

樹木の変色区域における火砕流熱風部の運動の実態と特性

北海道大学農学院 ○佐藤澄佳
北海道大学農学研究院 山田孝

1. はじめに

小規模な火砕流の構造は本体部と熱風部(火砕サージ)の分類では、ash cloud surge に該当)から成るが、熱風部は本体部よりも広範囲に流下し、大きな被害をもたらす。さらに、熱風部は流路の屈曲部や障害物の付近で本体部から分離し、単独で流下するという特性があり、その場合の被害は特に甚大である(例えば、S.C.LOUGHLIN et al., 2002)。その事例として、1991年6月3日の雲仙普賢岳での災害が挙げられる(死者43名)。この火砕流の熱風部の運動についてはいくつかの先行研究がある(石川ら1993, 山田2007)が、その調査対象は、多くの人が亡くなった地点を含む「樹皮焼け焦げ・倒木区域」であり、その下流の樹木(ヒノキ林が主体)の葉が熱風部の熱によって褐変した「樹木の変色区域」での熱風部の運動については明らかにされていない。しかし、「樹木の変色区域」でも多くの人が死亡、負傷した。そこで、本研究では、1991年6月3日に雲仙普賢岳で発生した火砕流の熱風部の、樹木の変色区域における熱風部の運動の実態と特性を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

長崎県島原市北上木場町での熱風部の堆積状況(層構造、堆積深、粒径)の調査、熱風部の温度とその継続時間の推定、速度の推定から、流れの状況を考察した。

長崎県島原市北上木場町での現地調査については、樹木の変色区域内で砂防工事や道路工事などの地形改変がなされていない調査地点10か所で、掘削により露出した堆積物を観察、採取した。採取した土砂は、粒度試験(JIS A 1204, 2020)を行い、各地点の粒度分布曲線を作成した。温度とその継続時間は、ヒノキの葉の熱ストレス実験によって推定した。長崎県島原市の雲仙岳災害記念館(がまだすドーム)にて収集した災害発生当時の写真から、ヒノキ林が熱風部通過後に短時間のうちに褐変したことが分かった。そこで、現地調査で採取したヒノキの葉を、温度と加熱時間の条件を変えながらオートスターで加熱し、加熱後の色の変化を観察した。

温度は80°Cから280°Cまで20°C刻み、加熱時間は1分から5分まで1分刻みで設定した。ヒノキの葉が褐変する温度と継続時間を求め、熱風部の樹木の変色区域における温度と継続時間を推定した。次に、採取した堆積物の粒度試験の結果、熱風部の流れに関する先行研究等から、樹木の変色区域における熱風部の速度を推定した。堆積物の60%粒径を代表粒径とし、代表粒径のストークスの式による沈降速度、限界摩擦速度を求め、対数則を用いて任意の高さでの速度を推定した。速度を推定するうえで、森林内では対数則をそのまま適用できないと考えられるため、森林の影響を受けていない、または影響が少ないと考えられる調査地点2か所において速度を推定した。沈降速度を求める際、流れの平均的な土砂濃度が不明であるため、1991年6月8日に雲仙普賢岳で発生し、中尾川を流れた火砕流熱風部の推定土砂濃度 $C=0.011$ (山田, 2007)を含む、 $C=0\sim 0.01$ の範囲で計算した。今回は先行研究(石川ら, 1993)による樹皮焼け焦げ・倒木区域での速度(土砂濃度を0.0011として補正した)との比較のため、高さ5.5mでの速度を求めた。

それらの結果と、先行研究とを合わせ、熱風部の全体の流れを考察した。

3. 結果と考察

3.1 現地調査(熱風部の堆積物調査)

各調査地点で観察された堆積物の層構造は、ほぼすべての調査地点で塊状であった。堆積深は6cm~20cmであった。また、各調査地点の堆積物の粒度分布には大きな差はなく、粘土(粒径0.05mm未満)・シルト(粒径0.05mm以上,0.074mm以下)が主体であることが分かった。これらのことから、樹木の変色区域では、拡散した火山灰が沈降して堆積したのではなく、堆積直前まで横方向の速度を持った熱風部上層の流れが短時間のうちに堆積したと考えられる。砂や礫がサルテーションなどにより移動することによって作られる熱風部下層の堆積物は認められなかった。

