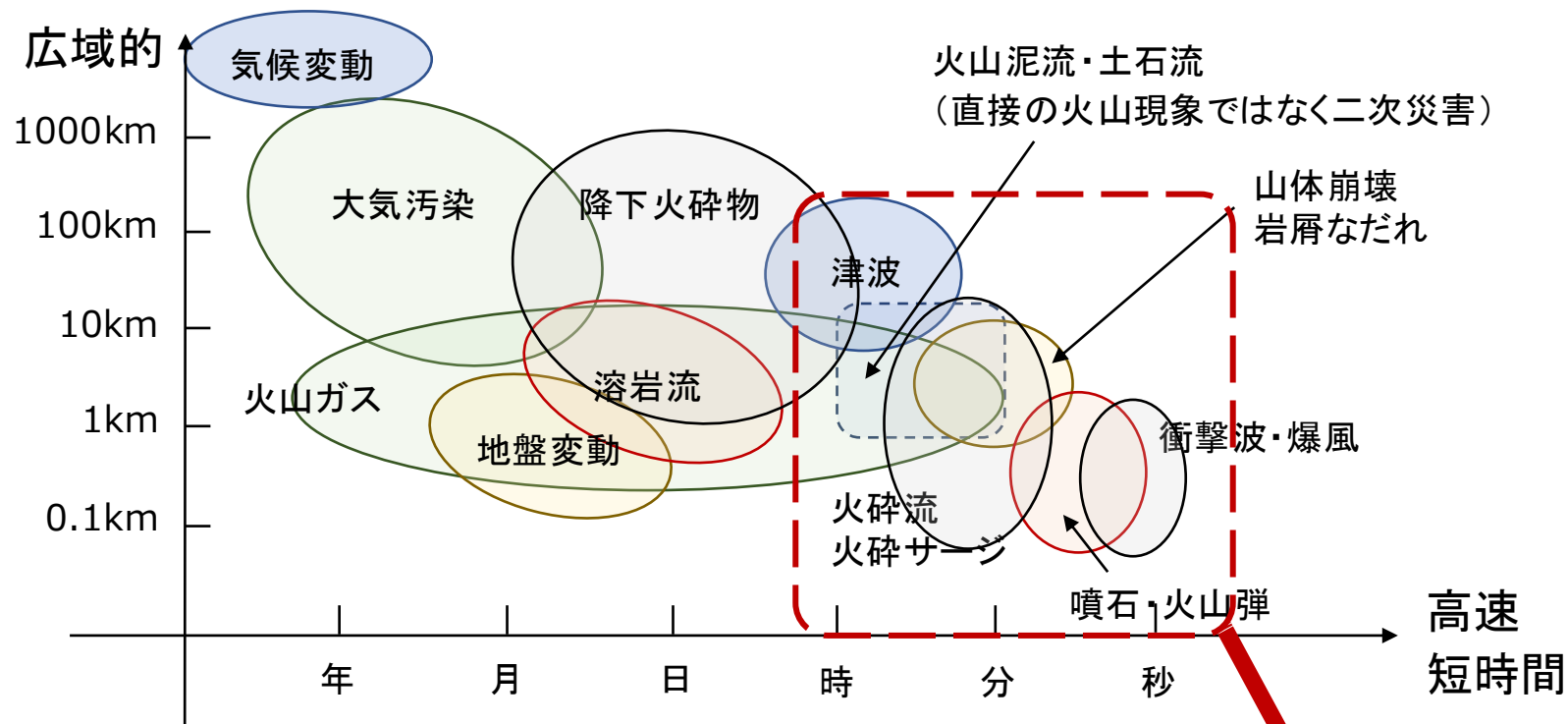
西暦1000年以降の主要な火山災害と原因別死者数

火山名	国名	噴火年	死者数・原因
メラピ	インドネシア	1006	1,000 火砕流・火山泥流
ケル	インドネシア	1586	10,000 火山泥流
ベスピア	イタリア	1631	>4,000 火砕流
メラ	インドネシア	1672	300 火砕流・火山泥流
ア	インドネシア	1711	3,200 火山泥流
渡島大島	日本	1741	1,475 山体崩壊・津波
コトバク	エクアドル	1741	1,000 火山泥流
マキア	インドネシア	1760	2,000 火山泥流
パンダヤン	インドネシア	1772	2,960 火砕流
ラカギガル	アイスランド	1783	9,340 飢饉
浅間	日本	1783	1,491 岩屑なだれ・火山泥流
雲仙	日本	1792	14,524 山体崩壊・津波
マヨ	フィリピン	1814	1,200 火砕流
タンボラ	インドネシア	1815	12,000 火砕流, 80,000 飢饉
ガルング	インドネシア	1822	4,000 火山泥流
ネバデルルイス	コロンビア	1845	1,000 火山泥流
ア	インドネシア	1856	3,000 火山泥流
コトバク	エクアドル	1877	1,000 火山泥流
クラカタウ	インドネシア	1883	36,240 津波・火砕流
ア	インドネシア	1892	1,530 火山泥流
スフリエール	セントビンセント	1902	1,560 火砕流
ブレ	マルティニーク	1902	29,000 火砕流
サンタマリア	グアテマラ	1902	2,500 火砕流
タ	フィリピン	1911	1,330 火砕流(ベースサージ)
ケル	インドネシア	1919	5,110 火山泥流
メラピ	インドネシア	1951	1,300 火砕流
ラミングトン	パプアニューギニア	1951	2,940 火砕流
ヒボックヒボック	フィリピン	1951	500 火砕流
ア	インドネシア	1963	1,900 火砕流
セントヘレンズ	アメリカ	1980	57 山体崩壊
エルチヨン	メキシコ	1982	>2,000 火砕流
ネバデルルイス	コロンビア	1985	>22,000 火山泥流

左表【22】 右表【23】 Robert I. Tilling, Volcanic hazards and their mitigation: Progress and problems, Reviews of Geophysics, Volume 27, Issue 2, p237-269
を翻訳 (【23】は一部改変)



噴火災害の時空間スケール



- 力学現象は高速なほど、物理的な破壊力が大きい
