

学位論文題名

吹雪時の視程推定手法とその活用に関する研究

学位論文内容の要旨

吹雪による視程障害は冬期道路の安全性を脅かし、時には多重事故の誘因となる。このため、吹雪による視程障害対策は積雪寒冷地においては重要な課題である。ところで、吹雪による視程障害は空間的、時間的にも変動が大きい。従って、吹雪情報をドライバーに提供することでドライバーが吹雪を回避する行動をとることが可能となり、冬期道路の安全性や安心感を向上させるのに有効と考えられる。しかし、視程の情報は、峠など一部の地点に視程計が設置されているだけで、現時点では、吹雪時の視程を簡易に広域で現況把握・予測する汎用的な方法・技術は明らかにされていない。このため、吹雪情報を提供することによる冬期道路の安全性や安心感を向上の可能性について示された研究は存在しない。そこで、本研究は、容易に入手できる気象データから吹雪時の視程を推定する手法の開発を行い、その手法を活用して広域での吹雪情報(視程情報)を提供するシステムを試作し、実際にドライバーに吹雪情報を提供し、冬期道路の安全性や安心感の向上について調査を行った。

第1章「序論」では、上に示したような、研究の背景および、既存研究における視程把握方法について整理し、吹雪対策における本研究の位置づけを記した。

第2章「吹雪の物理モデル」では、まず、乱流拡散係数を高さの関数で与えて乱流拡散方程式の一般解を解くことで、初めて降雪を伴う吹雪時の飛雪空間密度の垂直分布式を導いた。

従来、降雪のない吹雪時(地吹雪)には乱流拡散理論が適用され、塩谷の式で知られる飛雪空間密度の垂直分布式が成り立つことが知られていた。しかし、しかし、降雪を伴う吹雪時の飛雪空間密度の垂直分布については、乱流拡散方程式を解いた研究はあったが、乱流拡散係数を高さによらず一定とおいたため、降雪強度を限りなく0に近づけたときに塩谷の式との連続性が失われるという問題があった。そこで、著者は、塩谷と同様に、乱流拡散係数を高さの関数で与えて乱流拡散方程式の一般解を解くことで、塩谷の式を包含する飛雪空間密度の垂直分布式(竹内・松沢の式)を初めて導いた。さらに、浮遊粒子の落下速度と降雪粒子の落下速度を分けて、この垂直分布式を改良した松沢・竹内の式(式(2.7))を導いた。

$$N = \frac{P}{w_f} + \left(N_t - \frac{P}{w_f} \right) \left(\frac{z}{z_t} \right)^{-\frac{w_b}{kU_*}} \dots (2.7)$$

ここで、

N : 飛雪空間密度 [g/m^3], P : 降雪強度 [$g/(m^2s)$], w_b : 浮遊粒子の落下速度 [m/s], w_f : 降雪粒子の落下速度 [m/s], z_t : 基準となる高さ [m], N_t : z_t での飛雪空間密度 [g/m^3], U_* : 摩擦速度 [m/s], k : カルマン定数

である。

第3章「気象条件による吹雪時の視程推定手法の理論」では、吹雪時の視程を推定する手法を明らかにした。

まず、飛雪流量と視程の関係式の改良を行った。竹内と福沢による従来の式では、視程の悪い領域で実測値との誤差が大きくなった点を改良し、視程の悪い領域で誤差が小さい関係式(式(3.5'))を示した。

$$Vis = 10^{\{-0.773 \log(N \cdot V) + 2.85\}} \quad \dots (3.5')$$

ここで、 Vis : 視程[m], N : 飛雪空間密度[g/m³], V : 風速[m/s]

つぎに、容易に入手できる気象データから視程を推定する手法を開発した。過去にも気象と視程との関係式は存在したが、本研究の手法は、物理モデルを適用している点が異なる。この手法の特長は、パラメータの値の変更が可能であり、他の地域へもパラメータの調整によって適用が可能な点にある。また、入力する気象値に予測値を用いることで、視程の予測も可能になる。具体的な視程推定手法の手順は次の通りである。

