

土木試験所報告

第 74 号

吹雪時の視程に関する研究

.....竹内政夫

昭和 55 年 8 月

北海道開発局土木試験所

吹雪時の視程に関する研究

竹内政夫*

(昭和55年6月 受理)

Abstrac

Research on visibility in blowing snow has been carried out using transmissometers, anemometers, snow traps and visual targets.

Results indicate that visible airborne snow particles, having a large diameter compared to the wavelength of light, influence visibility and light attenuation in blowing snow.

A transmissometer-type of visibility monitor was developed and tested for research on highway traffic operations under conditions of poor visibility in blowing snow.

Factors contributing to poor visibility on highways have been analyzed based on conditions of road geometry, topography, meteorology and other environmental features.

Several methods have been developed to improve visibility under conditions of blowing snow.

目 次

第1章 序 論.....	2
第2章 雪による視程の特徴.....	3
§ 2.1 まえがき.....	3
§ 2.2 観測方法.....	3
§ 2.3 視程と風速.....	3
§ 2.4 視程と雪の空間濃度.....	4
§ 2.5 視程と雪の移動量.....	5
§ 2.6 飛雪の粒度分布.....	7
§ 2.7 あとがき.....	7
第3章 吹雪時における光の減衰と視程.....	7
§ 3.1 まえがき.....	7
§ 3.2 透過率計の構造と観測方法.....	8
§ 3.3 雪による光の減衰機構.....	8
§ 3.4 吹雪による光の減衰.....	9
§ 3.5 光による視程の観測.....	11
§ 3.6 あとがき.....	12
第4章 道路交通と視程.....	12
§ 4.1 まえがき.....	12
§ 4.2 中山峠における視程と交通.....	12

*応用理化学研究室副室

4.2.1 調査方法.....	12
4.2.2 視程障害の実態.....	12
4.2.3 通行止めと渋滞例.....	14
§ 4.3 道路における視程の特徴.....	15
4.3.1 視程（潜在視程）と顕在視程.....	15
4.3.2 道路標識の見え方.....	15
4.3.3 目の高さに集中した飛雪による視程障害.....	16
4.3.4 視程の変動.....	17
§ 4.4 あとがき.....	18
第5章 道路における視程障害防止対策.....	18
§ 5.1 まえがき.....	18
§ 5.2 視程障害の構造と要因.....	19
§ 5.3 視程障害拡大要因.....	19
5.3.1 誘因に影響する拡大要因.....	19
5.3.1.1 吹雪の吹走距離.....	19
5.3.1.2 路側雪堤と切土.....	21
5.3.2 素因に影響する拡大要因.....	21
5.3.2.1 目標物の少ない道路.....	22
5.3.2.2 標識板着雪.....	22
5.3.2.3 路面積雪.....	22
5.3.2.4 道路の曲線部.....	23
§ 5.4 視程障害防止対策.....	23
5.4.1 視程障害の緩和.....	23
5.4.2 視程変動の緩和.....	26
5.4.3 視程の顕在化と視線誘導.....	27
5.4.4 道路標識の着雪防止.....	28
§ 5.5 あとがき.....	29
第6章 結論.....	29
引用文献	30

第1章 序論

北海道における冬の道路交通は、戦後になって本格的な除雪が行われるまでは、永い間雪に閉されたものであった。道路交通の発達とといこ除雪体制も整備され、国道においては維持延長の97%まで除雪されるようになった。除雪機械の性能向上によって、それまで通行を不可能にした吹だまりや大雪からも、交通を確保できるようになった。

北海道の冬の道路交通で最も大きな問題となっているのは、路面凍結によるすべりの問題と吹雪による視程障害である。道路交通の正常な運行に支障が生ずるほどに視程が低下するのが視程障害で、交通事故や交通の渋滞の誘因となり、通行止めの最大の要因となっている。

視程に関する研究は、Middeton(1952)によって集大

成されているが、その中で取扱われているのは、微少なものから光の波長の数倍程度の大きさの空間浮遊物を対象としたものであった。そして視程は、空間浮遊物による光の一様減衰として表わされてきた。空間浮遊物の粒子の大きさが、光の波長の十分の一程度まではRayleigh散乱、数倍まではMie散乱の形で光は減衰されることが知られている。しかし、雪は目の近くでは一個一個識別できるように、光の波長と比べて十分大きい。このため同じ形、大きさの雪でも目の近くにある場合と遠くにある場合では、視程に対する影響も異なることが予想される。また、運動している雪は、残像のため尾を引いて感知される。ここでは、目に見える大きさを持つ運動状態の雪が視程にどのように影響するかを研究した。

雪による光の減衰の研究は、O'Brien(1970)などによって行われているが、Mie散乱として考えられてきたの

土木試験所報告

第 74 号

吹雪時の視程に関する研究

.....竹内政夫

昭和 55 年 8 月

北海道開発局土木試験所

で、ここでは雪の大きさを考慮した光の減衰機構を検討する。

視程の観測や光の減衰量の測定によって、降雪量や吹雪量を求める試みは、Lillesaeter(1965), Budd, Dingle and Radok(1966), Stallabrass(1978)などが行っているが、雪の量的な測定の同時性などに問題があるので、飛雪量と光の減衰量の同時測定を行い問題点を明らかにする。

視程の研究や視程障害発生時の交通管理のためには、視程を測定できる測器が必要である。そのために、視程計の開発と実用化の研究を行った。視程計については、われわれとほぼ同時期に、Schmidt(1977)が雪の個数と大きさおよび風速とから視程を測定する計器の研究を始めている。Tabler(1978)は、米国において Schmidt(1977)の視程計を交通管理に利用する方法を開発し、視程情報のドライバーに対する伝達と通行止めとその解除など交通管理のシステムに組入れることに成功している。しかし、視程と交通現象との関係については研究していないことと、交通管理には吹雪そのものや管理方式が違うなど地域的な問題がある。このことから、われわれは、北海道の代表的な吹雪多発地である一般国道230号中山峠において、視程と交通との関係を調査し、低視程時の交通管理方法を検討する。

従来、吹雪対策は吹だまりの面からのみ調査研究が行われてあり、視程障害についてはほとんど行われていなかった。視程障害防止を目的として、吹雪の特徴と道路交通の特性から、道路における視程障害の特徴、発生要因、構造などを実態的に調査し、それに基づいた視程障害の防止方法についての調査と実験を行った。

以下、これらについて章を追って述べる。

第2章 雪による視程の特徴

§2.1 まえがき

雪による視程の低下は、大気中に雪粒子が浮遊することによって生じる。雪はこれまでに視程の研究対象とされてきた霧や大気汚染物質と比べて、非常に大きい粒子である。このため、視程も微細な空間浮遊物の場合には見られない特徴をもっている。この章では、視程の目視観測の結果から得られた雪による視程の特徴について述べる。

§ 2.2 觀測方法

観測場所は、石狩川河口近くの低水路の右岸から東へ約350m入ったところである。この場所は、東西方向に約800m、南北方向に1,500mの湿地帯で、積雪期には



写真・1 捕 雪 袋

完全に雪でおおわれた一様な平坦地となる。視程観測は気象観測法に基づいて、視角が 0.5° に見えるような大きさの黒い正方形の視程板による目視観測で行った。視程板は、観測地点から $10, 20, 40, 60, 80, 100, 150(m)$ 離して、卓越風に平行になるように設置し、その他に人家や防風林を視標とした。同時に風向風速、気温、風速計5台による高さ6mまでの風速垂直分布などの気象観測と写真-1に示すような捕雪袋による飛雪量の測定を行った。捕雪袋は 50μ メッシュのベンベルグで作った袋を内径10.8cmの塩化ビニールパイプの筒に付けたもので、吹流しの原理で筒ごと風に向くように、ボールベアリングを通した軸をもつ台に固定した。強風時の降雪や吹雪時において、雪はほぼ水平に流されるので風による雪の輸送量が測定できる。捕捉率は風洞において空気の捕捉率として求めた。

§ 2.3 視程と風速

視程は、目標物の明るさと背景の明るさとの比を、人間の目が認別できる最大の距離と定義されている。

Koschmieder(1924)は、黒い物体を目標物にした場合の視程を大気空間における光の一様減衰を仮定して、次式のように表わしている。

B_B：黒い物体の見かけの明るさ

B_H：背景の明るさ

：人間の目の明暗対照の臨界値

:光の消散係数

v : 視程

$$v = \frac{1}{\sigma} \ln \frac{1}{\hat{\epsilon}} \dots \quad (2)$$

空間浮遊物が雪の場合，光の消散係数は，雪の空間濃度に比例すると考えられる。

われわれの観測で，視程が 1,500m以下になった時の気象条件は，強い降雪，高い地吹雪に降雪が加わったいわゆる吹雪とであった。降雪の場合の視程は，最低でも500mであったが，吹雪の時には 20mまで観測された。吹雪，地吹雪時の飛雪量は，風速が大きいほど多くなると考えられる。したがって，風速が大きくなるにしたがって光の消散係数が大きくなり，視程も低くなる。そこで図 - 1 に吹雪，地吹雪時の視程と風速との関係を表わした。