3.2 ヒノキの葉の熱ストレス実験

各条件で加熱したヒノキの葉の加熱後の変色の様子

を「変色確認できず」「一部(葉先のみ)変色」「褐変」「先端のみ焦げ(黒)」「焦げ(黒)」の5パターンに分類した。加熱後のヒノキの葉の変色の様子の例を写真1に示す。各条件での結果から、ヒノキの葉の褐変の条件は、温度が200℃～220℃、加熱時間が3分間～4分間程であり、それぞれ樹木の変色区域における熱風部の温度とその継続時間であると推定した。



写真1 ヒノキの葉の加熱後の様子の例(マイクロスコープで撮影)

3.3 熱風部の速度計算

今回設定した土砂濃度の範囲で計算された熱風部の速度は、5.5m/s～34.6m/sであった。参考値としたC=0.0011(山田,2007)での速度は、15.1m/s～15.7m/sであった。

4. 結論

以上から、樹皮焼け焦げ・倒木区域と樹木の変色区域との堆積構造、堆積深、60%粒径、推定温度、推定速度

を比較した、熱風部全体の流れの状況を図1に示す。

1) 樹木の変色区域における熱風部は、粘土・シルトを主体とする熱風部上層のみの流れであると考えられる。2) 樹木の変色区域における熱風部の推定最低温度は、200℃～220℃であると考えられる。樹皮焼け焦げ・倒木区域における推定最低温度と比較すると100℃から200℃ほど低い。また、熱風部の温度の継続時間は3～4分であると考えられる。3) 樹木の変色区域における流れは、樹皮焼け焦げ・倒木区域から減速するが、ある程度の速度を持った状態で流下すると考えられる。速度の推定値は土砂濃度の値によって変化するが、樹木の変色区域における熱風部の速度は、今回設定した土砂濃度の範囲(0～0.01)では、5.5m/s～34.6m/s、であった。参考値としたC=0.0011(山田,2007)での速度は、15.1m/s～15.7m/sであった。

謝辞

本研究を行うにあたり、国土交通省九州地方整備局雲仙砂防管理センターの久保世紀センター長、杉本伸一館長、長井大輔調査研究室長をはじめとする、雲仙岳災害記念館(がまだすドーム)の皆さまには、資料収集時にご協力いただいた。ここに謝意を表す。

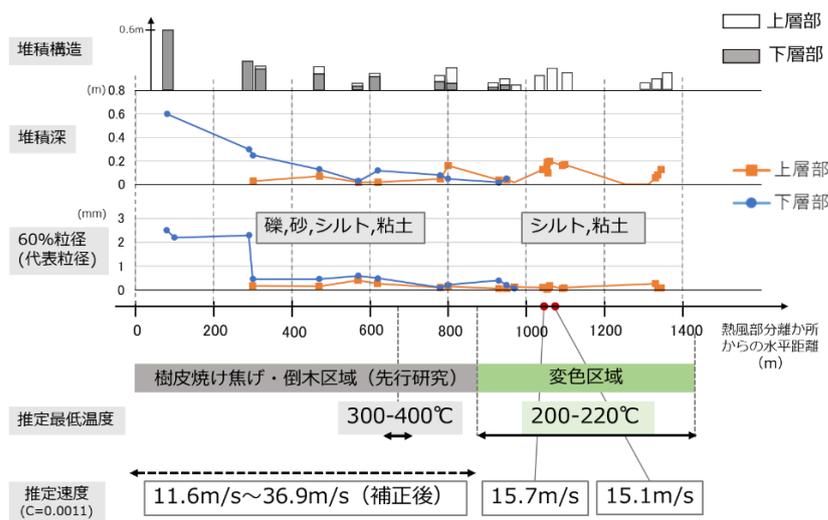


図1 熱風部全体の流れ

樹皮焼け焦げ・倒伏区域の堆積構造、堆積深、60%粒径のデータは山田(2007)、温度データは建設省土木研究所(1991)、石川ら(1993)、速度の補正前のデータは、建設省土木研究所(1991)、石川ら(1993)

引用文献

- 1) 石川ら(1993) 雲仙普賢岳で発生した火砕流熱風部による災害. 新砂防, 46: 3-9.
- 2) S.C.LOUGHLEN et al. (2002) Eyewitness accounts of the 25 June 1997 pyroclastic flows and surges at Soufriere Hills Volcano, Montserrat, and implications for disaster mitigation. Geological Society London Memoirs, 21(1): 211-230.
- 3) 山田孝(2007) 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, 60(1) 29-36.