

現場工事監理中の観察による Sumeru 火山大規模火砕流発生機構の仮説

八千代エンジニアリング株式会社 下田義文

まえがき

インドネシア国の Sumeru 火山では過去 3 回にわたり日本の協力による火山土石流対策事業が実施されている。年代順に、1982-1984 年のスメル火山砂防水資源保全調査（技術協力）、1986-1991 年のスメル火山緊急火山土石流対策事業（円借款）、1995-2001 年のスメル・メラビ火山砂防緊急土石流対策事業（円借款）が実施されており、私はいずれの事業にも参加し、延べ約 6 年間現地に滞在し、Sumeru 火山を見てきた。最初の 2 回の現地滞在は雲仙普賢岳噴火で「火砕流」が注目を集める数年以前であり、初めて見る火砕流に強い興味を持った。土石流対策計画作成及び導流堤建設工事監理の合間に、火砕流の流下状況を観察した。そうした火砕流観察により Sumeru 火山の大規模火砕流発生について仮説を持つようになった。

1. Sumeru 火山の概要

Sumeru 火山は東部ジャワ州の大都市スラバヤ市から南東 100 km の距離にある Lumajang 県の西端に位置している、海拔 3676m のジャワ島最高峰である。同火山は火砕流及び溶岩流を主とした活発な山頂噴火を繰り返しており、1909 年以降は大規模火砕流が約 5 年に 1 回発生している。山頂の火口壁が南東方向に開き大溪谷を形成しているの、火砕流はこの大溪谷を流下し、その最長到達距離は 17 km に達する。

南東山麓には 100km² 以上の流域面積を持つ Mujur 川、Rejali 川、Glidik 川の 3 河川が流れているが、1984 年以降は火砕流が Rejali 川に集中して流下している。火砕流発生後の 1、2 年間は、降雨による土石流が頻発し、扇状地で氾濫し農村部に大きな被害を与えている。

2. 火山活動

Sumeru 火山の噴火活動は①噴煙、②溶岩ドームの成長、③溶岩流、④溶岩舌、⑤溶岩ドーム・溶岩舌の崩落、⑥火砕流に区分して記録されている。噴煙は火山砕屑物の移動を伴わない活動である。溶岩舌は溶岩流の流下距離が数 100m の短いものを称している。④⑤及び⑥の小規模なものは、年に数 100 回、南東方向へ流下・落下して大溪谷に堆積しており、これらの到達距離は火口から 2 km 未満である。



図-1 Sumeru 火山の火山活動の種類

3. 大規模火砕流発生時の降雨量

Sumeru 火山周辺では古くから雨が降ると火砕流が発生するという伝聞がある。1900 年代の前半に降雨と Sumeru 火山の火砕流発生の相関に関する研究結果が発表されたが、結論は相関が認められないであった。Sumeru 火山で発生する火砕流の規模は様々で、到達距離が火口から 2km 未満の小規模のものから数 km 以上の大規模なものまでさまざまである。小規模火砕流の発生頻度は大きく変動するが、多いときは表-1 に示すように 1 日に 10 数回発生している。前述の降雨と火砕流発生の相関に関する研究が対象にした火砕流規模は明確でないが、小規模火砕流も含まれた可能性がある。これに対して、住民の言う火砕流は居住区に達するような到達距離数 km 以上の火砕流を対象にしていると考えられる。

表-1 噴煙及び火砕流の発生雄頻度事例¹⁾

Month / Year	Explosive	Pyroclastic Flow
Feb 2012	2336 (3.5/hour)	430 (15/day)
Mar 2012	1665 (1.3/hour)	40 (1/day)
Apr 2012	3447 (4.8/hour)	4 (1/week)

居住区に達し被害を与えた大規模火砕流の近年 50 年間の発生を表-2 に示す。1995 年の火砕流以外はすべて雨期（10 月-4 月）に発生している。表-2 に火砕流の発生した時期の降雨量を整理して示した。

Sumeru 山麓には 5 雨量観測所があるが、欠測が多いので火砕流が流下する Koboan 川に最も近い観測所のデータを採用した。火砕流発生当日の雨量は 0 または少なく、発生の前期降雨量が多い。発生当日の雨量が小さいことは、溶岩ドームに降雨が浸透して気化し、その膨張圧で溶岩ドームが崩壊し火砕流が発生するとした Adrian Matthews²⁾ が提案したエトナ山、セントヘレンズ山の火砕流発生機構とは異なる。発生の前期降雨量が多いことから、古い火山砕屑物に降雨が浸透し、そこへ高温の溶岩が流れ込み、その熱で間隙水が水蒸気となり膨張し、火山砕屑物へ浮力となって作用し火砕流を引き起こしたと考えるのが適切である。火砕流発生の 3 週間前まで遡ると雨期の平均月間雨量（255mm）の 1.2~1.7 倍の降雨がある。1995 年の火砕流発生は乾季の 7 月にも関わらず 3 週間に 311 mm の雨量が発生している。