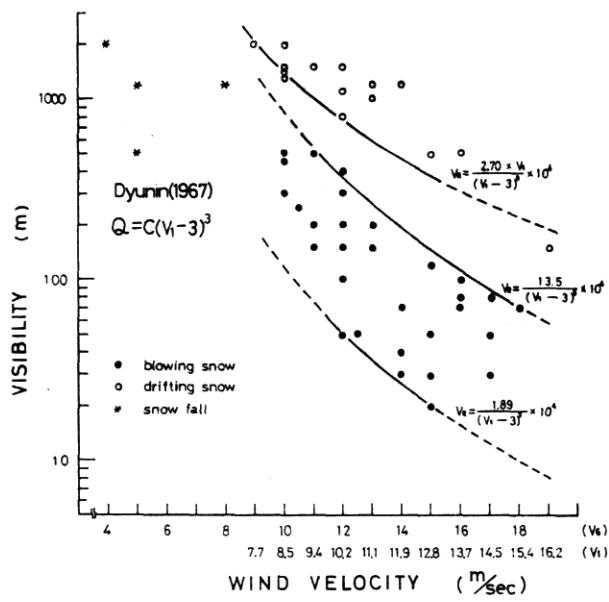


図 - 1 視程と風速

Dyunin(1967)は、吹雪量と風速との関係を実測をもとに次式を得た。

O：吹雪量

C: 定数

v1 : 1 mの高さにおける風速

v' : 吹雪発生の限界風速

(3)式は、単位幅、単位時間当たりの飛雪移動量を表すが、吹雪量が大きいほど飛雪空間濃度も大きいと考えられる。そこで、吹雪量 Q を 1m の高さでの風速 v_1 でわって定数を決めるこことによって、 1m の高さでの飛雪空間濃度を風速から推定できる。視程と風速で表わされる飛雪空間濃度との反比例の関係を、図-1 こあてはめてみると、高い地吹雪の下限の場合によく合う。しかし、吹雪の場合視程は、飛雪空間濃度と風速との積、すなわち 1m の高さでの飛雪輸送量に反比例した形で表わしたほうがよく合うことがわかった。図-1 の高い地吹雪の

下限を結んだ曲線は(4)式で表わされ,この場合の視程は飛雪空間濃度に反比例していることを示す。

また、吹雪の上限は(5)式、下限は(6)式で表わされ、視程は飛雪輸送量に反比例していることを示す。

このように、風速から間接的に飛雪の空間濃度や輸送量を計算し、視程との関係を求めたところ、高い地吹雪の場合は飛雪空間濃度と合うが、視程の低い吹雪の場合は予想に反して飛雪空間濃度よりも飛雪輸送量と合う結果になった。このことをよりはっきりさせるために、飛雪景の直接測定を行った。

§ 2.4 視程と雪の空間濃度

視程に関する雪による光の減衰は、雪の空間濃度に比例すると言われるので、吹雪、地吹雪時の視程の目視観測と同時に飛雪量の直接測定を行った。捕雪袋を

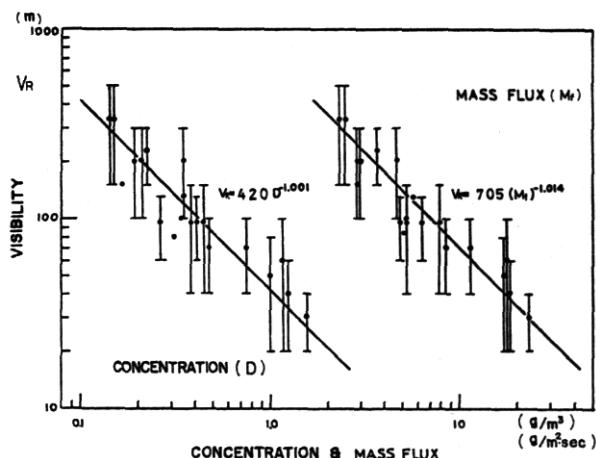


図-2 視程と飛雪空間濃度および飛雪輸送量

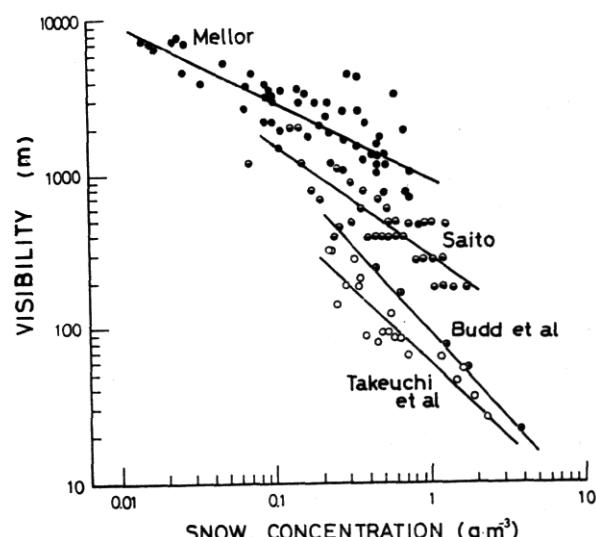


図-3 視程と雪の空間濃度

の高さ(1.5m)に設置し、捕捉した雪の量を1.5mの高さの風速でわって飛雪空間濃度とした。吹雪時の視程の変動は激しいので、測定時間はできるだけ短かくするようにしたが、図-2の観測結果が示すように、測定中に視程が変動したものは、変動幅を線の長さで表わしその中心を黒まるで表わした。図-2には飛雪空間濃度のほかに、飛雪輸送量もあわせて示したが、どちらも視程とよい相関をもっている。相関係数は雪輸送量のほうがやや高くなっているが有意なものでなく、これからだけではどちらがよりよく対応するかはわからない。

視程と雪の空間濃度については、ほかに Mellor(1966)は無風時の降雪、斎藤(1971)は季節風による降雪、Budd他(1966)は南極の吹雪で観測している。これらの観測結果を比較してみると図-3のように、視程と雪の空間濃度との関係は、それぞれが観測している現象だけについてみると、よい反比例の関係を示している。しかし同じ雪の空間濃度でも、例えば無風時の降雪と吹雪とを比べてみると、前者では視程が1,000mあるのに後者では80mというように、現象による違いは著しいものがある。視程が同じ雪の空間濃度で12倍以上も違うことは、後述するように、光の消散係数は吹雪の場合降雪のたかだか5倍程度であることを考えると大きすぎる。これらのことから、空間浮遊物が雪の場合の視程は、雪が目に見える大きさをもつことから考えて、光の一様減衰からだけでは説明できないように思われる。

§2.5 視程と雪の移動量

視程と風速との関係から、吹雪の場合のように低視程時には、視程は雪の空間濃度よりも飛雪輸送量で表わしたほうがよく対応する結果が得られた。また、後述する方法で行った光を使った吹雪の観測から、視程と光の消散係数との関係は、視程が 150m 以下になると Koshmiedler (1924) の式で予想される値に比べて、図 - 4 のように視程の観測値は低いほうにずれることを見いだした(鎌田, 竹内, 福沢(1971))。これらのこととは、雪のように目の近くでは粒子一個一個を識別できるような大きい空間浮遊物の場合には、Koshmieder (1924) のように視程を光の一様減衰と仮定できないことを示すものと考えられる。

すなわち、同じ形、大きさの雪でも、目に見えるところにある場合と遠くにあって識別されない場合とでは、視程に与える影響は違ってくる。たとえば、夜間に前照灯を照らすと、目の近くの雪に光が反射されて前方が見通せなくなるのに、消灯すると遠くまで見えることがある。これは点灯時に近くの雪が強く輝くことによって、その影響が拡大されることと、その雪に目が奪われるた

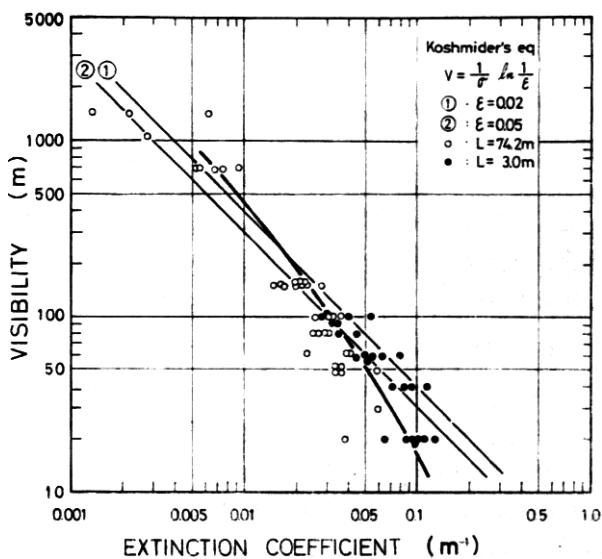


図-4 視程と光の消散係数

$$B_i = B_f \left[D + u \left(\frac{1}{\mu} - \frac{1}{\alpha} \right) \left\{ 1 - \exp \left(-\alpha \frac{D}{u} \right) \right\} \right]$$

