

# 2010年10月ムラピ火山噴火における降下火砕堆積物分布調査

清水武志・山越隆雄・木佐洋志・中野陽子・森田耕司・石塚忠範

## 1. はじめに

2010年10月26日にインドネシアのジャワ島に位置するムラピ火山（Merapi Volcano; 図-1）において大規模な噴火が2006年以来4年ぶりに発生した。その後11月まで大小規模の噴火が継続した。同噴火において、噴煙柱崩壊型火砕流が発生し、大規模な被害の発生が懸念された<sup>1)</sup>。また、主にムラピ火山の南から西の広範囲に降下火砕堆積物が分布し（図-2）、噴火後の降雨によってムラピ火山の南から北西の斜面のほぼ全ての主要河川において、土石流が発生した<sup>2)</sup>。特に火口から南西に流下するプチ川（K.Putih）において多くの被害が報告されている<sup>3)</sup>。火山現象に伴う2次的な土石流の発生要因の一つは降下火砕堆積物による表面流の発生であるため<sup>4)</sup>、当チームでは、土石流の実態調査について噴火直後に数回の現地調査を実施し、その結果の一部は石塚ら<sup>5)</sup>や山越ら<sup>6)</sup>で報告した。火砕流の堆積範囲や火山体の変化については衛星画像解析<sup>2),5)</sup>や現地踏査<sup>7)</sup>による調査結果が報告されている。しかし、降下火砕堆積物の分布については衛星画像解析等によって南および南西方向に分布した報告<sup>1),4)</sup>があるものの、火口から全方位の堆積層厚の実態を調査した報告は見当たらない。そこで、降下火砕堆積物の分布および層厚について、噴火の約1年後の2011年11月および2012年1月に現地調査を実施した。

本稿では、4年ぶりに噴火したムラピ火山の降下火砕堆積物の現地調査結果を報告する。

## 2. 調査手法

### 2.1 調査地点の決定

2011年11月に、降下火砕堆積物が厚く堆積した山体の南面から北西斜面の地域の河川沿い（プチ川など）を優先的に調査した。火口からの距離と堆積厚の変化との関係及び火口から各方位への降下

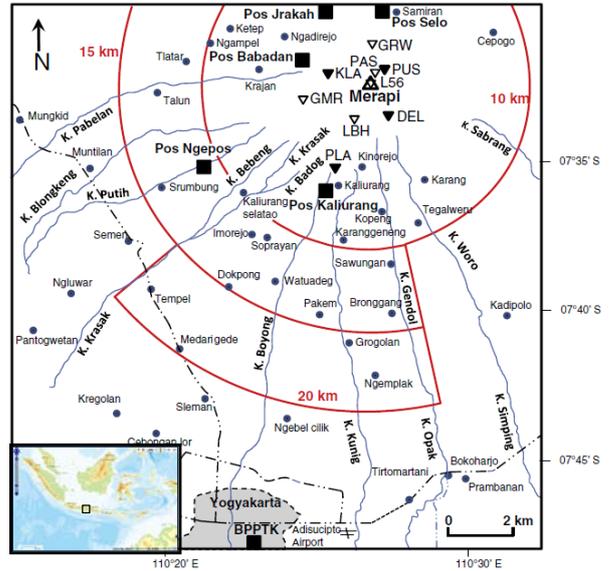


図-1 ムラピ火山南麓の地名・河川名(K.)<sup>2)</sup> 広域図を追記（地理院地図利用）

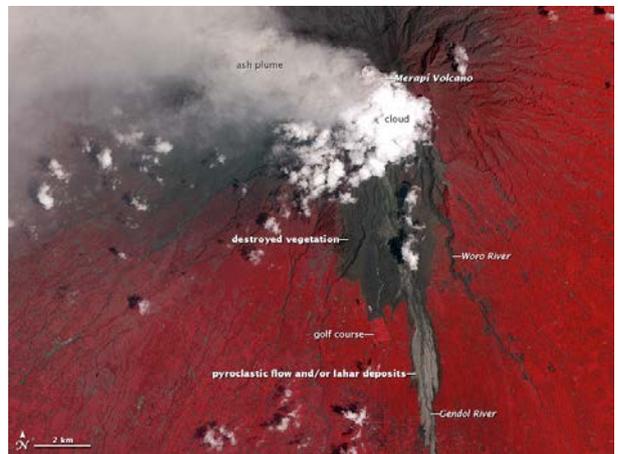


図-2 降下火砕堆積物の分布

(2010年11月5日にNASAが取得：  
<http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=46975>; 2014-1-15参照)