- 広域的なほど、影響を受ける範囲や経済損失が大きい

現象が高速で破壊力も大きく、直接人命に関わる災害であるため、事前避難などの対応が必要



火山評価ガイドにあげられた火山事象

表1 原子力発電所に影響を与える可能性のある火山事象及び位置関係^{注1}

火山事象	潜在的に影響を及ぼす特性	原子力発電所との位置関係
1. 降下火砕物	静的な物理的負荷、気中及び水中の研磨性及び腐食性粒子	注2
● 2. 火砕物密度流：火砕流、火砕サージ及びプラスト	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、300℃超の温度、研磨性粒子、毒性ガス	160km
● 3. 溶岩流	動的な物理的負荷、洪水及び水のせき止め、700℃超の温度	50km
● 4. 岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、水のせき止め及び洪水	50km
5. 土石流、火山泥流及び洪水	動的な物理的負荷、水のせき止め及び洪水、水中の浮遊粒子	120km
6. 火山から発生する飛来物（噴石）	粒子の衝突、静的な物理的負荷、水中の研磨性粒子	10km
7. 火山ガス	毒性及び腐食性ガス、酸性雨、ガスの充満した湖、水の汚染	160km
● 8. 新しい火口の開口	動的な物理的負荷、地盤変動、火山性地震	注3
9. 津波及び静振	水の氾濫	注4
10. 大気現象	動的過圧、落雷、ダウンバースト風	注4
● 11. 地殻変動	地盤変位、沈下又は隆起、傾斜、地滑り	注4
12. 火山性地震とこれに関連する事象	継続的微小動、多重衝撃	注4
13. 熱水系及び地下水の異常	熱水、腐食性の水、水の汚染、氾濫又は湧昇、熱水変質、地滑り、カルスト及びサーモカルストの変異、水圧の急変	注4

● 設計対応不可能な火山事象とされているもの

【24】出典：「原子力発電所の火山影響評価ガイド」（原子力規制委員会）
<https://www.nra.go.jp/data/000294814.pdf>



まとめ

- 海洋プレートが沈み込むプレート収束境界には活火山が数多く分布し、日本には地球上の活火山の約7%が存在しています。
- 火山活動の源であるマグマは、融けた岩石であるメルト(液相)、鉱物の結晶(固相)、水蒸気等の揮発性物質(気相)の3相混合物です。
- 火山爆発指数(VEI)といった噴火の規模を表す指標が考えられていて、噴火による噴出物の量にもとづいてランク分けされています。
- 噴火に伴う多様な火山現象のうち、5つの事象が原子力規制庁による火山評価ガイドで「設計対応不可能な事象」に位置づけられています。



