

学位論文題名

STUDIES ON THE VISIBILITY FLUCTUATION  
BY AIRBORNE SNOW PARTICLES

(雪粒子による視程変動の研究)

学位論文内容の要旨

人の眼が、目標物を背景から識別できる最大距離を、気象学的な視程と定義しているが、この場合は、静的現象を想定している。大気の静的現象の表現としてはこれでも問題がないが、降雪時や吹雪の時、目標物を識別する困難さを想像してもわかるように、視程は空間的にも一様ではなく、更に時間的変動をも含む場合が多い。航空気象の分野では、計器飛行技術が進歩した現在でも、1000 m単位の視程を計測し、必要な視程距離を確保できない時は離発着をやめることがある。訓練を受けたパイロットが、特定の場所を運行する飛行機でも、自分の眼で状況を確認できる視覚は、最も重要な情報源である。

地形・構造物の影響が大きい道路気象の分野では、視程の変動が更に複雑になる。近年、冬でも高速自動車交通が可能となる一方で、視程障害を主な要因とする大規模な交通事故が増えている。車の速度が増すほど、高齢になるほど人の眼の動体視力が低下することからも、時間的、空間的な変動に注目した視程障害に関する研究の発展が望まれている。この研究は、北海道石狩町にある北海道開発局開発土木研究所の吹雪観測所及び、札幌近郊を中心とした、国道、高速道路などいずれも野外の観測を基礎にして進められた。

この論文は、以下のような章で構成した。

1. はじめに
2. 視程の計測と野外観測

3. 霧, 降雪, 吹雪による視程の特徴
4. 雪煙による視程の特徴と雪煙発生機構・雪煙の規模
5. 霧・降雪と吹雪・雪煙による視程変動の識別
6. 輝度差による視程計測システムの開発
7. 防雪対策による視程障害緩和機構
8. まとめ

先に述べたように, 変動の大きな視程を定義通り, 人の眼で連続的に観測することは不可能である。この論文では, 空間浮遊物に応じた, 光の物理的性質を電気信号とし, 輝度差や, 透過率から視程を導くことが可能な事を確認した。さらに, 輝度差や透過率を計測する際, 最も精度良く計測できる光のスペクトルは, 観測しようとしている視程距離の3分の1となることを解析的に明らかにした。また, 変動を含む視程を計測し, 霧, 吹雪, 降雪, 雪煙等による視程変動の特徴を調べ, 吹雪の時の視程は, 霧の場合に比べ変動幅が大きく変動周期が速くなる事を定量的に明らかにした。更に, 心理学では人の感覚が対数スケールで扱われていることに注目し, 変動の記録から変動強度を計算し, 原因となった現象を推定する方法を提案した。

吹雪による視程障害についてはこれまでも研究が行われてきているが, 雪煙による視程障害は, 雪道を高速で走られない時代にはなかった障害であり, 対策はもとより, 実態についても我々が調査するまでは研究例がなかった。今後, 道路整備が進むに従い, 雪煙による視程障害の影響が大きくなると考え, 雪煙の発生条件, 雪煙と道路構造との関係を調べる目的で, 道路構造の違う2カ所の供用中の道路における雪煙による視程障害の実態を観測した。その結果, 河川堤防沿いで, 吹雪防止用の吹き止め柵が路側に設置された所では, 盛土区間に比べ雪煙の拡散が抑制されるため視程障害継続時間が長いなど, 雪煙による視程障害が道路構造に依存する度合いの大きいことが明らかとなった。また, 大きな車ほど周囲にできる伴流が大きく, 強いため規模の大きな雪煙ができる。伴流の垂直変動成分の大きさが車高付近で, 雪煙の中の雪粒子の落下速度と同じ程度の大きさとなることから, 一台の車による雪煙の高さは車高程度であることを明らかにした。

これらの一連の研究のなかで、輝度差を計測する手法にビデオカメラを応用した、新たな視程計測システムを開発した。これは、周囲の状況を映像で確認しながら、人の眼と同様、一点から多地点の視程変動を同時に計測できる唯一の計測システムである。ビデオカメラには、人の眼の感度と同じ光学特性を持つフィルターを用いてあるため、人の眼の感覚により近い視程計測が可能となったと言える。

さらに、視程障害防止対策として利用されている、防雪柵や防雪林の設置による視程障害緩和機構を調べた。防雪柵の風下では、突風の後で見られる視程の急激な低下は見られず、安定した視程が確保されている。また、国道12号岩見沢で行われた視程障害緩和を目的に植栽された防雪林では、風が強く飛雪量が多くなるほど防雪林設置効果が大きくなっていることが確かめられている。平均視程や視程変動強度についても、視程距離が短い、強い吹雪ほど大きな視程障害緩和効果を得られる。更に、暗緑色の防雪林は、視線誘導効果もあるほか日中では、視線誘導用に使われているデリニエータの2倍ほど視認距離が長くなることがわかった。