表－2 大規模火砕流の発生と降雨

火砕流発生日時		火砕流流入河川	火砕流規模		雨量(mm)			
年月日	時刻		到達距離(km)	推定量(1,000 m ³)	当日	前1週	前2週	前3週
1977. 12. 01		kembar	10	6,400				
1981. 03. 28	17:55	Bang	10	?	0	100	178	346
		Kokoan	10	6,500				
1994. 02. 03	3:50	Kokoan	12	10,500	0	106	256	432
		kembar	8	3,000				
1995. 07. 20	13:50	Kokoan	10	10,500	40	40	106	311
2021. 12. 04	15:20	Kokoan	16	8,000	4	40	177	342
2022. 12. 04	12:00	Kokoan	17	?				

4. 大規模火砕流発生機構と予測の可能性

前述の大規模火砕流発生の概念を図-2に示す。まず、小規模火砕流及び溶岩舌崩落による火山砕屑物が大溪谷の中に蓄積し、次に連続的な降雨により火山砕屑物の間隙水が増加し、最後に溶岩流・溶岩舌が発生して間隙水が気化し水蒸気による浮力が発生することで火山砕屑物が火砕流となって流下する。すなわち「火山砕屑物の堆積」「大量の事前降雨」「溶岩の流出」の3つの現象が大規模火砕流発生の条件である。

火口から南東斜面に発達した大溪谷は、Google Earthの写真から計測すると、平均幅300m、平均深さ50m、延長2,000m、容積空間30,000,000m³である。図-3は1981年、1994年、2021年火砕流後の大溪谷の写真であり、深い大溪谷が露になっている。大溪谷は、火砕流発生前はほぼ埋没していた。2021年噴火前後の谷の状況はGoogle Earthで確認できる。このような大規模火砕流発生前後の大溪谷の埋没と再出現の繰り返しは、図-2に示す大規模火砕流発生機構の妥当性を示している。

1981年、1994年及び2021年に大規模火砕流が発生しており、後2者は2年続けて発生しており、火砕流堆積物量は表-4に示すようにそれぞれ24,000,000m³と(8,000,000+ α)m³と推定されている。南東の大溪谷に火山砕屑物が貯留されるとすると最大約30,000,000m³であり、降雨量及び溶岩流の規模が大きくなればさらに大規模な火砕流が発生する可能性が想定される。大規模火砕流発生のトリガーは溶岩流・溶岩舌の発生であるが、大溪谷の火山砕屑物の堆積状況、短期間の連続降雨をモニタリングすることで、大規模火砕流の発生を事前に予測し、砂防施設の緊急徐石を実施して、泥流流下に備えることが可能になる。

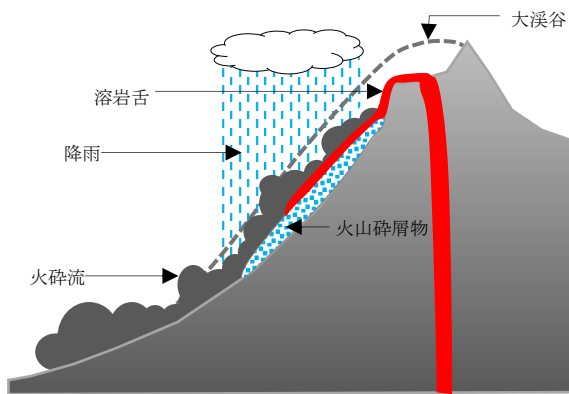


図-2 Semeru 火山の大規模火砕流発生概念図



図-3 1981年及び2021年大規模火砕流前後の大溪の状況

あとがき

2021年12月4日の大規模火砕流と土石流災害を受けて、Semeru火山砂防基本計画見直のためのJICA技術協力が実施された。その現地調査のために2022年7月に現地を訪問した際に、1984年に基本計画と一緒に作成した当時のSemeru火山事業事務所の技術者Muljo Humani氏（Semeru火山山麓のPasirianの生まれ育ちで、Semeru火山事業事務所及びKelud火山事業事務所に長年勤務し、現在退官している）と再会した。その際、彼がSemeru火山の大規模火砕流発生に関して全く同じ考えを持っている事を知った。

参考文献

- 1) Smithsonian Institution National Museum of Natural History (2023): Global Volcanism Program, Semeru (Indonesia), Bulletin Reports April 2012 (BGVN)
- 2) James Randerson (2002): Rainstorm could trigger killer eruptions, New Scientist Weekly Magazine (7 September 2002), <https://www.newscientist.com> (downloaded at 11 March 2024)