

融解雪片と凍雨の落下速度の測定

* 南雲信宏 (北大院・地球環境), 藤吉康志 (北大・低温研)

1. はじめに

通常、降水粒子と言えば、雪粒子か雪粒子が融けた雨滴である。その中間状態として「みぞれ」や「凍雨」という状態がある。「みぞれ」とは、雨滴と融けかかった湿った雪片が同時に降る状態である。「凍雨」とは、落下中に雪片が融けきって形成された雨滴が、再び0以下に冷却されて過冷却状態となり、それが地面に落下しないしは空中で何らかの衝撃を受けて瞬間的に凍結して氷粒になった状態を指す。これまで、融解雪片と凍雨の落下速度や粒径分布についての観測データは極めて少ない。その理由は、それらが存在する時間や観測する機会が極めて限られていたためである。そこで今回は、2D-Video-Distrometer(以後、2DVD)で観測した「融解雪片」と「凍雨」の落下速度を解析したところ、興味深い結果が得られたので、以下に報告する。

一般に、雨滴や雪片の終端速度は、直径に依存して変化する。一方、「融解雪片」の落下速度は、図1に示したように、大きさによらずほぼ一定の落下速度を示した。ただし、ある大きさ(質量)よりも小さい雪粒子は完全に融けているため、雨滴と同じ終端速度を示す。乾いた雪片の落下速度は約1.5m/sで、雨滴に比べると落下速度の直径依存性は小さいが、湿った雪片の落下速度の直径依存性は更に小さい。この落下速度の特徴は融解過程を通じて変わらず、雨滴以外の融解雪片の落下速度は、時間とともに平行移動しながら増加し、やがて雨滴の落下速度と重なる。図2は、「凍雨」の落下速度と直径の測定結果である。目視観測から、凍雨のみが観測されていたにも拘わらず、落下速度が小さい粒子と大きい粒子が凍雨観測期間、同時に連続して観測された。また、球形の粒子と、複数の球形粒子が併合しているものが見られた。そこで、2DVDの画像データをもとに、形と落下

速度との関係を考察した。

2. 解析手法

我々は、2DVDを用いた降水粒子の落下速度と粒径分布の連続測定を、2003年2月から開始した。また、2004年12月からは、電子天秤を用いて雪および雨の降水強度の測定を行っている。

Matsuo and Sasyo(1981a,b)は、融解雪片の落下速度を密度から求める経験式を作成した。しかし、個々の融解雪片の密度を測定することは極めて困難である。そこで我々は、2DVDで測定した2次元画像データから一定時間に降った融解雪片の体積の総和を計算し、その値とその時間に降った降水粒子の積算質量から平均密度を計算した。これをもとに、現場で観測した気温と密度の関係、気温と落下速度の関係を作成し、従来の経験式との比較を行った。

3. 解析結果

融解過程

図3に示したように、融解雪片の密度と気温との間には正の相関が見られる。図1に示したように、融解雪片の落下速度は粒径にほとんど依存しない。このことを確認するために、小さい粒子(0.5-1.0mm)から大きい粒子(2.0-3.0mm)別に、気温と密度との関係を調べた(図4)。

すると、0以下では、落下速度の気温依存性は見られず、大きさによる違いが見られた。このことは、乾いた雪片の特徴である。一方、0以上では、融解雪片の大きさに依らず、気温が同じであれば落下速度がほぼ同じで、気温と落下速度との間には極めて良い正の相関が見られた。ただし、小さい雪片ほど早く融けて、同じ質量を持つ雨滴の終端速度を示すようになる。

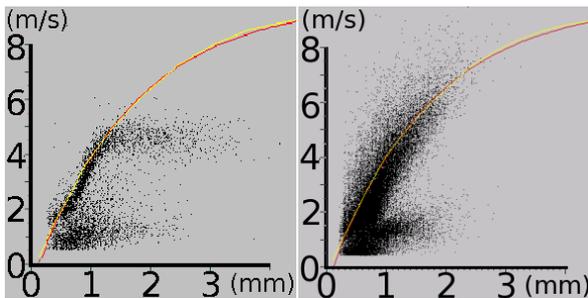


図1: みぞれの直径と落下速度の関係(曲線は雨滴の終端速度)

図2: 凍雨の直径と落下速度の関係(曲線は雨滴の終端速度)

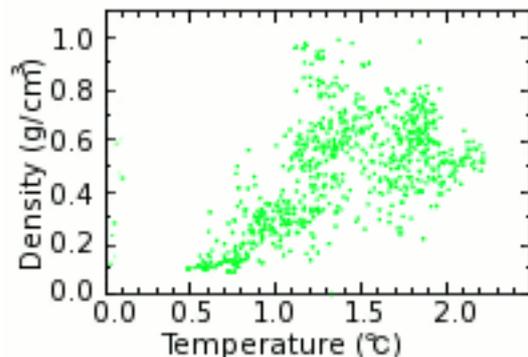


図3: 気温と雪片の密度の関係(2005年1月3日)

