

学位論文題名

Numerical study on the snow transport  
and drift formation

(吹雪・吹きだまりの数値モデルによる研究)

学位論文内容の要旨

過去の研究によれば、吹雪現象における吹雪粒子の運動は転動、跳躍、浮遊という3形態に分けられる。これまでの吹雪に関する研究はそれぞれの形態についての研究が多く、総合的な理解のための研究は少なかった。しかし、それぞれの運動形態を結びつけ総合的に理解することも重要であり、特に、吹雪現象の結果として現れる吹きだまりは、吹雪現象全体の理解の上ではじめて理解できると考えられる。しかし、吹雪現象は複雑で総合的理解のためには、何らかの形でのシミュレーションが必要となる。これまでのシミュレーションは風洞実験など模型実験によるものが多かったが、これらは模型を用いることにより相似則がつかまとい、結果の理解がむずかしいものとなっていた。

そこで、本論文では3次元の吹雪・吹きだまりの数値シミュレーション手法を提案し、吹雪現象および吹きだまりの研究を行った。この手法においては3つの輸送形態のうち、輸送量の多い跳躍と浮遊と呼ばれる吹雪粒子の輸送形態を考慮した。跳躍の考慮にあたっては、吹雪粒子の跳躍に対する弾道学的考察から、跳躍層における吹雪輸送量の理論式を新たに導き用いた。理論式は吹雪粒子の諸定数とともに、風速の関

数となっており、したがって気流を推定することにより跳躍層の吹雪輸送量を与えることとなる。また、浮遊については、過去の研究成果によって飛雪空間濃度の拡散現象としてとらえることとした。

シミュレーションの手順は次の通りである。まずレイノルズ方程式と連続方程式を解くことによって、気流の場を計算する。この計算結果を用いて、吹雪粒子の落下速度を加味した拡散の方程式を解く。この際、下部の境界条件として、跳躍を考慮する。すなわち、跳躍によって、輸送される吹雪粒子の濃度が下部の境界条件になる。結果として得られる飛雪空間濃度のうち跳躍によって輸送できないものを吹きだまりとして計算する。この手法を平地での吹雪現象、防雪柵、障害物の周りのウインドスクープ、防雪林による吹きだまり、丘の周りの吹きだまりに適用したところ、計算結果は多くの観測値と定量的あるいは定性的に一致した。また、数値シミュレーションにより表現された防雪柵周辺の吹雪現象を吹雪粒子の鉛直フラックスとしてまとめ、吹きだまりの形成について吹雪粒子の運動形態との関わりで解析し、防雪柵の風下での吹きだまり形態が、吹雪粒子の運動形態と密接な関係があることを示した。

本論文で提案した数値シミュレーションは、さらに精度を向上することにより、吹雪・吹きだまりの研究の有効な手段となるとともに、道路や家屋などの建築物の防雪対策立案時など応用面での活用の可能性も十分あると考えられる。

## 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 小 林 大 二  
副 査 教 授 前 野 紀 一  
副 査 助 教 授 石 川 信 敬  
副 査 講 師 知 北 和 久

### 学 位 論 文 題 名

N u m e r i c a l   s t u d y   o n   t h e   s n o w   t r a n s p o r t  
a n d   d r i f t   f o r m a t i o n

(吹雪・吹きだまりの数値モデルによる研究)

吹雪現象における吹雪粒子の運動は転動、跳躍、浮遊という3形態に分けられる。これまでの吹雪に関する研究はそれぞれの形態についての研究が多く、総合的な理解のための研究はなかった。しかし、本来、吹雪現象の研究は転動現象を含む跳躍現象と浮遊現象を同時に扱う必要があり、特に、吹雪現象の結果として現れる吹きだまりは、吹雪現象全体の理解の上ではじめて理解できると考えられる。しかし、吹雪現象は複雑で総合的理解のためには、何らかの形でのシミュレーションが必要となる。これまでのシミュレーションは風洞実験など模型実験によるものが多かったが、これらは模型を用いることにより相似則がつかまとい、結果の理解がむずかしいものとなっていた。

申請者は、3次元の吹雪・吹きだまりの数値シミュレーション手法を提案し、吹雪

現象および吹きだまりの研究を行った。この手法においては3つの輸送形態のうち、輸送量の多い跳躍と浮遊と呼ばれる吹雪粒子の輸送形態を考慮した。跳躍の考慮にあたっては、吹雪粒子の跳躍に対する弾道学的考察から、跳躍層における吹雪輸送量の理論式を新たに導き用いた。理論式は吹雪粒子の諸定数とともに、風速の関数となっており、したがって気流を推定することにより跳躍層の吹雪輸送量を与えることとなる。また、浮遊については、過去の研究成果によって飛雪空間濃度の拡散現象としてとらえることとした。

シミュレーションの手順は次の通りである。まずレイノルズの方程式と連続の方程式を解くことによって、気流の場を計算する。この計算結果を用いて、吹雪粒子の落下速度を加味した拡散の方程式を解く。この際、下部の境界条件として、跳躍を考慮する。すなわち、跳躍によって、輸送される吹雪粒子の濃度が下部の境界条件になる。結果として得られる飛雪空間濃度のうち跳躍によって輸送できないものを吹きだまりとして計算する。この手法を平地での吹雪現象、防雪柵、障害物の周りのウインドスクープ、防雪林による吹きだまり、丘の周りの吹きだまりに適用したところ、計算結果は多くの観測値と定量的あるいは定性的に一致した。また、数値シミュレーションにより表現された防雪柵周辺の吹雪現象を吹雪粒子の鉛直フラックスとしてまとめ、吹きだまりの形成について吹雪粒子の運動形態との関わりで解析し、防雪柵の風下での吹きだまり形態が、吹雪粒子の運動形態と密接な関係があることを示した。

このように、本論文は吹雪現象の解明に格段の進歩をもたらした研究といえる。

本論文で提案した数値シミュレーションは、さらに精度を向上することにより、吹雪・吹きだまりの研究の有効な手段となるとともに、道路や家屋などの建築物の防雪対策立案時など応用面での活用の可能性も十分あると考えられる。

以上により、審査員一同は、申請者が博士（理学）の学位を受けるのに十分な資格を有すると認める。