火砕物の堆積状況を把握するため、ムラピ火山火口から流れ出ている河川の下流から上流に沿って適切な計測地点を探した。計測地点を選ぶに当たり、降下火砕堆積物の調査実施期間が2010年10月の噴火後の雨季であったため、噴火直後の堆積厚の計測は困難であることが予想された。そのため、降雨による降下火砕堆積物の流出の影響が少なく、除石な

A Survey on air fall pyroclastic deposit thickness yielded by the 2010 October eruption of Merapi volcano

どの人為的な改変が見られない地点を選択した。その地域の調査終了後、等層厚線を作成する目的で調査範囲を火山体の全方位に拡張し 2012 年 1 月に追加調査を実施した。最終的に、噴火約 1 年後の 2011 年 11 月に火山体の南面から北西面斜面、2012 年 1 月にその他の地域を対象として、44 箇所の調査地点を決定し調査を実施した。

2.2 現地調査項目

調査項目と方法は、2011 年 1 月 27 日新燃岳噴火において、土砂災害防止法に基づく国土交通省の緊急調査として実施された、降下火砕堆積物の堆積状況や表面の固化状態の調査に倣った<sup>8)</sup>。各調査地点の結果は、次の情報を個表形式として整理した。

- (1) 調査地点の諸元：河川名、公共事業省砂防施設名、GPSによる位置（測地系: WGS84）
- (2) 写真：表面（調査前後）、断面、周辺状況
- (3) 降下火砕物堆積層厚（mm）

2.3 土質試験

土石流が頻発したプチ川の降下火砕堆積物について、2 箇所の調査地点で 3 つずつ試料を採取し土質試験（粒度試験および密度試験）を実施した。土砂の国内への搬入は困難であることから、ジョグジャカルタ（Yogyakarta；図-1 参照）のガジャマダ大学に委託した。

3. 結果

3.1 調査結果の整理

2.2 の調査項目を整理した個表の例として、プチ川におけるインドネシア公共事業省砂防施設 PU-D4 付近の調査地点の結果を図-3 に示す。写真を見ると、調査地点の周囲は植生に覆われているが、堆積層厚を計測するための断面において降下火砕堆積物および土壌の境目を色などの特徴の違いから認識可能である。降下火砕堆積物層厚は断面にメジャーをあてて、地表面からその境界までを目視で計測した。

3.2 降下火砕堆積物の分布

調査地点の調査結果の一覧を表-1 に示す。また、降下火砕堆積物の堆積層厚分布を図-4 に示す。調査地点の数字は堆積層厚の計測値を mm 単位で示した。等高線は数値地形モデル SRTM から 100m 間隔で作成した。火口から 5km から 20km まで 5km 毎の同心円を破線で示す。プチ川の方角（火口から南西方向）の遠方まで堆積層厚が大きな調査地点



