

## 102 インドネシアメラピ火山における溶岩円頂丘の発達と 雪崩型火碎流の流走距離に関する一考察

建設省土木研究所 ○山田 孝  
石川 芳治  
矢島 重美

### 1. はじめに

世界的な火山国であるインドネシアの中でもジャワ島中部ジョクジャカルタ市の北方約30kmに位置するメラピ火山（標高2,911m）は最も活発な火山のひとつである。西暦1,500年以降についてその活動史をみてみると61回もの噴火の記録があり、1~20年間程度の噴火の周期性がみられる（表-1）。メラピ火山の噴火の特徴は、爆発とともにAwan panas（インドネシア語で高温の泡状の雲という意味）と呼ばれ恐れられている火碎流を高頻度で発生させていることである。前述の61回もの噴火回数の内、30回にのぼる火碎流の発生記録があり、これまで死者1,000人以上にものぼる壊滅的な災害を火山周辺部にもたらしたことがある。

火碎流による災害を防止軽減していくことは、インドネシアのみならず、火山を抱える国では非常に重要なことであるが、発生・流動・堆積に関する実際の情報が極めて少なく、メカニズムを十分説明できるまでには至っていない。今回、メラピ火山に訪れる機会があり、最近の火山活動状況ならびに過去に発生したいくつの火碎流の流走距離等に関する情報を得た。火碎流の発生源の規模と流走距離に関してインドネシア国で収集したデータならびに模型実験により若干の考察を行つたので以下に報告する。

### 2. メラピ火山で発生する雪崩型火碎流

メラピ火山で発生する火碎流はその発生形態から①爆発型火碎流、②雪崩型火碎流の2つのタイプに大別できることが報告されている<sup>2)</sup>。爆発型火碎流は、爆発に伴つて火口から放出されたあるいは噴煙柱の崩壊による多量の本質物質が山腹斜面に落下し、火山ガス等と混合して流下する。一方、雪崩型火碎流は火山活動の活発化によってマグマが火口付近まで上昇し、溶岩円頂丘が発達してその一部が崩壊すること（火口から流出した厚い舌状の溶岩末端部の崩壊によっても発生する）によって発生するものであり（図-1）、爆発型火碎流と比較してメラピ火山ではその発生頻度が高い。これまで記録されているメラピ火山での30回にのぼる火碎流発生事例のうち、少なくとも18回は典型的な雪崩型火碎流であると思われる。

表-1 西暦1000年以降のメラピ火山の活動史<sup>1)</sup>

No.	Year	Type of eruption	No.	Year	Type of eruption
1.	1000	E	*	1862-1864	EN FD
2.	1548	EN	23	1865-1867	E FD
3.	1554	EN	24	1868	E FD
4.	1580	EN	25	1872-1873	EN F
5.	1584	EN	26	1883-1884	N
6.	1584	E	*	1887-1888	EN FD
7.	1588	EN	33	1894	E
8.	1597	EN	39	1902-1903	D
9.	1658	E	40	1904	D
10.	1663/1664	EN	41	1905	F
11.	1672	E	42	1906-1907	D
12.	1677	E	43	1908	E D
13.	1678	E	44	1909-1913	E D
14.	1745	E	45	1915	E D
15.	1752	E	*	1920-1921	EN D
16.	1755	E	47	1922	E D
17.	1768	E	*	1930-1931	EN FD
18.	1785-1788	D	*	1933-1935	EN FD
19.	1797	D	*	1939-1940	EN D
20.	1807	E	*	1942-1943	EN FD
21.	1810-1811	D	*	1944-1945	EN D
22.	1812-1813	D	*	1948-1949	E F
23.	1820-1822	D	*	1953-1954	EN PFD
24.	1822-1823	EN	*	1955-1957	EN F
25.	1828	D	*	1961	E
26.	1832-1835	EN	FD	*	1967
27.	1837-1838	EN	FD	*	1968
28.	1840	E	FD	*	1969
29.	1848-1847	EN	FD	*	1972-1973
30.	1848	E	FD	*	1978-1983
31.	1849	EN	F	*	1984

Where : E = Normal eruption; F = Lava flow  
N = Glowing cloud ( nuée ardente )  
P = Phreatic eruption; D = Lava dome formation

\* ○ 雪崩型火碎流（溶岩円頂丘の崩壊に起因するもの）と思われるもの

○ 爆発型火碎流（溶岩円頂丘と起因するもの）



図-1 メラピ型火碎流

### 3. 溶岩円頂丘の最近の発達状況

インドネシア鉱業エネルギー省火山局メラピ火山観測所 (VOLCANOLOGICAL SURVEY OF INDONESIA MERAPI VOLCANO OBSERVATORY) では、雪崩型火碎流の発生要因である溶岩円頂丘の発達状況 (火口周辺の地形変化、溶岩円頂丘の形状、堆積、温度等の変化) を1ヵ月に1回、定期的に観測している。とくに、1989年にはR.O.V.S(Remote Operated Vision System)と呼ばれる溶岩円頂丘監視装置が火口に設置され、ジョクジャカルタ市内にある同メラピ火山観測所において直接、その発達状況をみることができるようにになっている。

