

## 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

三重大学大学院生物資源学研究科 山田 孝

### 1, 研究目的

火砕流減災のためにはハザードマップの作成・公表・更新が不可欠である。経験的手法のみならず既に幾つかのシミュレーション手法が提案され、メラピ型火砕流の本体部についてはある程度の精度で氾濫・堆積範囲を再現できるまでに至っている。熱風部(本論では火砕サージと同義)については、河道屈曲部などで本体部から分離した後の到達範囲を再現することが困難であったが、最近の松井ら(2011)により、シミュレーションで算出した本体部との分離時での本体部平均流速を用いた実用的な再現手法が提案された。一方で、ハザードマップの効果的な活用のためには、氾濫・堆積範囲のみならず、到達時間や被害の程度情報も示すべきであると考えられる。近年、Giulio ら(2004)により都市域でのビル火砕流に対する強度的な耐性についての数値解析は行われたが、熱風部による家屋などの被害実態はあまり整理されておらず、熱風部の運動と被害との関係は不明な点が多い。本論では、2010年にインドネシア国メラピ火山で発生した熱風部による被害地域のひとつを対象として、熱風部の運動と家屋被害との関係について考察した結果を報告する。

### 2, 方法

2010年10月26日、11月5日にメラピ火山で発生した火砕流のうち南斜面を流下した火砕流はGendol川、Opa川、Kuning川流域に死者198名(インドネシア国家防災庁発表(2010年12月9日)の火傷による死者数)という甚大な被害をもたらした。Kuning川流域ではOpa川上流で本体部と分離したと推定される熱風部が約3.8km単独で流下し、多くの家屋(ほとんどがコンクリートブロック造)に被害を与えた。2011年1月にKuning川流域Cangkring地区での被災地区の被災家屋147件を対象として、熱風部流下方向での家屋の被災形態(流失、全壊、半壊、損壊、開口部のみの破壊、被害なし)の分布、流れ方向の熱風部(下層部と上層部(山田, 2007))堆積深変化と粒径分布、熱風部の流速を推定するための樹木損傷状況(根返り、幹折れなど)を調査した。家屋の被災形態は主に現地での目視により判断した。「流失」は基礎のみ残存しているもの、「全壊」は家屋が倒壊したものや壁面の一部のみが残存するもの、「半壊」は梁や柱、耐力壁の一部が壊れたものや屋根部分が破壊されたもの、「損壊」は屋根瓦が剥離したもの(瓦の剥離面積から剥離率を算出)、「開口部のみの破壊」は窓ガラスやドアが破壊されたもの、「被害なし」は外見上壊れていないものを意味する。熱風部の流れ状況を解析できる映像資料は未入手なので、流速や流れ先端部の流動深、渦径やその回転速度などの情報は無い。そこで、熱風部の堆積深、建物の高さ別の熱風部の堆積状況などから上層部と下層部の流動深を想定し、熱風部の堆積深などから流れの平均的な濃度・密度を算出し、樹木の引き倒し試験による倒壊強度最大曲げモーメントと曲げ強度、などの既往知見から樹木の寝返りや幹折れのための限界流速値を算出し、単位幅あたりの流体力を参考までに求めた。以上の結果から、熱風部の運動と家屋被害の関係について考察した。

### 3, 結果と考察

#### 3.1.家屋の被災形態の分布

調査対象区域での被災家屋は、矩形の平面形状を呈した平屋が多く、基礎はコンクリート打ち、四面の耐力壁はコンクリートブロック(厚さ:10~25 cm程度)造り、耐力壁をコンクリート(φ6mm 鉄筋補強)の柱と梁で支える構造のことが多い。屋根部は寄棟形状で、竹などの木材で桁、棟木、垂木、母屋をくみ上げ、その上に瓦を葺く構造がほとんどである。本体部と熱風部の分離箇所以下、分離箇所から到達距離の先端までの区間を流れ方向に対して垂直方向に100mピッチで区切り、それらの間に存在する被災形態別の家屋数割合を求めた。分離箇所から2.7km(熱風部の到達距離3.8kmの約7割)までは流失家屋がほとんどを占める。1.2~1.7kmの範囲で一部全壊家屋が散在しているが、それらはいずれも斜面小段(高さ:4m程度)の直下流(小段法尻から数m)に位置しており、熱風部の直撃をある程度回避したと考えられるものである。分離箇所から2.3~3kmの範囲(到達距離の約6~8割)では全壊家屋、分離箇所から2.8~3.4km(到達距離の約7~9割)程度の範囲では半壊家屋がそれなりに多い。分離箇所から3~3.7km程度までは、屋根瓦の剥離した損壊区域が主体である。分離箇所から3.6~3.8kmの区域(到達距離の約9割)は、被害なしの区域が主体であり、窓ガラスのほとんどが割れていない。

