

吹雪現象の数値シミュレーション

物理モデルの開発と防災対策への応用を目指して



雪氷防災研究センター 任期付研究員 根本征樹

はじめに

積雪上の雪粒子が強風により舞い上げられて発生する吹雪は、道路上の視程を著しく悪化させるほか、吹きだまりを形成することから、雪国における安全な交通環境の維持において重要な課題です。その他、山岳地においては、吹雪により生じる吹きだまりや雪庇の崩落が、雪崩発生の原因にもなるため、雪崩対策においても吹雪は重要な課題となっています。

吹雪対策の手段としては、防雪柵の設置などハード的な手法の他に、コンピュータシミュレーションを用いたソフト的な手法も考えられます。特にソフト的な手法は、様々な気象状況下において、吹雪がいつ、どこで、どのぐらいの強度で発生するか、という予測情報を得るのに適した手法で、今後一層の活用・発展が見込まれます。このような状況を踏まえ、防災科研の雪氷防災研究センターでは、吹雪とそれに伴う吹きだまりや視程悪化の予測モデルを開発しています。

吹雪現象のモデル化

吹雪の運動は、雪面付近（高さおよそ10cmの範囲内）で繰り返し雪面に衝突しながら雪粒子が移動する「跳躍・転動」と、大気の流れを受けて上空まで舞い上がる「浮遊」とに分類されるように、雪面からの高さによって運動の仕方が大きく変化します（図1）。

吹雪現象をモデル化する場合にはこのことを考慮すべきですが、その際、「一つ一つの吹雪粒子の大気中での運動を詳細に追跡する」、あるいは「運動している吹雪粒子を集団としてとらえて、その集団の濃度変化を計算する」という二つの考え方があり、それぞれに対してモデル化の手法が変わります。

前者の手法は、現象を最も忠実に表現するものであり、吹雪のメカニズムの詳細を学問的に解明するために大変有用です。しかしながらこの方法は、空中を漂う膨大な数の雪粒子の運動を全て計算する必要があるため、広い範囲にわたってこの手法を適応することは困難です。そのため、通常、この手法は平らな雪原上など、単純な地形上で、あまり広くない限られた範囲内でのみ適用されることが一般的です。一方、後者の方法は、吹雪粒子の運動の細かな点までを明らかにするのは困難ですが、規模の大きい建築構造物の周辺や防雪柵付近における吹きだまり分布を比較的容易に計算できるという利点があります。吹雪対策など実用的な問題ではこうした面が重要であるため、このタイプのモデ

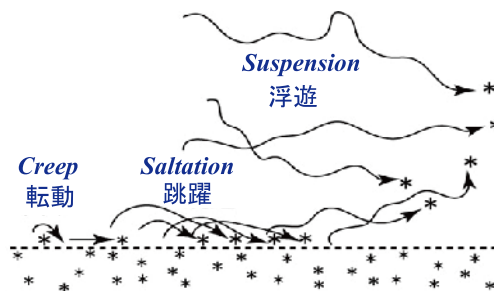


図1 吹雪の運動形態の模式図

ルは防災対策などを考える上で有効なものとなります。

吹雪輸送量、視程の計算

防災科研では、上述した2種類のモデルを使い分け、それぞれについて「吹雪のメカニズムの解明」、「吹雪対策への応用」を行なっています。前者については、個々の吹雪粒子がどのようにして跳躍から浮遊に遷移するかなど、吹雪の発達メカニズムの詳細が調べられています(図2)。後者については、実際に見られるような凹凸のある複雑な形状をした地形の影響を考慮した上で、風の流れや吹雪の濃度、吹きだまり量や、吹雪により視程がどのように変わるかなどを解析しています(図3)。

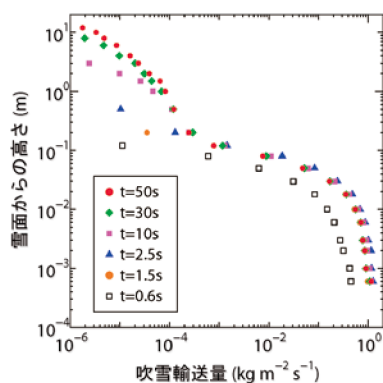


図2 吹雪発達に伴う輸送量(吹雪粒子の質量フラックスの高度分布)の時間変化

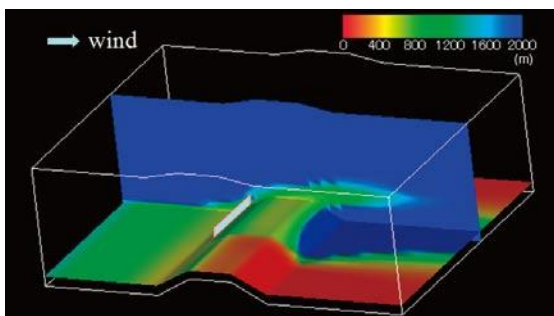


図3 防雪柵が整備された盛土道路周辺の視程分布

時間変動する吹雪のシミュレーション

これまで示した計算例は、流れ場の計算にレイノルズ平均乱流モデルと呼ばれるものを用

いています。これは、流れの細かい変動を時間平均し、比較的ゆっくりとした流れの変化を主に扱う手法です。しかしながら、大気乱流による短い周期の激しい流れの変化によって突発的な視程変動が生じ、交通事故につながる場合もあるため、乱流による瞬間的な時空間変動を考慮した現象解明も重要です。以上を踏まえ、乱流現象の非定常計算に優れるラージ・エディ・シミュレーション(Large-Eddy Simulation、LES)を用いた吹雪の数値モデルの開発も進めています。大気中を漂う吹雪粒子の濃度が場所により異なり、また時間の経過とともにその濃淡が変動する様子などをコンピュータ上で表現することが可能となり(図4)、瞬間的な視程変動が交通環境に及ぼす影響の評価などに応用できます。

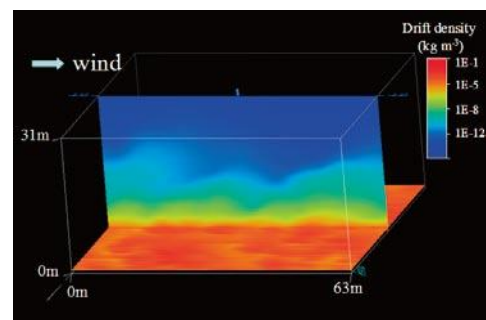


図4 ラージ・エディ・シミュレーションにより計算された吹雪濃度の空間分布(瞬間値)

今後の課題

吹雪は空気と雪粒子が入り混じった混合気体の運動であり、両者はお互いに複雑な影響を及ぼし合いながら運動します。このような複雑な影響を的確にモデル化し、シミュレーションで再現するために、個々の吹雪粒子の運動を見る詳細なモデルの結果を基に、より大きなスケールのモデル化手法を改良・発展させる作業が重要です。また、吹雪の供給源となる雪面の状態は吹雪の発生条件や吹雪の強度に強く影響するため、積雪変質過程を扱うモデルの吹雪モデルへの組み込みにも取り組んでいます。