同観測所の観測データによれば、メラピ火山の溶岩円頂丘の堆積変化は、1984年の噴火以降、1989年まで一時期、停滞していたこともあったが、全体としてみれば増加傾向があり、昨年から現在に至っては再び停滞している傾向にあることがわかる (図-2)。

(図-2)。過去の雪崩型火碎流について、発生年の前後における溶岩円頂丘の堆積変化を

比較してみると、例えば1972、1973年ならびに1984年の場合では、火碎流発生前後とも急激に溶岩円頂丘の堆積が増加し発達傾向にあるが、1969年の場合は、火碎流発生後わずかに堆積が減少している。このような傾向からだけでは現在、火碎流発生の徵候があるのかどうか明らかではないが、ここ3～4年で急激に溶岩円頂丘の体積が増加し、現在では約600万m<sup>3</sup>にもおよんでいることから危険な状態であることは確かなようである。

### 4. 溶岩円頂丘の体積と雪崩型火碎流の流走距離

メラピ火山観測所のデータによれば、1972年、1973年、1984年の火碎流の流走距離は短く、各々火口から南西斜面沿いに水平距離にして2.5km, 3.5km, 6km流走しているのに対し、1969年の場合は火碎流の流走距離が比較的長く、火口から南西斜面のプティ川沿いに水平距離にして12.5kmの地点まで到達している。

火碎流の流走距離は火碎流の規模が大きいほど長くなることが経験的にこれまでの研究やスメル火山での調査結果<sup>3)</sup>から知られており、メラピ火山のように溶岩円頂丘の崩壊によって発生する火碎流の場合には、その崩壊規模が火碎流の流走距離を支配する大きな要因であると思われる。

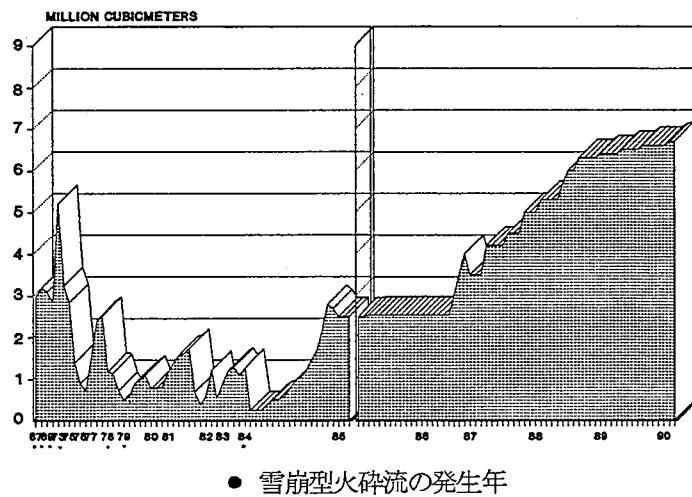


図-2 メラピ火山の溶岩円頂丘の体積変化  
(インドネシア鉱業エネルギー省メラピ火山観測所提供)

但し、火碎流発生時における溶岩円頂丘の崩壊規模については発生前後の航空写真や計測データがないので、正確に把握することは困難である。溶岩円頂丘全体の体積のうち、どの程度崩壊しているかについてはわからない点が多いが、溶岩円頂丘の崩壊規模はその全体の堆積にある程度比例すると仮定して発生直前における溶岩円頂丘の堆積と火碎流の流走距離との関係を調べてみると図-3のようになる。データはひどくばらついてはいるが、溶岩円頂丘の堆積が大きければ流走距離も大きくなるという関係は認められ、あえて両者の関係を経験式で示すと

$$D \propto V^{0.5} \dots \dots \dots (1)$$

となる。ここでVは溶岩円頂丘の堆積、Dは火碎流の流走距離である。

図-2からもわかるように、現在の溶岩円頂丘の堆積は既に600万m<sup>3</sup>にも及んでおり、仮に(1)で示したような関係に基づけば現在の状態で火碎流が発生した場合、その流走距離は火口から水平距離にして約15~20km程度の地点まで到達する可能性があることが推測される。但し、この推測は、あくまでも溶岩円頂丘の堆積と過去に発生した雪崩型火碎流の流走距離との間の経験的な関係に基づくものであり、溶岩円頂丘の崩壊規模、流下方向、流下区域の地形や勾配等によって、火碎流の流走距離が変化することも十分考えられる。

## 5. 土砂量と火碎流の流走距離に関する実験

次に雪崩型火碎流の流走距離に影響を与えると思われる種々の要因の中から溶岩円頂丘の崩壊規模に着目し、その大小によって流走距離がどのように変わるかを実験的に検討してみた結果を示す。

図-4は土木研究所で製作した火碎流発生実験流路を用いて検討した供給土砂量と火碎流の流走距離との関係を示したものである。ここで、メラピ火山の火碎流流走区間の地形勾配をモデル化し、実験流路の流下部の勾配を30°、堆積部の勾配を7°に設定した。また、実験ケースは、供給土砂量を10ℓ, 8ℓ, 6ℓ, 4ℓ, 2ℓの5ケース、流路底面から供給する空気の上昇速度を2.7cm/secの1ケース、火碎流発生部での空気上昇速度を2.7cm/sec, 0cm/secの2ケースとし、これらを適宜組み合わせて計10ケースとした。実験に用いた土砂は1984年に発生した火碎流の堆積物の50%粒径