Saito (1971)

Hammer (1949)

図-5 刺激の蓄積と減衰

めであり、消灯すると暗くて近くの雪も識別できなくな
り光の一様減衰に近い状態になるためである。

また、目に見える雪は、点としてではなく残像のために尾を引いて見える。これは古くから知られている光覚の漸旺と漸消という現象で、目に光の刺激が作用してから、光覚が起るまでには若干の時間を要し、その後光覚は旺盛になる。刺激が去った後も光覚はすぐには消失せず、若干時間の後次第に消える。このように雪が尾を引いて見えるのは、刺激の蓄積とその減衰で説明される。

明るさが 0 とみなせる黒い視程板を背景に、明るさ B_f 、 u の速度で動く方向に D の大きさをもつ一個の雪について考えてみる。図-5 のように、この雪がある点を $t = 0$ から $t = D/v$ の間を通過する時、目に感ずる明るさを B' とすると、刺激の蓄積量 dB は B_f と B' の差に比例する。そこで、 dB を刺激の蓄積率とすると、 B' は次式で表わされる。

Hammer(1949))，減衰率を μ とすると， B' は次式で表わされる。

$$B' = \left\{ 1 - \exp \left(\alpha \frac{D}{u} \right) \right\} \times \exp \left\{ -\mu \left(t - \frac{D}{u} \right) \right\} \quad (8)$$

光を感じてから蓄積された刺激が消えるまでの時間で積分した値 B_t を，目が感ずる全刺激として斎藤(1971)は次式を導いた。

$$B_t = B_f \left[D + u \left(\frac{1}{\mu} - \frac{1}{\alpha} \right) \times \left\{ 1 - \exp \left(-\alpha \frac{D}{u} \right) \right\} \right] \quad (9)$$

μ は，刺激の強さなどの条件によって種々の値をもつが，一般に $\mu > \mu$ と考えられているので，黒い背景をもった白い物体は動いている時のほうが刺激も大きい。また，(9)式は白い物体の動く速度が大きいほど刺激量が大きいことを示している。すなわち，動く速度が大きいほど視程の低下も大きい。

このように雪の場合には，残像によっても視程が低下し，その影響は雪の移動速度が大きいほど大きいことがわかる。

目の高さでの雪の動く方向への移動量と視程の関係を求めることによって，間接的に残像の影響を知ることができるのでこの関係を調べた。雪の移動量は，雪の落下

速度と目の高さの風速からベクトル合成した雪の移動速度と雪の空間濃度との積として，次式によって計算した。

$$M_f = C \cdot \sqrt{v_w^2 + v_t^2} \quad (\text{g/m}^2 \cdot \text{sec}) \quad (10)$$

M_f ：雪の移動量

v_w ：風速

C ：雪の空間濃度

v_t ：雪の落下速度

図-4の視程と雪の空間濃度との関係を，視程と雪の移動量との関係に書きかえると，図-6になる。視程と雪の移動量の関係では，雪の空間濃度との間にみられたような，現象による違いはなく，視程 10m から 4,000m に範囲まで，(11)式の実験式で表わされる。

$$V = \frac{68.3}{(M_f + 0.125)} + 2.6 \quad (\text{m}) \quad (11)$$

図-6でわかるように，全体的に視程が低くなるにつれて，雪の移動量に対する視程の低下率（曲線の勾配）が大きくなっている。このことは，視程距離に対する雪を識別し得る目からの距離の割合は低視程ほど大きく，そのため目の近くの雪とその残像の影響がより大きく表われているからと考えられる。このように雪の場合視程は空間における光の減衰だけでなく，残像なども含めた人間の目の心理的，生理的機能にも影響されていることがわかる。

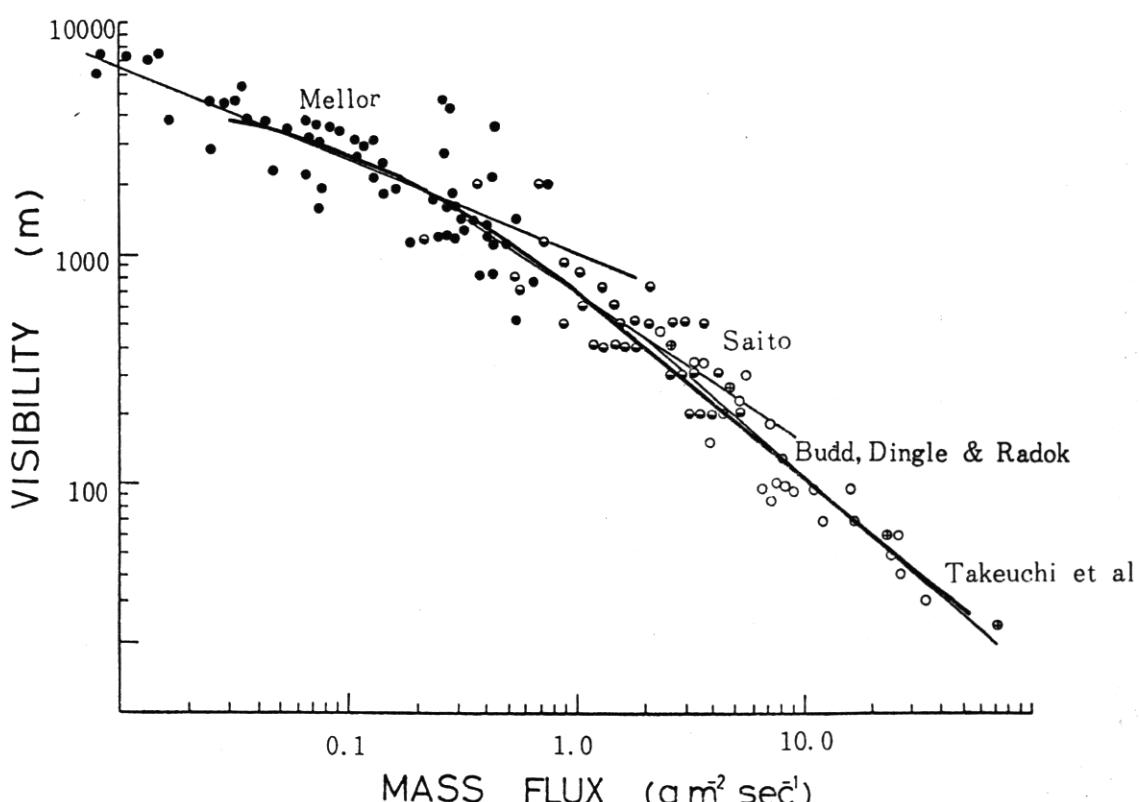


図-6 視程と雪の移動量

§ 2.6 飛雪の粒度分布

吹雪待の飛雪量と飛雪の粒度分布を知るために、飛雪を water blue を浸み込ませた炉紙に受けて、融解痕跡の大きさから水滴の大きさに換算して求めた。測定対象の大きさは、水滴に換算して 0.5mm 以上である。視程との対応をみるとために、雪面から 1.5m の高さで測定した。測定結果を図-7 に示す。Gunn and Marshall (1958) が示したように、雪の大きさを D 、個数を N_D とすると、 D は $\log N_D$ と直線関係になっており、低視程時こは降雪と考えられる大きな雪片が含まれているのがわかる。粒度分布から飛雪移動量を次式によって計算し、視程との