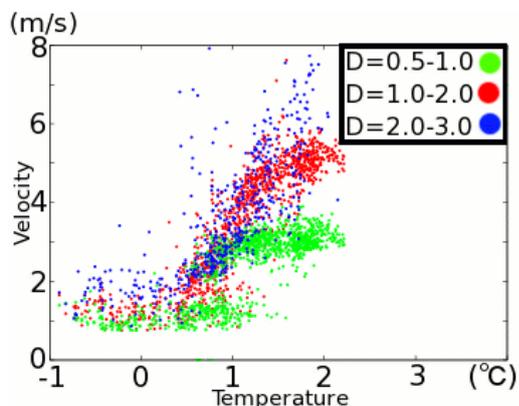


図 4: 気温と雪片の落下速度の関係 (2005 年 3 月 18 日)

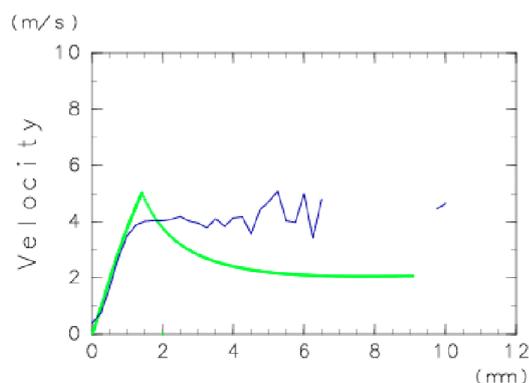


図 5: Matsuo and Sasyo(1981b) と観測結果 (2004 年 1 月 21 日) の比較

この測定結果と、Matsuo and Sasyo(1981b) の融解雪片の落下速度の数値計算結果とを比較した (図 5)。ただし、ここでは気温をその時間帯の平均気温 (2.2 度) として計算した。また、観測データは、粒径幅を 0.25mm にとり、それぞれの粒径の平均落下速度を計算した。融解が完了し雨滴になる大きさまでは、計算結果と観測結果とが概ね良く一致しているが、それよりも大きい湿雪状態の落下速度は明らかに異なっていた。観測結果は、Matsuo and Sasyo(1981b) の (平均密度から算出される) 落下速度よりも、融解雪片中に含まれている水の質量と同じ大きさの雨滴の終端速度に近い。Matsuo and Sasyo(1981a,b) では、融解雪片の形を常に球と仮定している。しかし実際には雪片の形は複雑で、通常の雪片と同様に風の抵抗を最大限受ける形に変形していると思われる。今回の観測結果から、雪片の融解量 (密度や大きさでは無い) をパラメーターとして、融解雪片の落下速度を求める経験式が作成可能と思われる。

再凍結過程

札幌管区气象台で放球したラジオゾンデのデータを見ると、地上 250m から 750m の範囲に 0 以下の層が存在していた。このことから、凍雨はこの層内で過冷却状態となった後再凍結し、氷粒として地上で観測されたも

のと考えられる。

2DVD で観測した凍雨の形を、落下速度の大きい粒子と小さい粒子とで比較した。すると、落下速度の大きい粒子は、図 6(a),(b) に示したように、全て球状であった。一方、落下速度の小さい粒子は、図 6(c),(d) に示したように、併合した粒子や非球形の粒子であった。図 7 は、図 6 に対応する球形粒子 (図 7(b)), 球形でスパイクがある粒子 (図 7(a)), 併合した粒子 (図 7(c),(d)) の接写画像例である。しかし、人工的に作成した凍雨の落下速度を 2DVD で測定したところ、形の違いによる落下速度の変化が顕著に見られなかった。今後、形以外の要因があるかどうか、より多くの事例を調べる必要がある。

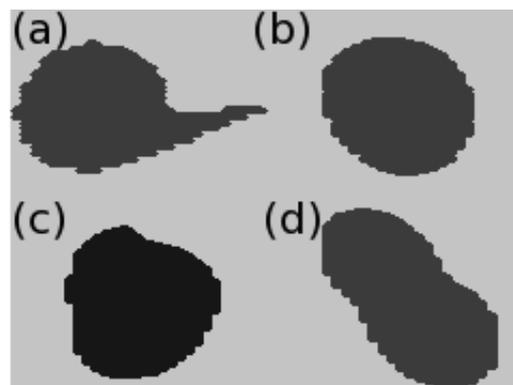


図 6: 2DVD が観測した凍雨のシルエット

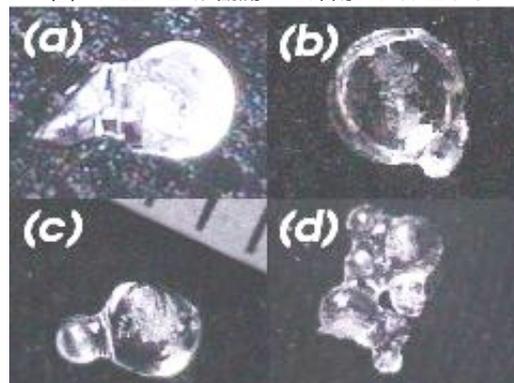


図 7: 凍雨接写画像

参考文献

- Matsuo, T. and Y. Sasyo, 1981a : Empirical formula for the melting rate of snowflakes. J. Meteor. Soc. Japan, 59, 1-9
- Matsuo, T. and Y. Sasyo, 1981b : Melting of snowflakes below freezing level in the atmosphere. J. Meteor. Soc. Japan, 59, 10-25