

19 流下に伴う火砕流の温度変化について

宮崎大学農学部 谷口義信

1 はじめに

雲仙普賢岳では1991年5月24日、最初の火砕流が発生して以来、同年6月3日・8日、9月15日とたて続けに大規模火砕流が発生、さらに1993年6月26日には最大到達距離を記録するなど¹⁾、今なお火砕流の危険性が住民を大きな不安に陥れていることは確かである。火砕流は高速であると同時に、高温であるため、特にこれに対する恐怖心は大きい。降雨などによって地面が十分に湿っているような条件下で火砕流が発生した場合、これが火砕流の運動にどのような影響を与えるのかを知るため、特に火砕流の運動と密接に関係すると思われる温度に関して実験的な追究を試みた。

2 実験装置

実験装置の概略は図-1に示すように、幅5cm、深さ10cm、長さ50cmの超小型水路と、水路上流端に取り付けた高温降下火砕物投入ホッパー（容量450mlで下端に開閉弁をもつ）、および水路下端に取り付けた勾配0°の開放部（オープンスペース）の3つより成る。

水路は勾配10°に設定し、本体底面から約1mmの隙間を設けて、その上に1mmメッシュの金網を張り、またその上を布張りし、これを実際の水路底面（地表部）とした。オープンスペースは幅30cm、長さ20cmで、布張りなどの加工は施さなかった。なお水路とオープンスペース部分には、テレビ画面上で速度及び堆積面積の読み取り長さの基準となる目盛りをいれた。すなわち水路には縦断方向に10cm、オープンスペースには縦横3cm刻みの目盛線をいれた。

3 実験方法

雲仙水無川で採集した火砕流堆積物をガスバーナーで300℃以上に熱し、これを火砕物投入ホッパーに入れてから、一挙に下端の開閉弁を開いて水路に投下する。水路内への供給水分量は0cc、10cc、20cc、30cc、

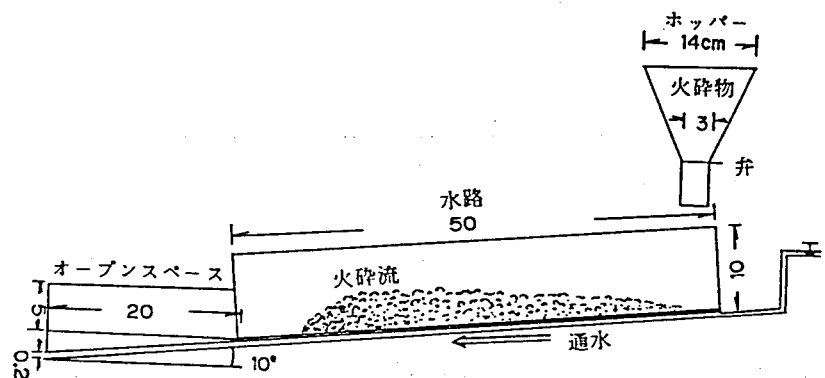


図-1 実験装置概略図

40cc、∞cc（一定連続供給）の6種類とした。実験では放射温度計を用いて、ホッパー投入口直下の0cmより下流方向、10cm、20cm、30cm、40cmの各点で、火砕流の流下に伴うフロント部の温度変化を測定した。なお各実験とも火砕流の流下速度を測定するため、1/30秒の撮影スピードで流下の状況をビデオカメラにより撮影し、テレビ画面上でその流下距離の読み取りを行った。

4 実験結果

図-2、図-3は火砕流総供給量200ccの場合の流下に伴う火砕流フロント部の温度変化を示したものである。ここに図-2は、供給水量が ∞ cc（一定連続供給）の場合の火砕流物質の水路内の投入地点を0cmとして、この点から10cmごとの水路各点における火砕流フロント部の平均測定温度を示したものであり、一方図-3は供給水量0cc～40ccに対する定点0cm、すなわち火砕流発生地点の温度測定結果の平均値を示したものである。