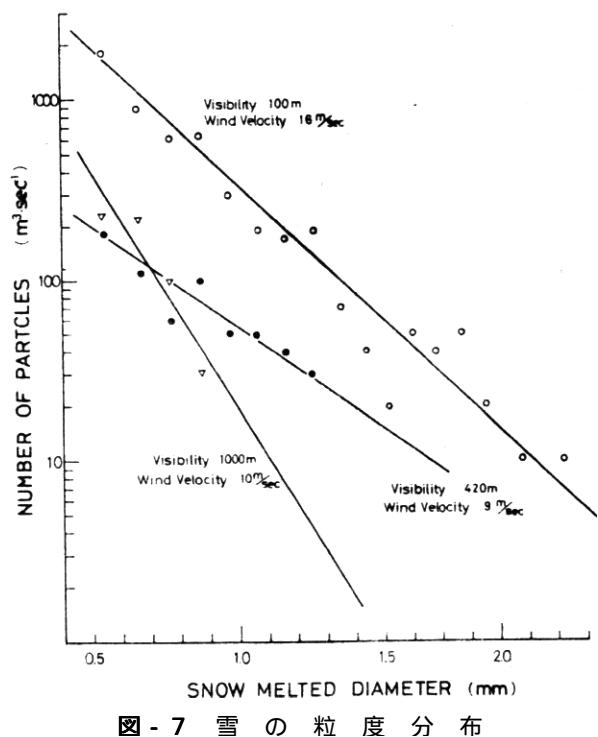


図-7 雪の粒度分布

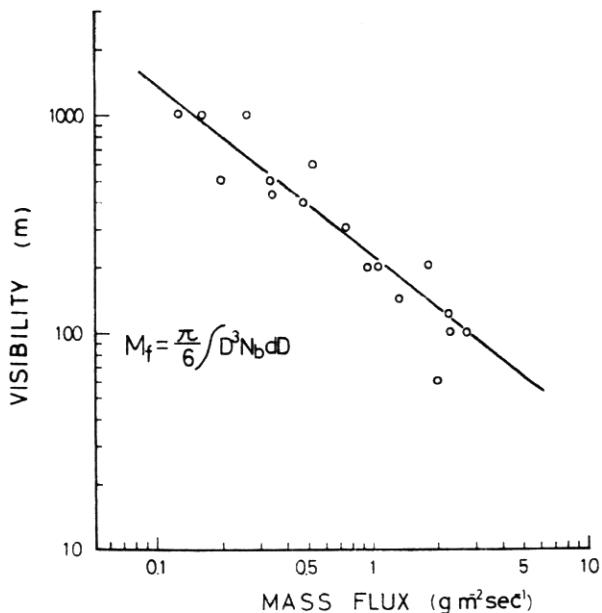


図 - 8 視程と飛雪輸送量

関係で表わしたのが図 - 8 である。

炉紙法によって得た視程と飛雪移動量との関係を、図

- 3 の捕雪袋で測定したものと比較すると、炉紙の場合は同じ飛雪移動量でも視程は低く表われている。これは炉紙で測定する場合は、雪が乾いているため反撥するものが多く、それだけ捕捉率が小さかったためと考えられる。

§ 2.7 あとがき

雪による光の減衰は雪の空間濃度に比例するので、視程は光の減衰量や雪の空間濃度に反比例すると考えられてきた。しかし、視程と雪の空間濃度の関係は、同じ雪の空間濃度でも吹雪の場合と降雪の場合のように、現象によって大きな違いが見られる。また、視程と光の消散係数との関係をみると、低視程時には光の一様減衰を仮定した視程に関する Koshmieder(1924) の式がなりたなくなる結果が得られた。このようなことは、雪がこれまでに取扱われてきた空間浮遊物と比べて非常に大きく、その上目に見える雪は残像の形で尾を引いて見えるためと考えた。残像の影響をみるために、視程を雪の動く方向への移動量との関係で表わすと、現象による違いがなくなり、定性的に残像の影響を明らかにすることができた。また、視程と雪の移動量の関係を示す曲線の勾配と低温程時の視程と光の消散係数との関係の Koshmieder の式からのずれは、雪が目に見えることも視程を低くさせる原因の一つとなっていることを表わしている。

雪のように目に見える大きさの空間浮遊物の場合の視程は、光の減衰だけでなく、残像など人間の目の心理的、生理的機能による影響も考慮しなければならない。

第3章 吹雪時における光の減衰と視程

§ 3.1 まえがき

雪による光の減衰に関する研究は、雪の空間濃度、降雪強度、視程などの連続観測や瞬間値の測定を目的として行われてきた。例えば、Lillesaeter(1965)や Warnner and Gunn(1969)などは、雪による平行光線の減衰を測定し、光の消散係数と降雪量の関係を、鎌田、竹内、福沢(1971)は、同様な方法で視程との関係を求めた。Mellor(1966)と O'Brien(1970)は、背景の明るさを測定して求めた視程から、Koschmieder(1924)の式によって光の消散係数を計算し雪の空間濃度との関係を求めた。光の消散係数は雪の空間濃度に比例するが、雪の大きさ、個数、形状にも関係すると考えられる。しかし、Mellor

(1966)と O'Brien(1970)の他は雪の空間濃度の直接測定は行っておらず、Mellor と O'Brien は光の減衰量を測定していない。この章では、光の測定と同時に吹雪時の飛雪量と視程の測定を行ったので、雪による光の減衰機構、飛雪空間濃度と光の消散係数との関係および光を利用した視程の測定について述べる。

§ 3.2 透過率計の構造と観測方法

飛雪による光の減衰量を測定するために使った透過率計の構造を図に示す。図-9で投光部からの光を直径20mmのコリメーターレンズで平行光線とし、シンクロナスモーターで、の回転盤(チョッパー)を定速回転させ約1KHzの変調光にした。は筒内に雪が入るのを

防ぐためのプロアーの吹込口である。受光部では、の集光レンズによって入射光を集光し、フォトトランジスターで光を電気量に変換した。ブロックダイヤグラムは、図-10に示すように、明るさを一定に保つために直流安定化電源を使用し、太陽光などの外来光を除くために、増幅回路において1KHzの変調光だけを増幅させた。増幅された信号は交流一直流変換回路によって直流電圧となり、入射光に比例した出力電圧で記録される。透過率計のビームと同じ高さに熱線風速計と飛雪量測定のための捕雪袋をそれぞれ3個取付け透過率の測定と同時に風速と飛雪量を測定した。透過率計などの設置状況を写真-2に示す。視程観測は第2章で述べたように、観測位置から10~150mの間に7枚の視程板を設置し、目視観測で行つた。

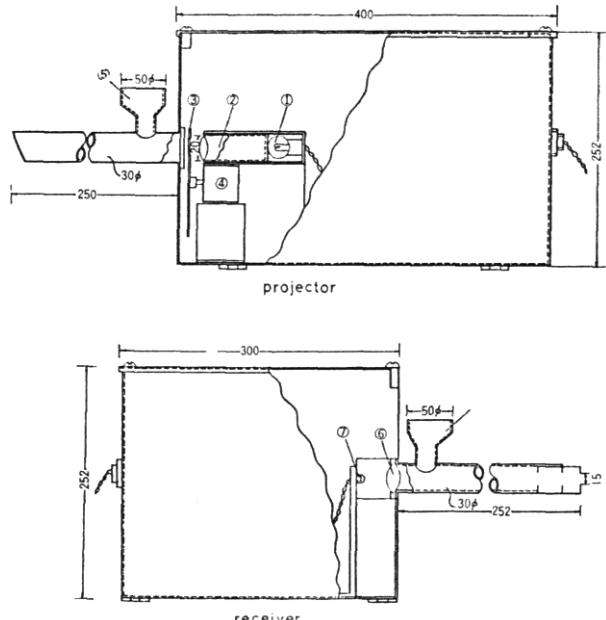


図-9 透過計の構造

§ 3.3 雪による光の減衰機構

光は空間浮遊物によって、散乱、反射、吸収の形で減衰される。散乱は光の回折干渉に基づく現象で Rayleigh 散乱と Mie 散乱がある。空間浮遊物の大きさが、光の波長に比べて十分小さい場合には、Rayleigh 散乱となり、散乱光は粒子の形によらず球面波となり、粒子の半径の 6 乗に比例し、光の波長の 4 乗に反比例する。粒子が光の波長と同程度になると Mie 散乱になり、光の減衰は粒子の断面積に比例し光の消散係数は次式で表わされる（例えば Middleton (1952)）。

$$\sigma = \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_i \cdot \pi r_i^2 \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