出典一覧

No.	ライセンス	出典情報
[1]		Eric Gaba (Sting - fr:Sting), CC BY-SA 2.5 < https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5 >, via Wikimedia Commonsをもとに情報を追記
[2]	✚	杉村新, 中村保夫, 井田喜明 (編) 『図説 地球科学』, 岩波書店, 1988をもとに情報を追記
[3]	✚	Ronny Quireyns / www.volcanodiscovery.com
[4]	✚	鹿児島地方気象台「昭和火口の噴火と火山雷 (2012年2月9日、黒神町より撮影)」 (https://www.data.jma.go.jp/kagoshima/vol/photogallery/index.html)
[5]	✚	鹿児島地方気象台「南岳山頂火口の噴火。噴煙が火口縁上3000mまで上昇した (2009年10月3日鹿児島地方気象台より撮影)」 (https://www.data.jma.go.jp/kagoshima/vol/photogallery/index.html)
[6]	✚	Courtesy of the U.S. Geological Survey, "The June 12, 1991 eruption column from Mount Pinatubo taken from the east side of Clark Air Base." (https://www.usgs.gov/media/images/june-12-1991-eruption-column-mount-pinatubo-taken-th)
[7]	✚	VolFilm (https://www.iavceivolcano.org/new-public-information-films-on-volcanic-hazards-and-their-impact/)
[8]	✚	Courtesy of the U.S. Geological Survey, "Sequence of Mount St. Helens photos of the colossal landslide and ensuing lateral blast following the Mw 5.1 earthquake, 1980. Timestamps indicate the time following the earthquake." (https://www.usgs.gov/media/images/sequence-mount-st-helens-photos-colossal-landslide-and-e)
[9]	✚	Pallister, J. S., Clynne, M. A., Wright, H. M., Van Eaton, A. R., Vallance, J. W., Sherrod, D. R., & Kokelaar, B. P. (2017). Field-trip guide to Mount St. Helens, Washington-An overview of the eruptive history and petrology, tephra deposits, 1980 pyroclastic density current deposits, and the crater. Scientific Investigations Report, (2017-5022-D).
[10]	✚	Pallister, J. S., Clynne, M. A., Wright, H. M., Van Eaton, A. R., Vallance, J. W., Sherrod, D. R., & Kokelaar, B. P. (2017). Field-trip guide to Mount St. Helens, Washington-An overview of the eruptive history and petrology, tephra deposits, 1980 pyroclastic density current deposits, and the crater. Scientific Investigations Report, (2017-5022-D).

出典一覧

No.	ライセンス	出典情報
【11】	✦	Steven Carey et al, The intensity of plinian eruptions, Bulletin of Volcanology, 51, p28-40, 1989, Springer Nature
【12】	✦	気象庁ホームページ (https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kazan/volsaigai/saigai.html)
【13】	✦	撮影：MRT宮崎放送
【14】	✦	写真：名古屋市消防局
【15】	✦	Courtesy of the U.S. Geological Survey / Pyroclastic flow during August 7, 1980, Mount St. Helens eruption. The view is from Johnston Ridge, located 8 km (5 mi) north of Mount St. Helens.
【16】		Pengguna DriftingPangea, CC BY-SA 3.0 (https://www.gfz-potsdam.de/en/press/news/details/kick-off-for-tsunami-risk-project)
【17】	✦	宇井忠英, 現場で熱を感じ探る 火山の仕組み, ベレ出版, 2023, 304p.
【18】	✦	Courtesy of the U.S. Geological Survey (https://www.usgs.gov/volcanoes/kilauea/news/photo-and-video-chronology-kilauea-may-5-2018)
【19】	✦	伊達市ホームページ (https://www.city.date.hokkaido.jp/hotnews/detail/00001026.html)
【20】	✦	写真提供：共同通信社

出典一覧

No.	ライセンス	出典情報
【21】		Cogiati, CC BY-SA 3.0 (Wikipedia「2010年のエイヤフィヤトラヨークトルの噴火による交通麻痺」より)
【22】	✖	Robert I. Tilling, Volcanic hazards and their mitigation: Progress and problems, Reviews of Geophysics, Volume 27, Issue 2, p237-269 を翻訳
【23】	✖	Robert I. Tilling, Volcanic hazards and their mitigation: Progress and problems, Reviews of Geophysics, Volume 27, Issue 2, p237-269 を翻訳 (一部改変)
【24】	✖	「原子力発電所の火山影響評価ガイド」(原子力規制委員会) (https://www.nra.go.jp/data/000294814.pdf)