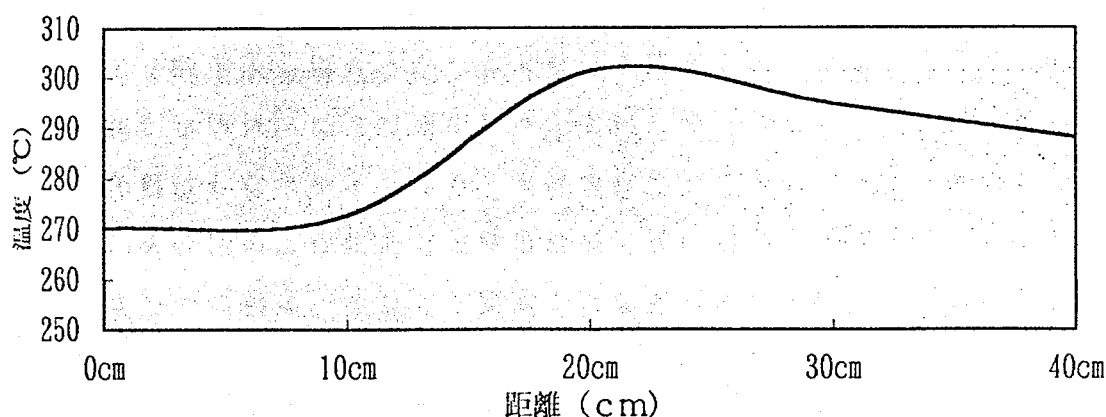


図-2 供給水量 ∞ ccの場合の水路各点の火砕流の流下温度

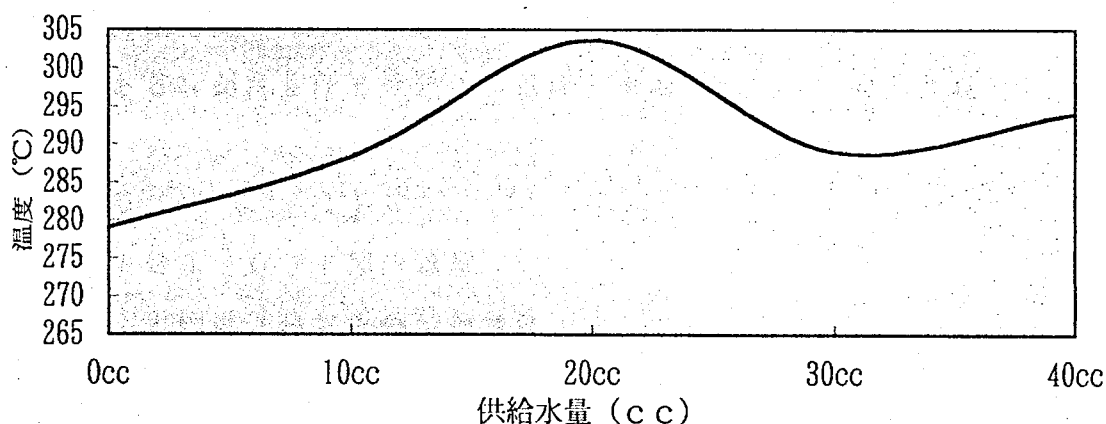


図-3 供給水量の変化による0cm地点の火砕流温度

火砕流の流動を細かく観察してみると、実際には次から次へと発生する後続の波が速度の落ちた先行の波をまき込みながら、外見的には一つの波として流下しているようである。したがってフロント部の温度が必ずしも同一物質の温度変化を示していないのではないかと考えられる。そこでできるだけ、一つの波のみで構成される物質の温度変化を知るために、供給火砕流物質の総量を100ccとして温度測定実験を行った。この結果を示したのが、図-4である。なおここではいずれもホッパーからの投入時の火砕流物質の温度条件をホッパー内堆積時の表面温度で正確に300℃に設定した。

図-2にみられるように、供給水量 ∞ ccの場合、0～10cm区間では火砕流の温度はほぼ一定を保っているが、10～30cm区間では上昇し、30～40cm区間では逆に降下している。その

結果 30 cm
 辺りで最高
 の 320℃
 程度を示し、
 流路の末端
 地点の 40
 cm では平
 均 290℃
 程度になっ

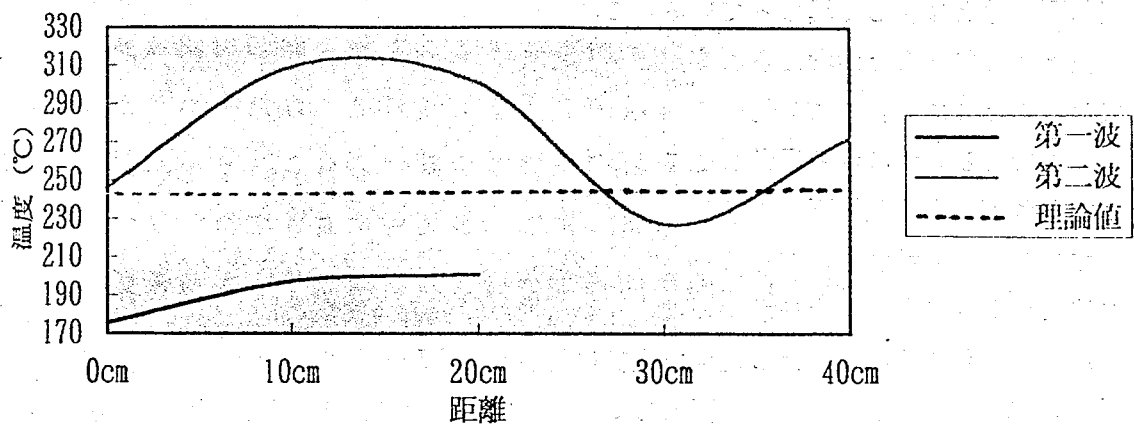


図-4 総流量100ccの場合の火砕流の流下温度

一方図-

3に示すように、供給水量が変化した場合の温度変化を、水路内のある一定点についてみると、0cc、20ccおよび40ccで温度上昇が認められる。しかし、30ccでは逆に温度降下が起こっている。このように、必ずしも水分量の多い方が火砕流の温度降下が大きいとは限らない。このように火砕流の流下を温度降下という観点からみた場合、非常に複雑な過程がその中に介在しているようである。