: 光の消散係数

N₁ : 半径 r_i の粒子の個数

K_t : 粒子の散乱面積係数

散乱面積係数は粒子が大きくなると 2 に近づく。雪は十分大きいことから、これまで K_i を 2 として(13)式

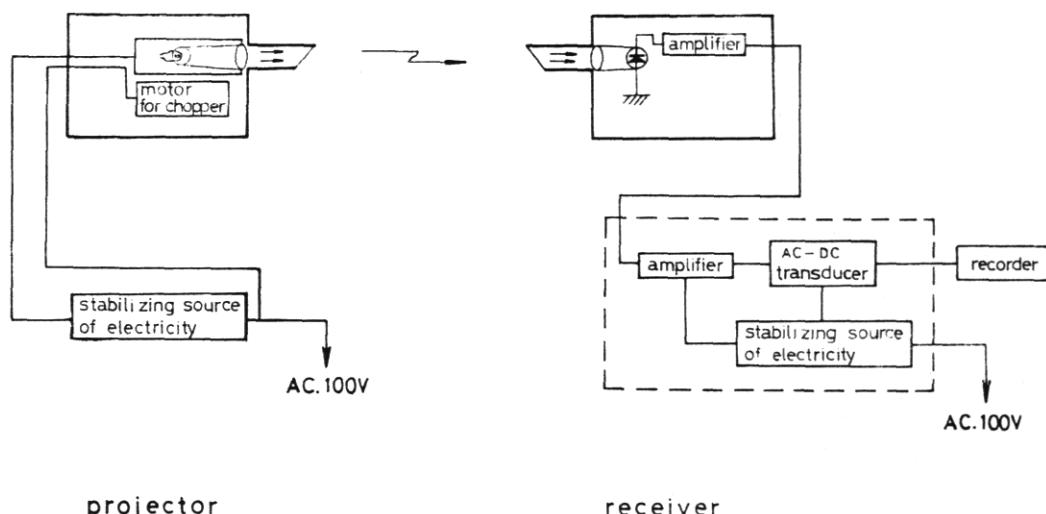


図-10 透過率計のプロックダイヤグラム

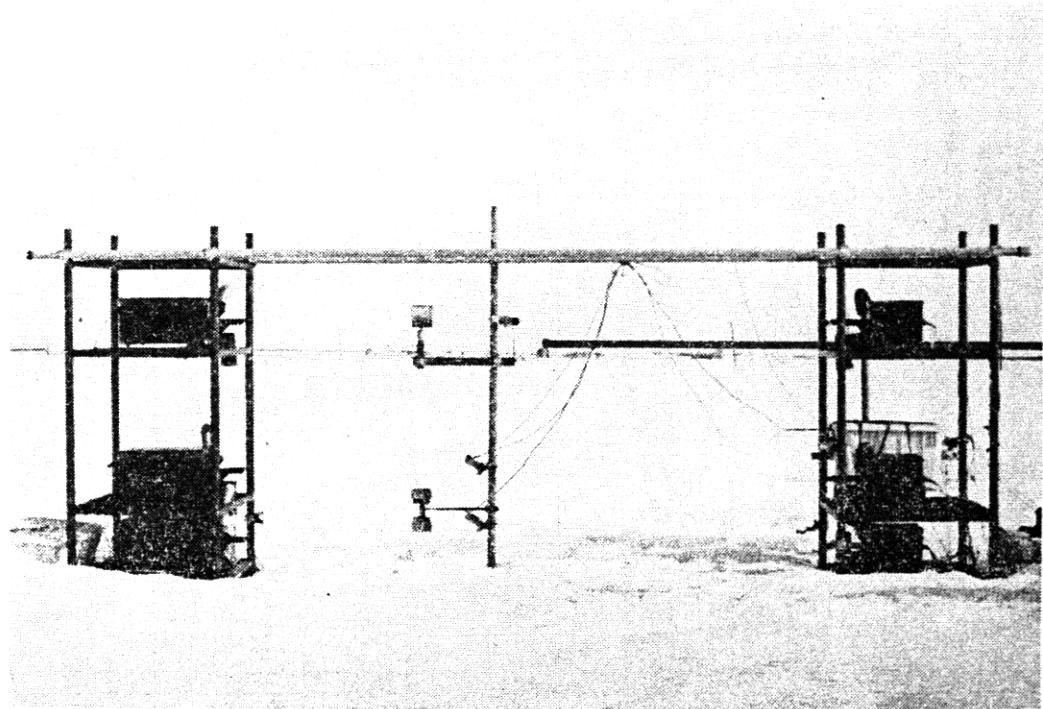


写真-2 透 過 率 計 設 置 状 況

基づいて取り扱われてきた。しかし、粒子の半径 r 、光波長 λ として表されるパラメーター $\alpha = \frac{2\pi r}{\lambda}$ の値が、100までは Mie 散乱領域で、 $100 < \alpha < 160$ の範囲は回折干渉と屈折反射の中間隔域、 $\alpha > 160$ より大きくなると回折反射の幾何光学で取扱われ得ることが知られている (Brillouin (1949))。これによると、可視光では Mie 散乱領域は粒子の直径 $20\text{ }\mu$ までで、中間領域で $20\text{ }-\text{ }40\text{ }\mu$ ということになる。降雪や飛雪の大きさは大部分直径 $40\text{ }\mu$ 以上である(例えば Budd(1966))。これらのことから、雪の場合は散乱というよりも幾何光学的に取扱われるもので、光は雪による反射(遮へい)によって減衰し、光の一部は屈折透過すると考えられる。氷による光の吸収係数は $10^{-3}/\text{m}$ のオーダーであることから、雪による光の吸収は反射に比べて無視できる、以上のことから、雪による光の消散係数は次式で表される。

$$\sigma = \sum_{i=1}^n N_i \cdot R_i \cdot \pi r_i^2 \quad (14)$$

ここで R_i は雪による反射面積係数と呼ぶべき光の反射率で、光の一部は透過することから 1より小さい値となる。O'Brien(1970)は、降雪による光の減衰とともに、雪の結晶と大きさを測定し、(13)式によって光の散乱面積係数を計算し 0.352 (dry dendrite) と 0.166

(powder snow and aggregate of plates and columns)を得た。O'Brien (1970)は、Mie 散乱と考えていたため、散乱面積係数が 2にならない理由の説明に苦しんだが、1より小さい係数が得られことからも、雪による光の減衰は反射によるものと考えるべきである。

§3.4 吹雪による光の減衰

光を使うと減衰量の瞬間値や連続的な測定ができる。しかし降雪や飛雪は形や大きさがさまざまであり、その空間濃度や粒度分布の瞬間的な測定は非常にむずかしい。吹雪の場合は、空間濃度の変動が激しいので、飛雪量と風速の測定から求めた平均的な飛雪空間濃度とその間の平均的な光の消散係数との関係を求めた。

(14)式を単純化し、同じ大きさ、形をした飛雪が単分散していると仮定すると(15)式のようになる。

$$\sigma = R \cdot N \cdot \pi r^2 \quad (15)$$

飛雪の空間濃度を D 、飛雪の体積を V 、密度を ρ とすると、個数 N は(16)式で表わされる。

$$N = \frac{D}{\rho V} = \frac{A_1}{r^3} \cdot \frac{D}{\rho} \quad (16)$$

A_1 : 比例定数

光の消散係数は、(15)式と(16)式とから、次式のように表される。

$$\sigma = \frac{A_2 R}{r} \cdot \frac{D}{\rho} \quad (17)$$

(17)式から光の消散係数は飛雪の空間濃度に比例し、雪の大きさに反比例することがわかる。捕雪袋と風速測定によって飛雪空間濃度を求め、透過率計によって光の消散係数を計算し、これらの関係をみることにする。

光の消散係数は次のようにして求めた。Bouguer-Lambert の法則から、明るさ B の平行光線が距離 $d L$ を通過した時の光の減衰量 $d B$ は B に比例し、次式のよう

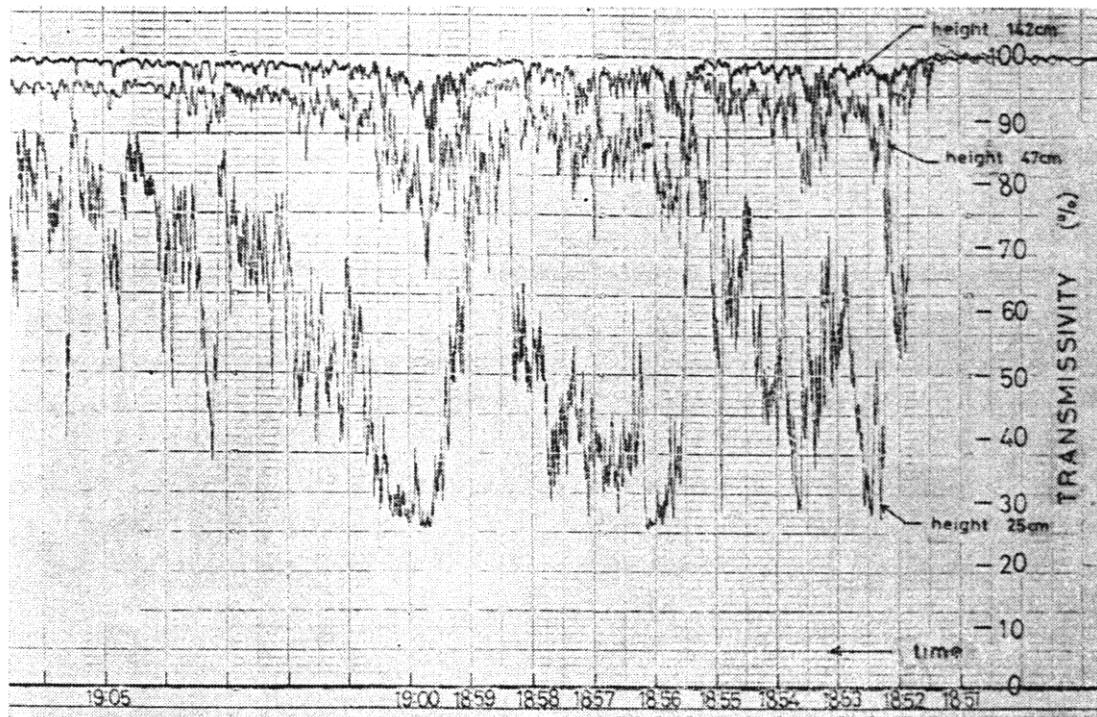


図 - 11 透過率計による吹雪の記録例

に表わされる。

$$dB = -\sigma \cdot B \cdot dL \quad \dots \dots \dots \quad (18)$$

ここで B_0 は投光の明るさで、 $B/B_0 = T$ は光の透過率であるから、光の消散係数は次式で与えられる。

ここで I は透過率計の授受光間隔である。授受光間隔は、飛雪空間濃度が高く透過率が小さい場合には短かく、透過率が大きい場合には長くする必要がある。ここでは、飛雪空間濃度の高い吹雪の観測を主目的にしたため、授受光間隔を 3 mにして測定を行った。観測記録の一例を図-11に示す。この場合の測定部の高さは、それそれ 25cm, 47cm, 142cm であるが、この例からも吹雪時の飛雪は時間的に変動が激しく、空間的には雪面に近づくにしたがって多くなっているのがわかる。