図-3 プチ川（PU-D4）における調査結果

表-1 降下火砕堆積物の調査結果一覧\*

NO	経度	緯度	堆積厚(mm)	年-月-日	河川名	公共事業省砂防施設名
1	E110:26:1.94	S7:30:19.43	40.0	2011-11-26	Pabelan	AP-D4
2	E110:23:47.81	S7:29:57.44	40.0	2011-11-24	Pabelan	PA-RD2
3	E110:23:17.11	S7:30:30.81	30.0	2011-11-24	Pabelan	PA-RD5
4	E110:22:56.53	S7:30:40.05	20.0	2011-11-24	Pabelan	PA-D3 (Sengi)
5	E110:18:32.48	S7:32:50.09	5.0	2011-11-24	Pabelan	PA-C3
6	E110:24:8.79	S7:30:26.7	50.0	2011-11-26	Apu	AP-D3
7	E110:21:28.03	S7:31:48.15	15.0	2011-11-24	Trising	TR-C8
8	E110:23:57.57	S7:32:47.21	120.0	2011-9-8	Blongkeng	Gemer1
9	E110:23:34.49	S7:33:34.57	115.0	2011-11-7	Putih	PU-D5
10	E110:23:7.34	S7:34:4.27	100.0	2011-11-22	Putih	PU-D4
11	E110:22:16.57	S7:34:39.28	95.0	2011-11-22	Putih	PU-D2
12	E110:20:59.93	S7:35:12.98	20.0	2011-11-22	Putih	PU-C9
13	E110:19:40.35	S7:35:46.81	20.0	2011-11-22	Putih	PU-RD6
14	E110:18:53.17	S7:36:13.51	20.0	2011-11-22	Putih	PU-C8
15	E110:23:34.67	S7:34:46	100.0	2011-11-23	Bebeng	BE-RD2
16	E110:23:21.59	S7:34:54.34	85.0	2011-11-23	Bebeng	BE-D8
17	E110:22:54.69	S7:35:14.44	45.0	2011-11-23	Bebeng	BE-D5
18	E110:22:32.51	S7:35:31.79	30.0	2011-11-23	Bebeng	BE-D3/D2
19	E110:21:42.28	S7:36:31.86	25.0	2011-11-23	Bebeng	BE-C4
20	E110:19:25.99	S7:38:20.18	15.0	2011-11-23	Krasak	KR-C (Kopen)
21	E110:25:19.86	S7:35:45.11	50.0	2011-11-24	Boyong	BO-D7
22	E110:25:3.11	S7:36:12.35	40.0	2011-11-24	Boyong	BO-D6
23	E110:24:54.2	S7:36:58.3	20.0	2011-11-24	Boyong	BO-D4
24	E110:24:22.1	S7:35:56.25	24.0	2011-11-24	Boyong	BO-C6
25	E110:24:4.8	S7:38:28.85	25.0	2011-11-24	Boyong	BO-C8A
26	E110:24:3.13	S7:38:34.14	25.0	2011-11-24	Boyong	BO-D1
27	E110:23:40.94	S7:39:57.15	15.0	2011-11-24	Boyong	BO-C2
28	E110:23:22.93	S7:41:53.01	15.0	2011-11-24	Boyong	BO-C1
29	E110:28:13.08	S7:35:49.95	25.0	2012-1-4	Woro	WO-D6
30	E110:28:11.07	S7:33:59.53	20.0	2012-1-4	Manggal	-
31	E110:28:52.57	S7:32:11.62	30.0	2012-1-4	Mogol	-
32	E110:30:54.16	S7:33:9.06	15.0	2012-1-4	Mogol	-
33	E110:32:15.32	S7:33:17.89	0.0	2012-1-4	Mogol	-
34	E110:28:35.1	S7:30:58.32	25.0	2012-1-4	Gandul	-
35	E110:30:54.44	S7:30:52.79	0.0	2012-1-4	Gandul	-
36	E110:27:9.85	S7:30:56.36	0.0	2012-1-4	Pabelan	-
37	E110:17:56.58	S7:31:7.9	15.0	2012-1-5	Loneng	-
38	E110:23:55.06	S7:31:7.33	50.0	2012-1-5	Trising	TR-D4
39	E110:23:3.09	S7:31:11.28	40.0	2012-1-5	Trising	TR-RD2
40	E110:21:47.13	S7:31:33.02	25.0	2012-1-5	Trising	TR-C8
41	E110:22:57.22	S7:32:6.96	50.0	2012-1-5	Senowo	SE-RD5
42	E110:23:47.89	S7:35:39.9	30.0	2012-1-5	Bedog	KR-D5
43	E110:25:44.16	S7:37:4.32	20.0	2012-1-6	Kunung	KU-D2
44	E110:25:59.21	S7:35:47.43	40.0	2012-1-6	Kunung	KU-C1

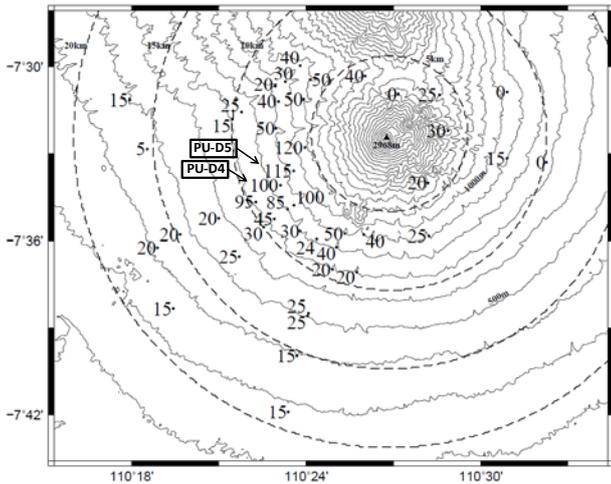


図-4 調査地点の降下火砕堆積物の堆積層厚 (mm)

が存在している。一方、火口から北東面斜面では堆積が見られなかったことおよびアクセス可能な良好な調査地点の決定が難しかったため、調査箇所が少ない。堆積層厚が 0mmの地点だけの河川も存在する。

### 3.3 土質試験結果

火口からそれぞれ約 7.3kmおよび 6.2kmに位置するPU-D4 およびPU-D5 (表-1 及び図-4) で土質試験を実施した。PU-D4 の乾燥密度と比重はそれぞれ 1.58g/cm<sup>3</sup>、2.76g/cm<sup>3</sup>である。PU-D5 は 1.70g/cm<sup>3</sup> および 2.78g/cm<sup>3</sup>である。粒度試験結果を図-5 に示す。中央粒径d<sub>50</sub>はPU-D4 で約 0.03mm、PU-D5 で約 0.07mmである。火口に近いPU-D5 の粒径がPU-D4 に比べて全体的に粗い。