①式(2.7)の定数(未知数)を定め、任意の高さ z の飛雪空間密度 N を求める。ここでは、既存研究から、 $w_b=0.35$ [m/s], $w_f=1.2$ [m/s], $z_f=0.15$ [m], $N_f=30$ [g/m³], $U_*=0.036V_{10}$ [m/s] (V_{10} は、高さ10mの風速)と与えた。これらの定数と、降雪強度を式(2.7)に用いて N を求めた。

② 任意の高さ z での風速 V と、①で求めた飛雪空間密度 N を式(3.5')に与えることで視程が得られる。

第4章「視程推定精度の評価」では、視程推定手法の精度について検討を行った。2002/03冬期で吹雪の発生した16日を対象に、視程を5階級に分けて視程推定値と視程実測値の比較を行った。10分毎のデータに対しては、視程推定値と視程実測値との適中率が36%、広義の適中率が71%、見逃し率が0%となった。また、1時間毎のデータに対しては、適中率が38%、広義の適中率が79%、見逃し率が0%となった。また視程200m未満を一つのカテゴリーとすると、実際に視程200m未満の状態が発生した81事例中70事例を適中させていることから、視程200m未満の状態を気象条件から推定することについては、かなり精度良く推定できることがわかった。また、ここで与えた定数のうち、 z_f での飛雪空間密度 N_f [g/m³]や摩擦速度 U_* [m/s]と、高さ10mの風速との関係式を求め、その式を用いることで、1時間毎のデータに対しては、適中率が52%、広義の適中率が79%となり、視程推定精度が向上する可能性があることが示された。

第5章「吹雪の広域情報提供システムの開発」では、本研究で明らかにした視程推定手法に基づいて広域の視程情報を作成し、これを含む吹雪情報をドライバーに提供するシステムを開発した。システムには、PCおよび携帯電話のWeb上での情報提供と条件に応じたメールでの緊急通知の機能を持たせた。

第6章「吹雪情報が冬期道路の安全性や安心感に与える効果」では、吹雪情報をドライバーに提供する実験を初めて行い、冬期道路の安全性や安心感に与える効果を把握した。本研究で開発した視程推定手法を用いて作成した視程情報を含む吹雪情報をドライバーに提供し、ドライバーが情報を受けて吹雪を避けるような交通行動の変更があることを、初めて確認した。実験によると、吹雪情報を受けとったドライバーの6割が、情報によって交通行動を変えたことがわかった。また、交通行動を変えなくても、安心感が向上したと答えたドライバーも多かった。その内容としては、出発時間の変更が最も多く、次いで経路の変更であった。また、交通行動を変えなくても、安心感が向上したと答えたドライバーも多く、吹雪情報が冬期道路の安全性と安心感の向上に効果があることがわかった。また、吹雪情報を受け取ったドライバーに吹雪情報の精度に対する満足度を尋ねたところ、現況値については約70%のドライバーが「満足」、「ほぼ満足」と回答した。

第7章「結論」では、以上の研究をまとめ、筆者が開発した視程推定手法は、道路情報提供における吹雪時の視程推定手法として十分利用可能なものであり、視程情報を含む吹雪情報の提供は、吹雪対策の一方策としてドライバーの安全性や安心感の向上に有効であるという結論を示した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐 藤 馨 一

副 査 教 授 加 賀 屋 誠 一

副 査 教 授 清 水 康 行

副 査 客員教授 西 村 浩 一 (低温科学研究所)

学 位 論 文 題 名

吹雪時の視程推定手法とその活用に関する研究

吹雪による視程障害は冬期道路の安全性を脅かし、時には多重事故の誘因となる。このため、吹雪による視程障害対策は積雪寒冷地においては重要な課題である。しかし、視程の情報は、峠など一部の地点に視程計が設置されているだけで、現時点では、吹雪時の視程を簡易に広域で現況把握・予測する汎用的な方法・技術は明らかにされていない。このため、吹雪情報を提供することによる冬期道路の安全性や安心感を向上の可能性について示された研究は存在しない。そこで、本研究は、容易に入手できる気象データから吹雪時の視程を推定する手法の開発を行い、その手法を活用して広域での吹雪情報（視程情報）を提供するシステムを試作し、実際にドライバーに吹雪情報を提供し、冬期道路の安全性や安心感の向上について調査を行った。