5 温度変化

火砕流物質の温度降下については、これが指数関数で表されることが明らかになっている。雲仙普賢岳の火砕流流出礫の温度測定結果によれば、このときの温度 T は次式で示される²⁾。

$$T = T_0 e^{-0.003111t} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 T_0 ：初期温度、 t ：経過時間（秒）である。

式（1）は空気中に静止して置かれた礫の自然冷却（放射冷却）過程を示す式である。火砕流も静止した状態での個々の粒子は、基本的には式（1）と同じ冷却過程を示すものと考えられる。しかし、運動中の粒子については、その冷却過程は非常に複雑なものとなるであろう。特に流体としての冷却過程はさらに複雑になるものと考えられる。

ここでは単純なモデルを考える。すなわち、火砕流先端部を一つの礫と同じとみなす。これは実際には運動しているが、ここでは静止しているものと同じとみなすことにする。このような仮定を設ければ、火砕流先端部の冷却過程に対して式（1）が適用できるようになる。ここでは初期温度として、水路0cmのところ、すなわち時間 $t = 0$ 秒のところの温度を用いる。水路の10cm、20cm、30cm、40cmの点における経過時間については、記録計よりそれぞれの地点の火砕流通過時間を読み取り、この値を式（1）に代入して、10cm、20cm、30cm、40cmの地点の温度を求めた。この結果を示したのが図-4の理論値曲線である。

図-4の結果から明らかなように、実際の火砕流の温度変化は、式（1）から推定した火砕流の温

度降下曲線とは著しく異なっている。これは一つには、火砕流は流動しているので、静止物体の冷却過程とは異なることが考えられる。しかし、この温度変化曲線の最も特異な点は、温度上昇の起きていることである。これは物体の静止、運動の相違による両者の温度降下の不一致とは本質的に異なる問題である。すなわち運動状態にあらうと、静止状態にあらうと、降下速度の違いはあれ、同一物体であれば必ず温度降下がおこるはずである。上昇が起こることは、火砕流の運動機構と密接に関連していることを示すものであろう。すなわち、火砕流物質の水路への投入地点0 cmから10 cmまで流れた地点で最高温度を示すのは、0 cm地点での流体物質とは異なる物質が到達するためではないかと考えられる。0 cmの地点で最初に発生した火砕流体の表面は、火砕流がホッパーから自然落下の形で投入されるので、地表面部はホッパー容器により冷却された低温部から成り、この状態では火砕流の中心部に高温部が芯状に包まれた形になっている。しかし火砕流が水路底面に接すると、高圧の水蒸気が一気に発生するため、この上にのっていた火砕流物質は攪乱され、高温の芯部が一団となって激しく噴き抜け、この塊が新たな波を形成して下流へ向かって運動を開始する。いわゆる第二波の火砕流を形成する。これは芯部の高温のために、流下速度も大きく、なおかつ温度も非常に高い。しかし流下に伴ってその表面部も再び冷却され、速度も落ちる。このように火砕流は表面での温度降下と中心高温部の噴き抜け（水蒸気圧による）を交互に繰り返しながら、運動を維持継続しているのではないかと考えられる。このことが10 cm地点で最高温度を示し、その後20 cmまでは徐々に降下し、30 cmで急激に降下する理由であらう。

6 まとめ

本研究においては、流下に伴う火砕流の温度変化について実験的な観点から追究を試みた。その結果、火砕流フロント部の温度は、複数の波の発生により、時間の経過とともに指数関数的には降下せず、上流の火砕流本体の中心部にあった高熱部分が水蒸気圧で噴き出すため、複雑な変化を示すことが分かった。水蒸気圧の発生による火砕流の運動は非常に特殊な条件をあたえたものとはいえ、運動についてこのような結果が得られたことは、ガス封じ込めによる運動論についても共通するのではないかと考えられる。

引用文献

- 1) 中田節也(1994): 雲仙普賢岳の火砕流、砂防学会ワークショップ(谷口義信代表)、P P. 4
- 2) 谷口義信(1994): 火山泥流のレオロジー的・水理的特性と火砕流の流下距離について、文部省科研総合研究(A)研究成果(05302071平野宗夫代表)、P P. 37