## 4. 考察

### 4.1 降下火砕堆積物の等層厚線図の作成

3.1 の結果をみると、火山体の全方位に調査点があることから、20mmおよび 50mm、100mmの降下火砕堆積物の等層厚線が推定できる。図-4 の堆積層厚の分布を基に目視で補間した等層厚線を図-6 に示す。南面から南西面斜面は中腹まで 50mm以上堆積している。つまり、藤田ら<sup>1)</sup>や植野ら<sup>2)</sup>が報告した土石流が発生したプチ川等が存在する地域において厚い堆積が見られる。一方、それ以外の方位の降下火砕堆積物の層厚は、火口付近であっても 20mm程度である。これらの地域においては土石流が発生していない。このことから、この噴火に伴う一連の事象では、火口付近の堆積層厚が少なくとも 20mm程度の地域では下流に被害を及ぼす規模の土

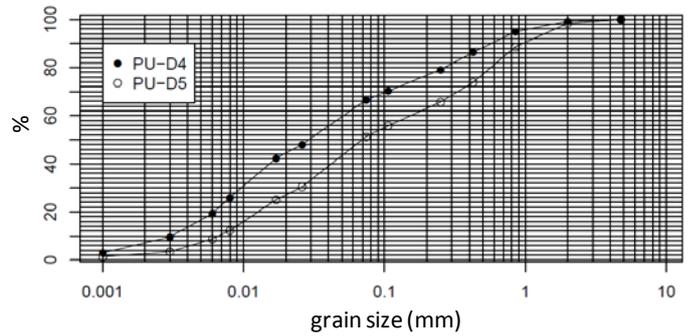


図-5 PU-D4 およびPU-D5 における粒度分布

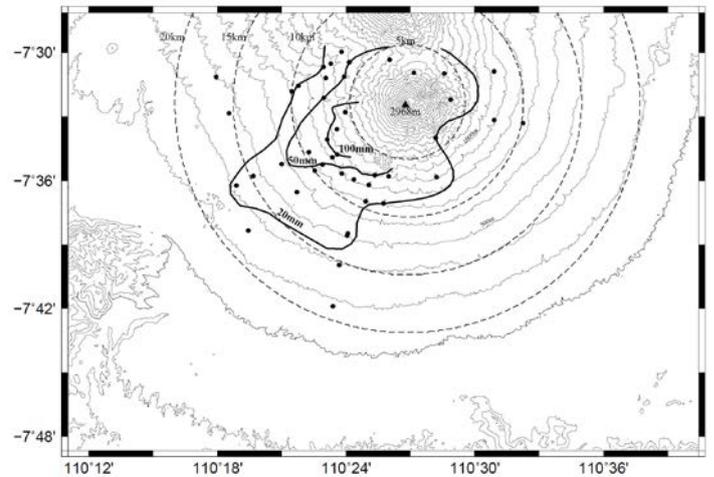


図-6 推定等層厚線

石流は発生していない。一方、20mmの層厚の範囲は噴火前と直後の合成開口レーダ強度画像による地表変化が見られた範囲<sup>4)</sup>と類似している。以上の事から、噴火後の雨季において実施した調査であるものの、噴火直後の降下火砕堆積物の堆積状況がある程度示していると考えられる。

### 4.2 降下火砕堆積物の材料特性と土石流発生

3.3 の結果を木佐ら<sup>5)</sup>が報告している 2011 年 1 月の新燃岳の噴火と比較する。木佐ら<sup>5)</sup>は、細粒分の降下火砕堆積物 (火山灰) と粗粒分 (軽石) の分布が異なること、および中央粒径d<sub>50</sub>について前者は約 0.07mm、後者は 1.1mmと報告した。一方、2010 年 10 月のムラピ火山の噴火によるプチ川の降下火砕堆積物 (PU-D4 およびPU-D5) は、火口付近であっても新燃岳における細粒分の火山灰とほぼ同様な粒径を有しており、軽石のような粗粒分は少ない。木佐ら<sup>5)</sup>は表面流出の痕跡を調査し、1) 最大層厚 20mmの火山灰が堆積した斜面では痕跡なし、2) 軽石の上に火山灰が堆積した斜面では痕跡あり、3) 軽石のみが堆積した斜面では痕跡なし、