第1章「序論」では、上に示したような、研究の背景および、既存研究における視程把握方法について整理し、吹雪対策における本研究の位置づけを記した。

第2章「吹雪の物理モデル」では、まず、乱流拡散係数を高さの関数で与えて乱流拡散方程式の一般解を解くことで、初めて降雪を伴う吹雪時の飛雪空間密度の垂直分布式を導いた。従来、降雪のない吹雪時（地吹雪）には乱流拡散理論が適用され、塩谷の式で知られる飛雪空間密度の垂直分布式が成り立つことが知られていた。しかし、しかし、降雪を伴う吹雪時の飛雪空間密度の垂直分布については、乱流拡散方程式を解いた研究はあったが、乱流拡散係数を高さによらず一定とおいたため、降雪強度を限りなく0に近づけたときに塩谷の式との連続性が失われるという問題があった。そこで、著者は、塩谷と同様に、乱流拡散係数を高さの関数で与えて乱流拡散方程式の一般解を解くことで、塩谷の式を包含する飛雪空間密度の垂直分布式（竹内・松沢の式）を初めて導いた。さらに、浮遊粒子の落下速度と降雪粒子の落下速度を分けて、この垂直分布式を改良した松沢・竹内の式を導いた。

第3章「気象条件による吹雪時の視程推定手法の理論」では、吹雪時の視程を推定する手法を明らかにした。竹内と福沢による従来式では、視程の悪い領域で実測値との誤差が大きくなった点を改良し、視程の悪い領域で誤差が小さい関係式を示した。

$$Vis = 10^{\{-0.773 \log(N \cdot V) + 2.85\}}$$

ここで、 Vis : 視程[m], N : 飛雪空間密度[g/m³], V : 風速[m/s]

つぎに、容易に入手できる気象データから視程を推定する手法を開発した。過去にも気象と視程との関係式は存在したが、本研究の手法は、物理モデルを適用している点が異なる。この手法の特長は、パラメータの値の変更が可能であり、他の地域へもパラメータの調整によって適用が可能な点にある。また、入力する気象値に予測値を用いることで、視程の予測も可能になる。

第4章「視程推定精度の評価」では、視程推定手法の精度について検討を行った。2002/03冬期で吹雪の発生した16日を対象に、視程を5階級に分けて視程推定値と視程実測値の比較を行った。10分毎のデータに対しては、視程推定値と視程実測値との適中率が36%、広義の適中率が71%、見逃し率が0%となった。また、視程200m未満を一つのカテゴリーとすると、実際に視程200m未満の状態が発生した81事例中70事例を適中させていることから、視程200m未満の状態を気象条件から推定することについては、かなり精度良く推定できることがわかった。

第5章「吹雪の広域情報提供システムの開発」では、本研究で明らかにした視程推定手法に基づいて広域の視程情報を作成し、これを含む吹雪情報をドライバーに提供するシステムを開発した。システムには、PCおよび携帯電話のWeb上での情報提供と条件に応じたメールでの緊急通知の機能を持たせた。

第6章「吹雪情報が冬期道路の安全性や安心感に与える効果」では、吹雪情報をドライバーに提供する実験を初めて行い、冬期道路の安全性や安心感に与える効果を把握した。本研究で開発した視程推定手法を用いて作成した視程情報を含む吹雪情報をドライバーに提供し、ドライバーが情報を受けて吹雪を避けるような交通行動の変更があることを、初めて確認した。実験によると、吹雪情報を受けとったドライバーの6割が、情報によって交通行動を変えたことがわかった。また、交通行動を変えなくても、安心感が向上したと答えたドライバーも多かった。また、吹雪情報を受け取ったドライバーに吹雪情報の精度に対する満足度を尋ねたところ、現況値については約70%のドライバーが「満足」、「ほぼ満足」と回答した。

第7章「結論」では、以上の研究をまとめ、筆者が開発した視程推定手法は、道路情報提供における吹雪時の視程推定手法として十分利用可能なものであり、視程情報を含む吹雪情報の提供は、吹雪対策の一方策としてドライバーの安全性や安心感の向上に有効であるという結論を示した。

これを要するに、著者は、吹雪時の視程推定手法を新しく開発し、その信頼性を確かめるとともに、ドライバーへの満足度調査を実施し、冬期道路管理の向上を目指したものであり、交通安全工学、交通計画学、流体力学、雪氷工学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。