光の測定によって得られた光の消散係数と飛雪空間濃度との関係を、降雪で測定した Mellor(1966)と O'Brien(1970)の結果をあわせて図-12に示す。この図から吹雪と降雪とを比較してみると、同じ雪の空間濃度でも吹雪のほうが光の消散係数が大きいことがわかる。これは吹雪の場合、飛雪は破壊されたり、まるめられたりして、降雪より小さくなっているためと考えられる。(17)式からもわかるように、同じ雪の空間濃度では小さい雪ほど光の消散係数は大きくなる。図-11から吹雪の場合の光の消散係数と飛雪空間濃度の関係を実験式で表わすと、次式のようになる。

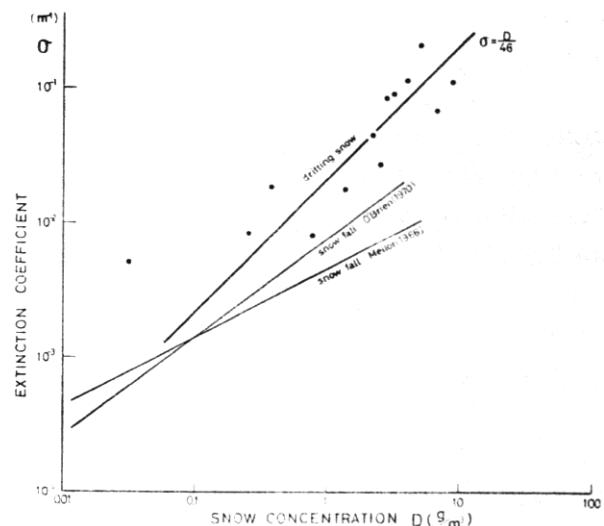


図-12 飛雪空間濃度と光の消散係数

また、(20)式と(21)式とから、飛雪空間濃度は透過率との関係で次式によっても表わされる。

$$D = 46 \left(\frac{1}{L} \ell_n - \frac{1}{T} \right) \quad (\text{g/m}^3) \dots \dots \dots (22)$$

実用的には、雪の空間濃度よりも飛雪量のほうが利用価値が高いことが多いので、光の消散係数と飛雪量の関係を求めた。その結果は、図-13で示され、光の透過率と飛雪量の関係は M_f を飛雪量とすると次の実験式で表わされる。

$$M_f = 250 \left(\frac{1}{I} - \ell_n \frac{1}{T} \right) \quad (\text{g/m}^2 \cdot \text{sec}) \dots\dots\dots(23)$$

§ 3.5 光による視程の観測

吹雪による視程障害は、道路においては交通事故や通行止めの誘因となっている。視程障害防止対策の計画や実施のためには、視程の調査が不可欠である。視程は降雪量などと比べると・実用上の精度はそれほど厳しく要求されないことと、吹雪の場合は光の消散係数と飛雪量との関係がそれほど大きくばらつかないことから、透過率計を視程計として利用することを考えた。視程に関する Koschmieder の式と Bouguer-Lambert の法則により導かれた(20)式とから、視程と光の透過率との関係は次式で与えられる。

$$V = \frac{L}{\ell_n \left(\frac{1}{T} \right)} \ell_n \frac{1}{\varepsilon} \quad (m) \dots \dots \dots (24)$$

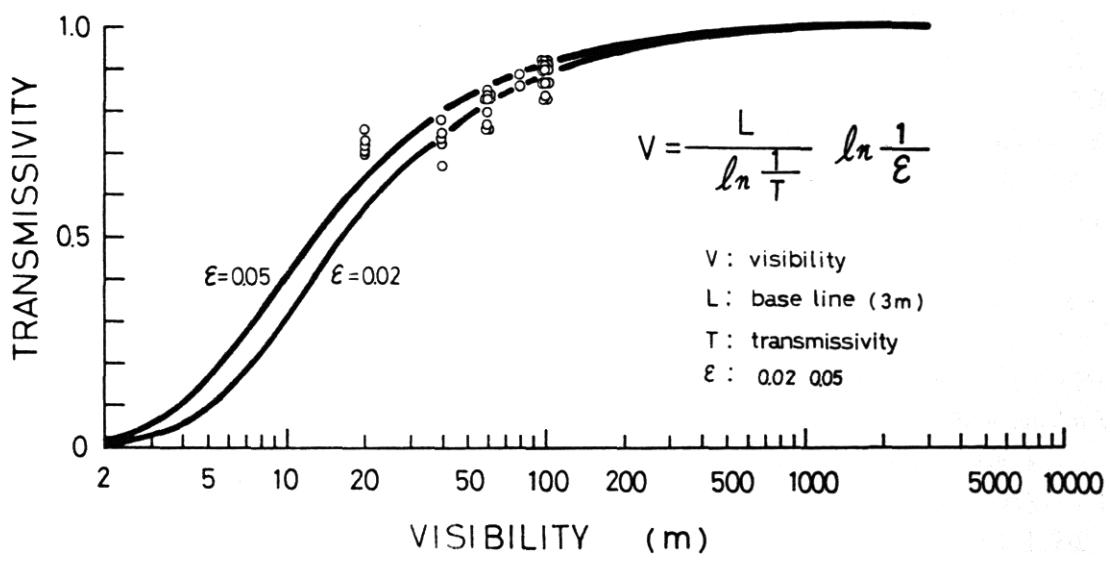


図-14 視程の目視観測と透過率

人間の目の明暗対照の臨界値は、気象学では目標物を認め得る距離として 0.02 を使っているが、最近は交通関係などでは安全性を考慮し気象視程より厳しい 0.05 を採用している。授受光間隔を 3 mにして行った視程計による光の観測と同時に実測した視程の結果を図 - 14 に示す。われわれの観測は、気象観測法に基づいて行っているため、明暗対照の臨界値は 0.02 に相当するが、0.02 とした理論値と比べ実測値は視程の低いほうにずれている。これはすでに述べたように、この範囲の視程では雪が目に識別されることによる影響が表われているためである。視程板は 20mまでは 10m、間隔 20m 以上 100m までは 20m 間隔で設置してあるため、測定値は多少ばらつくが、視程が 20m の場合を除くと実測値は 0.05 とした曲線の範囲内におさまる。視程が 30m 以下になると、後述するように車の走行はできなくな

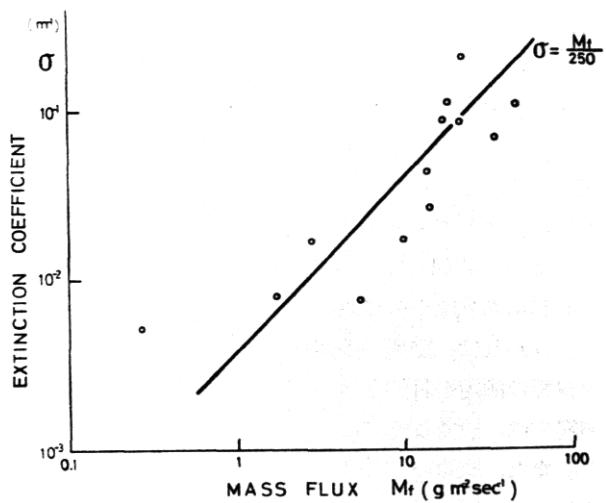


図-13 飛雪輸送量と光の消散係数

V : visibility
L : base line (3m)
T : transmissivity
 ϵ : 0.02 0.05

るので、実用上 30m 以下はそれほど重要でない。またを 0.05 とすると安全性の上からも問題が少ない。これらのことから、透過率計を視程計として実際の道路での視程測定にも使えると考え、としては 0.05 を採用するこ