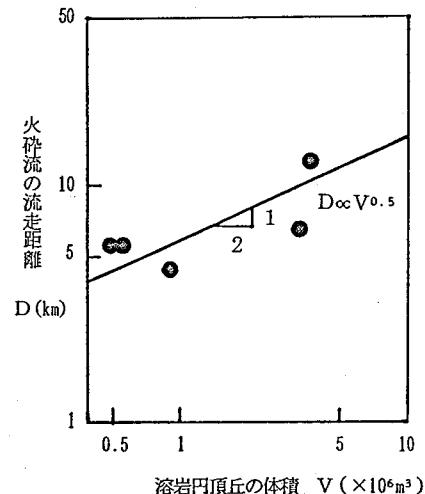


図-3 溶岩円頂丘の体積と火碎流の流走距離との関係

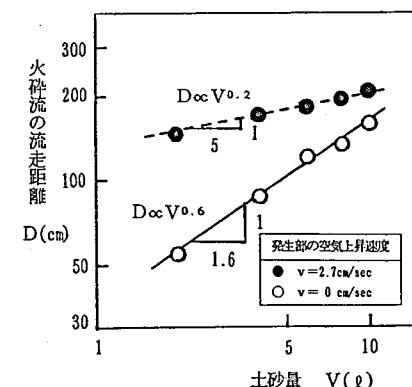


図-4 土砂量と火碎流の流走距離との関係(実験値)

に近い粒径1mmからなる均一粒径である。

この図によると、供給土砂が増加するにつれて流走距離も長くなり、その増加率がほぼ一定である傾向が見いだせる。また、火碎流発生部内の土砂にあらかじめ空気を供給して流動化させておいた場合の火碎流の流走距離は、発生部に空気を与えた場合のそれに比べて1.3倍から3倍近い大きな値となっている。発生時点で土砂に供給する空気量の大小は火碎流の流走距離に大きな影響を与えるようである。

メラピ火山での雪崩型火碎流は前述したように発達しつつある溶岩円頂丘の一部が崩壊することによって生じることが特徴であり、今回の実験において発生部に空気を与えた場合の土砂量と火碎流の流走距離との関係 ( $D \propto V^{0.6}$ ) は、図-2から推測される溶岩円頂丘の体積と火碎流の流走距離との関係 ( $D \propto V^{0.5}$ ) に近くなっている。

実際の雪崩型火碎流の発生状況については、これまで観測できた事例があまりないので、その状況はよくわからない点が多いが、いくつかの記録によれば噴火時に溶岩円頂丘が比較的乱されずに崩壊し、流下に従って流動化して火碎流へ発達していくケースが多いようである<sup>2)</sup>。

一方、崩壊土砂の運動に関する既往の研究成果によれば、土塊が水で飽和している場合の到達距離は、崩壊土砂量の1/3乗に比例することが報告されている<sup>4)</sup>。今回の実験のように、流路底面から空気を供給した場合の乾燥砂の流れのメカニズムは上述の水で飽和した土塊の運動のそれとかなり異なるものと思われるが、両者の比較を行うと今回の実験条件で見る限り、崩壊土砂量の増大に伴う流走距離の増加率に関して火碎流の方がより高めになる傾向がある。

## 6. 今後の調査・研究課題

現段階では溶岩円頂丘の崩壊規模、すなわち火碎流の発生源における土砂量に関するデータがほとんどないことが大きな問題である。今後、火山活動が活発化してきた段階で、航空写真判読や現地測量等によって火碎流発生前後の溶岩円頂丘の体積変化を把握し、その崩壊規模を精度良く求め、溶岩円頂丘の体積と崩壊量との関係、溶岩円頂丘の崩壊量と火碎流の流走距離ならびに火碎流の堆積物の量との関係等を明らかにする必要がある。さらに、模型実験等によって雪崩型火碎流の流動モデルを作成し、シミュレーション計算による火碎流の流下、堆積範囲とその影響の程度を予測する手法を開発していくことも重要な研究課題である。

## 参考文献

- 1) MERAPI VOLCANO Monitoring-Forecasting-Mitigation (1989); MERAPI VOLCANO OBSERVATORY VOLCANOLOGICAL SURVEY OF INDONESIA DIRECTORATE GENERAL OF GEOLOGY AND MINERAL RESOURCES DEPARTMENT OF MINES AND ENERGY
- 2) CH.E.STEN(不明); 1933年から1935年における中部ジャワ、メラピ火山が活発に活動していた間の熱雲観測、インドネシアにおける土石流文献集、建設省土木研究所砂防部砂防研究室、1978.12
- 3) 水山、山田、矢島、下田; (1990) 1989年にインドネシア、スマル火山で発生した火碎流の運動特性、新砂防Vol.43 No.3(170)
- 4) 江頭進治(1988); 土石の流動機構、奥田節夫教授退官記念シンポジウム、災害地形学最前線