#### 3.2.熱風部の堆積構造と堆積深の流下方向の変化

分離箇所から到達距離の区間内の33箇所において、熱風部の堆積構造と堆積深(空隙込み)を調べた。また、その内の4箇所については、粒度分布(ふるい試験と沈降試験)を調べた。熱風部の堆積構造は、山田(2007)が雲仙普賢岳で確認したように下層部と上層部から構成される。下層部は、60%粒径で0.5~0.9mm程度の砂成分が主体であるのに対し、上層部は60%粒径で0.2~0.3mm程度とより細粒の成分からなる。いずれも流れ方向に従って大きくは変化しない。図-1(左図)に分離箇所からの水平距離による下層部、上層部の堆積深の変化を示す。下層部の堆積深は、流下に伴って指数関数的に減少するように見えるが、上層部の堆積深はあまり変化していない。この点においても、雲仙普賢岳での調査結果(山田 2007)と同じ傾向を示す。

### 3.3 熱風部の堆積深と家屋被害形態との関係

熱風部の流下方向の堆積深変化と家屋の被災形態別変化を図-1に示す。概略、下層部が7 cm以上の区域が「流失」、4～7 cmの区域が「全壊」、3～5 cmの区域が「半壊」、2～4 cmの区域が「損壊」、2 cm以下が「被害なし」の区域に相当している。上層部の堆積深と家屋の被災形態との関係は明確ではない。家屋壁面上部の二重ガラス内部などに残存する堆積物は砂成分が主体であることから、地盤から家屋の高さ程度の範囲は下層部の流れ領域となっており、そのために家屋被害との関係が上層部よりも明確に現れたものと考えられる。下層部の流動深を仮に3m、上層部のそれを20m(流れの先端の高さ)とし、堆積深と流動深の比を濃度とみなして流れの平均的な密度を求めると下層部は $0.01\sim0.11\text{t/m}^3$ 、上層部は $0.0005\sim0.007\text{t/m}^3$ 程度の値となる。

### 3.4 熱風部の流速、衝撃的流体力と家屋の被災形態

樹木(メルクーシマツ)の損傷状況は、分離箇所から3km程度までは幹折れと根返りが主体、3～3.4km程度までは一部幹折れ、3.4～3.6km程度までは葉のみ流失、3.6～3.8kmまでは損傷なしである。樹木の引き倒し試験による倒壊強度最大曲げモーメントと曲げ強度、などの既往知見と前述の流れの密度等から求めた樹木に作用する流体力によるモーメントを等値させることから樹木の寝返りや幹折れのための限界流速値を算出すると、各々、13～17m/s、15～25m/s程度となる(胸高直径:0.1～0.3、樹高5～15m)。松井ら(2011)の式により、熱風部の到達距離から分離箇所での本体部の流速(分離箇所での熱風部の流速と同値とする)を求めると約77m/sとなる。熱風部分離後は、本体部からの運動量供給がなくなるため急激に流れは減衰し流速は低下すると考えられる。そのような流速低下の実データはないが、前述のように下層部堆積深が指数関数的に減少することと関連があり、堆積深減少は流速と流れの密度低下の結果であると考えられる。仮に「流失」区域での流速を50m/sとすると、家屋に作用する衝撃的流体力(最大動的倍率:2.5倍)は約900kN/mとなり、一般的な鉄筋コンクリートの家屋を流失させることが説明できる。「損壊」と「被害なし」の区域での衝撃的流体力(最大動的倍率:2.5倍)は、約6～9 kN/mである。この域では、例えば瓦剥離防止の金属ネットのようなもので屋根部を固定したり窓ガラスを補強すれば、家屋の被害をかなり軽減できると考えられる。それら以外の区域では、現行レベルの家屋構造であれば家屋の半壊・全壊は免れないと判断できる。