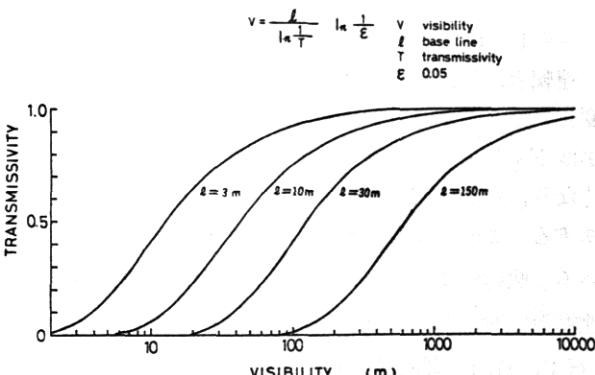


図-15 視 程 と 透 過 率

とした。(21)式から授受光間隔をパラメータにして、視程と透過率の関係を表わすと、図-15のようになる。測定精度を上げるためにには、図-15の直線部分を使うとよいことから、対象とする視程の範囲によって、授受光間隔を選ばなければならない。一般的な道路交通において視程の影響が現われるのは、視程が300m以下の時と考えてよい(Tabler(1977))ことから、授受光間隔は長くとも30mあれば十分である。

われわれは、交通の渋滞や通行止めの原因となるような視程の測定を目的として、吹雪の強い石狩、中山峠、羽幌では、設置しやすさもあって授受光間隔を3mとした。また、吹雪のそれほど強くない岩見沢など、授受光間隔を15~20mにしているところもある。

§3.6 あとがき

これまで、物理光学的に散乱によるものとして取扱われてきた雪による光の減衰は、主として幾何光学的な雪による光の反射で説明されることを明らかにした。平行光線を使った飛雪量の測定を行ったが、雪による光の反射率は、雪の大きさや形によって異なることから、降雪量など量的に測定するのに要求される精度内での光による測定は、同一現象で行うのでなければむずかしいことがわかった。しかし、視程に必要な測定精度は道路などでは10~20%あれば十分で、この意味から光を使った視程の測定は実用性がある。Bouguer-Lambertの法則とKoschmiederの式から、光を用いた視程計の理論づけを行い、目視観測との比較からも30m以下の低視程を除くとよく対応することがわかった。30m以下の視程になると、実際には車の走行が不可能であることからも、この方法による視程の測定は実用上問題はない。視程計の開発によって、シーズンを通した視程の連続観測ができるようになり、低視程時の交通管理や視程の変動解析など視程の研究の発展を可能にすることができた。

第4章 道路文通と視程

§4.1 まえがき

運転者は道路から視覚によって種々の情報を得、情況変化に応じて車をコントロールしている。しかし、視程が低下するとこれら交通の安全に必要な情報が得られなくなり、交通の安全が損われたり、通行できなくなったりする。このような状態になることを視程障害といっている。吹雪による視程障害は、交通事故の誘因となり、北海道における冬の通行止めの主な原因となっている(石本、竹内、野原(1977))。通行止めは、交通の安全確保のため行われる交通規制であるが、これまで視程の

測定ができなかったこともあり、吹雪の場合の通行止めは定量的な基準がなく経験的なものであった。また、遠路における視程は、道路構造・環境、道路交通の特性などによって、一般的の気象視程と違った面をもっている。このような視程障害の防止を計るためには、道路における視程の特徴を知る必要がある。

この章では、吹雪時の交通規制の基準化を目的として行った、視程を中心とした気象観測と低視程時の交通実態調査および道路における吹雪時の視程の特徴について述べる。

§4.2 中山峠における視程と文通

一般国道230号は北海道の道央と道南を最短距離で結ぶ幹線道路であるが、区間内の中山峠は標高800mを越す山岳道路であるために、吹雪の発生頻度が高い。吹雪による通行止めは、喜茂別一定山渓間で8年間(45~52年度)に26回記録されている。また、吹雪による交通の渋滞は、通行止めの数倍に及ぶとみられる。

吹雪時の交通の流れは、視程との相関が高いと考えられるので、中山峠において視程を中心とした気象観測と交通の実態を調査した。

4.2.1 調査方法

気象観測は、視程、積雪深、飛雪量、風向風速、気温をそれぞれ自記録させた。中山峠では積雪深が3m以上になると、吹雪時には飛雪量と視程は雪面からの高さに大きく依存する。そこで視程計と飛雪量測定のための吹雪強度計が、雪に埋没するのを防ぎ高さを一定に保つために、雪面検知器(福沢、竹内(1977))を利用して、視程計などの取付台を積雪の増減によって、自動的に昇降させた。設置場所は、中山峠頂上付近の除雪ステーションの上で、主風向側は、笹におおわれた緩斜面になっている。設置状況を写真-3に示す。交通の実態調査は、低視程時における交通の渋滞、停滞、通行止めなど、交通の状況調査によって行った。

4.2.2 視程障害の実態

交通状況のうち、公式記録として残されているのは通行止めだけであるが、調査を始めた50年度から52年度までの冬期間(12~3月)の通行止めは7件あり、いずれも吹雪による視程障害が原因であった。通行止めの時の気象パターンは、発達した低気圧によるものが5件、低気圧が去った後の冬型の気圧配置によるものが2件となっている。過去8年間では、低気圧によるものが19件、冬型が7件となっている。通行止めが始まつてから解除されるまでの通行止め時間は、最も短かいもので16時間30分、長いもので677時間に及んでいる。通行止めは交通が渋滞を繰り返し、車が動けなくなり、道路管理者が天