と報告した。4.1 と併せて今回の調査結果を見ると、細粒分のみから構成され、20mmの層厚の上部斜面では大きな土石流の発生がないため、1) と類似していることが想定される。また、プチ川以外の地域の粒径については、表-1 の各個表の写真から降下火砕堆積物の粒径等の質を判断する限り、PU-D4 やPU-D5 と極めて類似していることから地域的なばらつきが少ない。従って、この調査から判断する限り土石流の素因は、新燃岳のような降下火砕堆積物の材料特性の相違ではなく、堆積層厚の相違による浸透特性の変化であると考えられる。

## 5. まとめ

本稿では、2010 年 10 月に噴火したインドネシアのジャワ島ムラピ火山の降下火砕堆積物の堆積状況の把握を目的として、主として 2011 年 11 月及び 2012 年 1 月に実施した調査結果を報告した。内容を要約すると以下の通りである：

- (1) 火山体の全方位を対象として、降下火砕堆積物の堆積層厚を 44 地点で計測しデータを提示した。それを基に 20mm および 50mm、100mm の等層厚線を推定した。
- (2) 土石流が頻発したプチ川の降下火砕堆積物の材料物性について示し、2010 年新燃岳噴火による降下火砕堆積物との比較したところ、土石流の発生には堆積層厚の影響が大きいと考えられた。

## 謝 辞

降下火砕堆積物調査では、八千代エンジニアリング株式会社の福島氏はじめ関係各位には大変なご尽力をして頂いた。記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 藤田正治、宮本邦明、権田豊、堀田紀文、竹林洋史、宮田秀介、Djoko Legono、Muhammad Sulaiman, Faisal Fathani, Jazaul Ikhasan : 2010 年インドネシア・メラピ火山噴火災害、京都大学防災研究所年報、第 55 号A、pp.171~180、2012
- 2) Surono, P.Jousset, J. pallister, M. Boichu, M.F. Buongiorno, A. Budisantoso, F. Costa, S. Andreastuti, F. Parata, D. Schneider, L. Clarisse, H. Humaida, S. Sumarti, C. Bignami, J. Griswold, S.Carn, C. Oppenheimer, F. Lavigne: The 2010 explosive eruption of Java's Merapi volcano-A '100-year' event, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 241-242
- 3) 植野利康、吉田桂治：インドネシア・メラピ山 2010 年噴火以降の土石流災害報告、砂防学会誌、第 64 巻、2 号、pp.54~57、2011
- 4) 地頭園隆、下川悦郎：桜島における火山活動が土石流・泥流の発生や流出に及ぼす影響について、新砂防（砂防学会誌）、第 43 巻、第 6 号、pp.9~15、1991
- 5) 石塚忠範、木佐洋志、清水武志、中野陽子：2010 年インドネシア国ムラピ火山噴火に伴う火砕流とその後の降雨により発生する土石流について、土木技術資料、第 54 巻、第 6 号、pp.50~51、2012
- 6) 山越隆雄、清水武志、中野陽子、石塚忠範、福島淳一、2010 年 10 月インドネシア国ムラピ火山噴火に伴う火砕流と土石流の発生について（速報）、砂防学会研究発表会、P-072、2012
- 7) 山田孝：2010 年にメラピ火山で発生した火砕流熱風部による家屋被害の特徴、砂防学会誌研究発表会、P-068、1991
- 8) 木佐洋志、山越隆雄、石塚忠範、杉山光徳、瀧口茂隆：2011 年霧島山（新燃岳）噴火による火砕物堆積斜面の降雨表面流出特性、砂防学会誌、第 65 巻、第 6 号、pp.12~21、2013

清水武志



(独) 土木研究所  
つくば中央研究所  
土砂管理研究グループ  
火山・土石流チーム 研究員  
Takeshi SHIMIZU

山越隆雄



国土交通省(前)  
(独)土木研究所  
つくば中央研究所  
土砂管理研究グループ  
火山・土石流チーム)  
Takao YAMAKOSHI

木佐洋志



日本工営(株)  
(前)(独)土木研究所  
つくば中央研究所  
土砂管理研究グループ  
火山・土石流チーム)  
Hiroshi KISA

中野陽子



朝日航洋(株)  
(前)(独)土木研究所  
つくば中央研究所  
土砂管理研究グループ  
火山・土石流チーム)  
Youko NAKANO

森田耕司



(独) 土木研究所  
つくば中央研究所  
土砂管理研究グループ  
火山・土石流チーム 主任研究員  
Koji MORITA

石塚忠範



(独) 土木研究所  
つくば中央研究所  
土砂管理研究グループ  
火山・土石流チーム 上席研究員  
Tadanori ISHIDUKA