## 4. 結論

2010年にメラピ火山で発生した火砕流熱風部について、本体部から分離した後の熱風部下層部の堆積深とコンクリートブロッ

ク家屋の破壊形態とは比較的良く対応し、概略、下層部が7 cm以上の区域が「流失」、4～7 cmの区域が「全壊」、3～5 cmの区域が「半壊」、2～4 cmの区域が「損壊」、2 cm以下が「被害なし」の区域に相当することなどがわかった。

調査にあたり、高橋 透氏(株式会社ダイヤコンサルタント)が被災前後の衛星写真(シンガポール国立大学衛星画像処理センター)を用いて位置情報を調整された画像ファイルを使用させていただきました。深謝の意を表します。

参考文献) 松井宗廣, 水山高久, 安養寺信夫, 皆川淳: 火山ハザードマップにおける火砕サージの到達範囲に関する考察, 砂防学会誌, Vol.63, No.5, p.33-36, 2011 Giulio Zuccaro, Domenico Ianniello: Interaction of pyroclastic flows with building structures in an urban settlement: a fluid-dynamic simulation impact model, Journal of Volcanology and Geothermal Research 133, p.345-352, 2004 山田孝: 火砕流本体部から分離した熱風部のその後の運動・堆積特性, 砂防学会誌, Vol.60, No.1, p.29-36, 2007

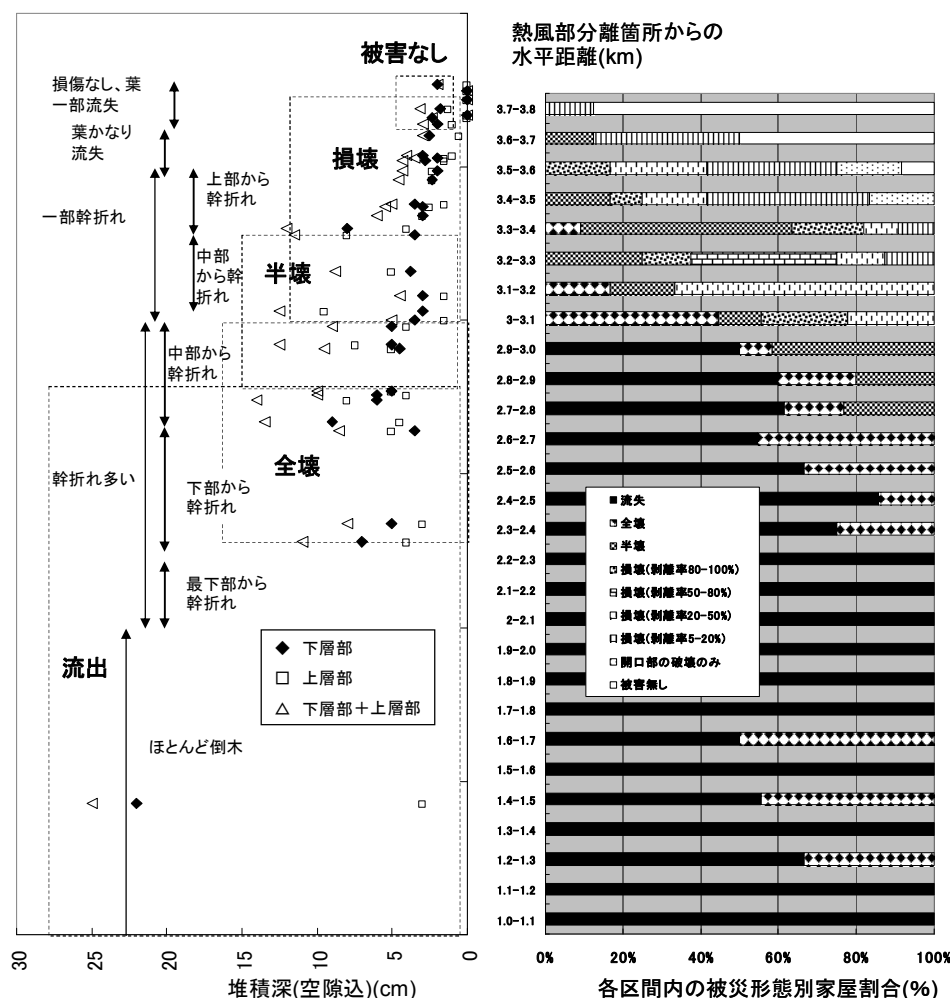


図-1 熱風部の流下方向堆積深変化と家屋被災形態別割合変化