防雪対策の充実により、吹雪による交通障害は減っている。晴天無風時でも雪煙など、新たな視程障害現象が発生し、発生機構の解明を続けている。視程は、車を運転する者にとって、最も必要な情報源であるが、一般に、高速走行時ほど、また、高齢になるほど人が動く物を視認する能力である動体視力が低下する。今後、関連分野の研究者とも連携を深め、総合的に研究を推進する必要がある。

# 学位論文審査の要旨

主査 教授 菊地 勝弘  
副査 教授 播磨屋 敏生  
副査 助教授 上田 博

学位論文題名

## STUDIES ON THE VISIBILITY FLUCTUATION BY AIRBORNE SNOW PARTICLES

(雪粒子による視程変動の研究)

人の眼が、目標物を背景から識別できる最大距離を、気象学的な視程と定義しているが、この場合、背景は勿論観測者から目標物までの静的現象を想定している。したがって、大気の静的現象の表現としてはこれでも問題はないが、降雪時や吹雪の時、目標物を識別する困難さを想像してもわかるように、視程は空間的にも一様ではなく、更に時間的変動をも含む場合が多い。自分の眼で状況を確認できる視覚は、最も重要な情報源である。この、視覚情報の円滑な取得を妨げているのが視程障害であり、空間的な非一様性と、空間浮遊物による時間変動の研究を行うことは、今後の航空気象学や交通気象学また交通工学の立場からも大変重要なことである。この研究では主として降飛雪や雪煙等によって接地境界層付近に浮遊する雪粒子による視程変動を論じたものである。

本論文は八章から構成されており、第一章は序論で、第二章では視程計測の原理を述べている。すなわち、目標物を背景から識別できる最大距離が視程の定義であるが、透過率を使っても光の減衰を計測できるので、透過率計を用いて視程の連続測定が可能である。一方、輝度差を使っても視程の連続測定が可能であるが、透過率でも輝度差でも分解能が最も良くなる光の投受光間隔は、計測する視程の $1/3$ であることを明らかにした。

第三章では、空間浮遊粒子の違いによる視程の減衰について述べている。すなわち、透過率計を使った測定では霧は、吹雪などに比べ一様に分布していることを反映し、

平均視程は低下するものの、その変動強度は小さい。一方、降雪の視程変動は、周期の短い部分でピークを持つが、その変動幅は吹雪の1/1000程度である。吹雪の視程変動は、周期が短く、非常に大きな変動幅を示すのが特徴であることを観測から明らかにした。

第四章は走行車輛による雪煙の発生機構とその大きさについて述べている。一般に温度が下がるほど雪粒子の結合力が弱くなるため、走行する車の周囲にできる伴流や、タイヤの機械的な力で雪が舞い上がる。したがって雪煙の発生しやすさは、気温と降雪量から大まかに推定できる。また、雪煙の高さは雪粒子の落下速度と車の周りにできる伴流の垂直速度成分の大きさと均衡しているために、一台の走行する車による雪煙の高さは、ほぼ車の高さと同じ程度になることを明らかにした。

第五章では、霧・降雪・吹雪・雪煙などによる視程の減衰・変動の特徴を調べ、視程計による測定から変動強度を計算し、霧・降雪と吹雪・雪煙を識別した。さらに、視程変動強度の計算は、視程を対数表現した方が、実態に合っていることを示した。

第六章では、背景と目標物の輝度差から視程を計測することを提唱し、CCDビデオカメラをセンサーとする視程計測システムを開発した。この計測システムは一点から複数個所の視程を0.5秒毎に同時計測できる唯一のシステムで、このシステムによって、初めて人の眼のように一点から複数個所を見たときの視認距離を同時測定できるようになった。

第七章では、降飛雪時の視程障害を緩和させる具体的な方法を提示し、それらの効果について検討している。すなわち防雪柵は風下の風速を弱め、強い風によって運ばれる降飛雪量を減らし、視程の急激な減衰を緩和する。三列の防雪林の風下で行った飛雪量や視程の観測から、風が強く吹雪による降雪量が増えるほど、防雪林の効果が大きくなることを明らかにした。

第八章は、結論で、霧・降雪・吹雪・雪煙などによる視程障害の特徴を明らかにするとともに、輝度差による視程計測原理を提示し、CCDビデオカメラに適用して、一点から複数個所の視程を同時測定可能なシステムを開発した。

このように申請者は雪粒子による視程変動を精力的な野外観測データから明らかにした点は、今後ますます拡大するであろう高速道路網の気象学、雪氷学および交通工学の接点である交通気象学とでもいべき分野に新たな問題点を提起し、その解決への先鞭をつけたことは、高く評価される。

参考論文は30篇あり、その内8篇は欧文で、この分野で高い評価を受けている。

以上により、審査員一同は、申請者が博士（理学）の学位を受ける資格を有するものと認める次第である。