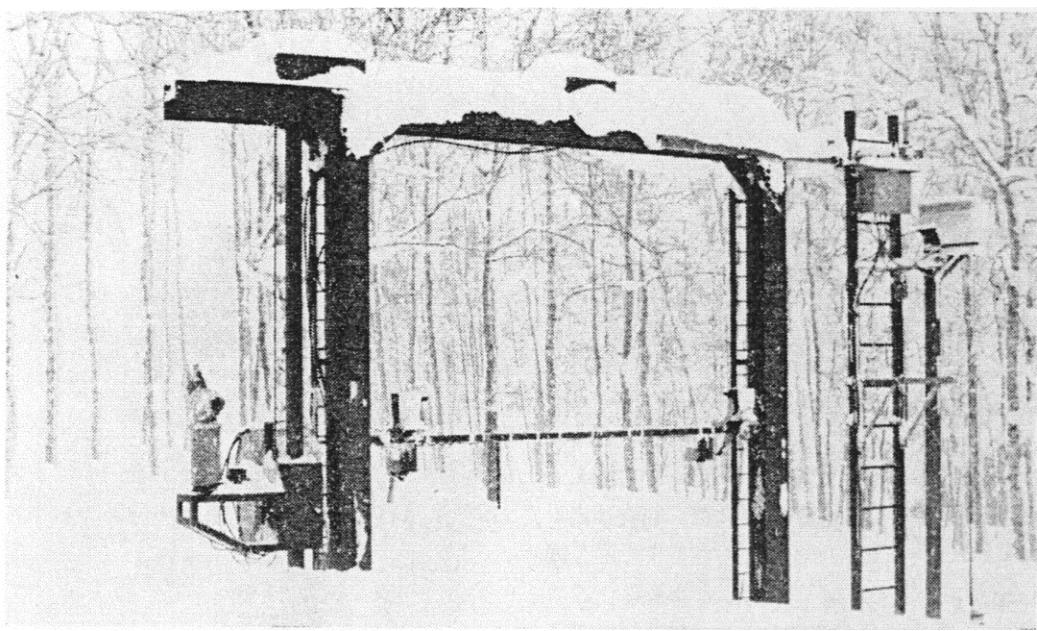


写真 - 3 中山峠における測定器設置状況

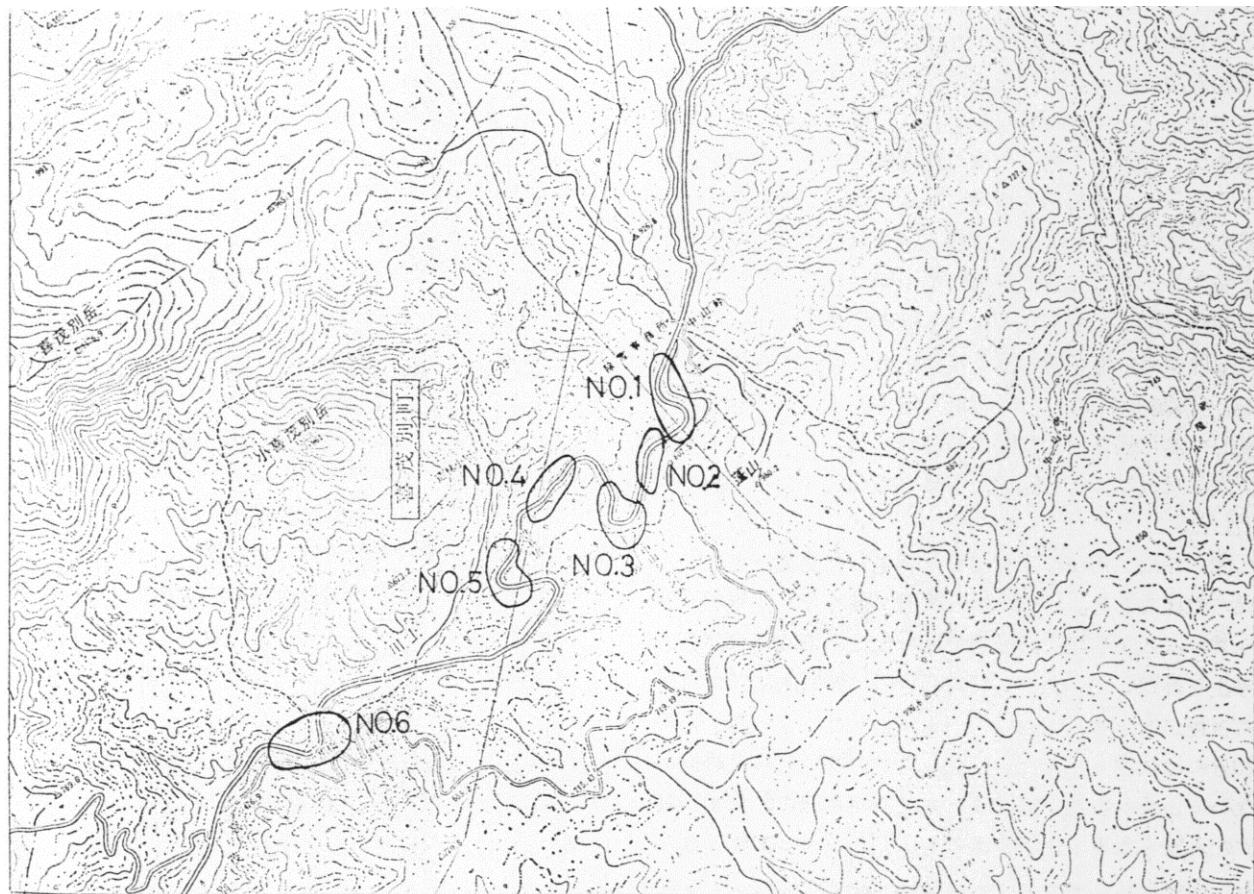


図 - 16 中山峠における交通障害多発箇所

候の回復が期待できないと判断した時に路上の車を排除してから行っている。

渋滞や交通事故の多発個所は、峠の西側の中山峠喜茂別間に 6 カ所ほど認められる。図 - 16 に障害多発個所を示す。これらの個所は、地形的には沢が入り込んだ急勾配の地域で、洞爺丸台風による風倒木地帯のため、植生は冬には雪に埋もれる低木と笹でおおわれている。このため、吹雪をさえぎるものがない、飛雪は量を増して道路に吹き込むなど、道路環境としては悪条件が重なっている。図 - 16 の中で、No. 1, 3, 5, 6 は視程障害発生個所で、いずれも切土区間のため飛雪の吹込みが多く、また急な曲線部でもあるため交通事故の多いところである。No. 2 と No. 4 は、急勾配のため低視程時に一時停止した車がスリップして発進できなくなるために渋滞する個所である。次に視程の記録から、通行止めと渋滞の例について述べる。

4.2.3 通行止めと渋滞例

1976 年 2 月 3 日、16 時 30 分から 5 日、8 時 30 分まで 40 時間にわたって、通行止めした時の視程について述べる。図 - 17 は、その時の視程の記録である。2 月 3 日、2 時 30 分頃から平均風速 12m/sec 以上の強風となり、視程は平均 50m まで低下する強い吹雪が断続的に続いた。このため、車は低速運転になり、車の台数が増すにつれて渋滞を繰返した。13 時頃から時には平均視程が 25m まで低下し、停滞時間も長くなり、吹雪の回復の見込みがないことから、路上の車の誘導排除の完了後通行止めにした。その後も平均視程が 50 ~ 70m の吹雪が続いていたが、4 日 3 時 30 分には視程が 200m まで回復したことを知り、4 時 30 分に除雪作業を開始した。しかし、再び視程が平均 30m と低くなり、除雪作業ができなくなった。除雪車は運転席が高く視程障害に強いとされているが、視程 30m の時には除雪車も雪堤を手さぐり状態で確認しながら帰らなければならなかった。4 日 13 時頃より天候が回復し、5 日除雪終了後 8 時 40 分に通行止めを解除了。

図 - 18 は、1976 年 3 月 16 日に発生した交通渋滞時の視程の記録である。11 時頃から吹雪が強くなり、視程が 30 ~ 40m に低下した。断続的であったため車は低速運転と停止を繰返していたが、12 時 45 分には瞬間に 10m 以下に視程が低下し、50 台以上の車が動けなくなった。13 時 20 分には吹雪も止んだが、登り坂をスリップのため進めない車とそれを追い越そうとして対向車線にてたまま動けなくなった車で上下車線ともに完全にマヒ状態になった。雪のためすべりやすく、路幅が良くなつた道路では、ちょっとした障害でも大きな混乱を誘起する。

このような、視程を中心とした気象観測と交通状況

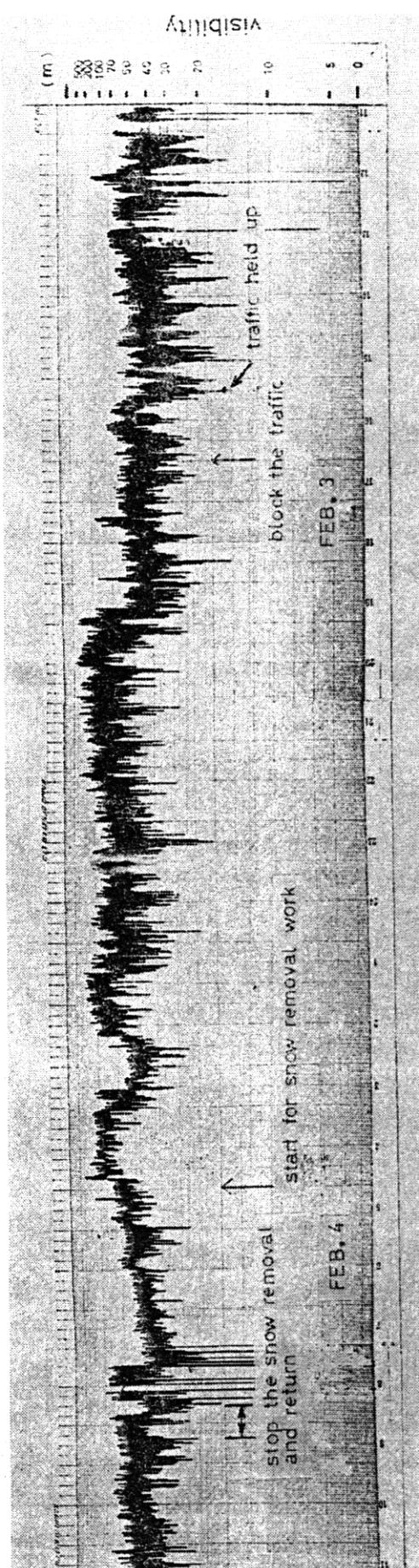


図-17 通行止め時の視程記録例

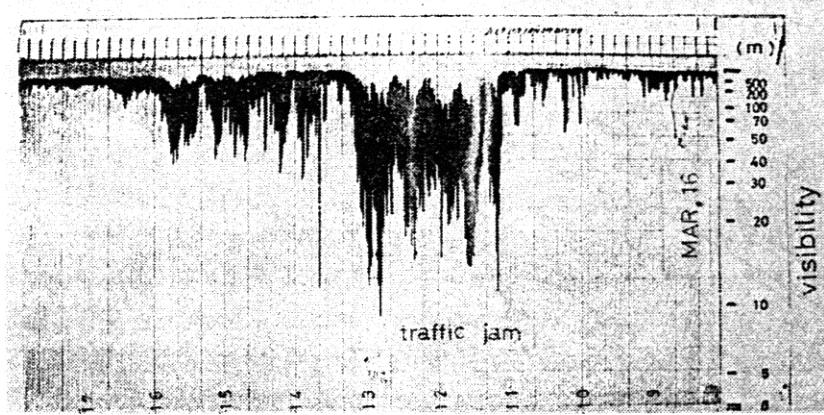


図-18 交通渋滞時の視程記録例

の調査を50, 51年度の2年間にわたって行った。その結果、視程が100m以上あれば車の速度は1~2割程度落ちるものの中の車の流れは維持される。視程が50m以下になると、低速運転や時には渋滞ができる。車が完全に止まるのは視程が30m以下の時であることなどがわかった。このことから、53年度より視程が30m以下になり、それが統くと判断された時には通行止めにすることになった。特に夜間には、安全のために平均視程が100m以下で一時的に50m以下になる場合も通行止めにしている。視程の観測は、通行止めのほかにも道路パトロールや除雪車の出動を決めるのに活用されている。

通行止めは交通ができるだけ安全に確保し、途中で動けなくなるような危険をなくするように行われなければならない。そのためには、通行止めを数時間前に予測し、他の道路などへ誘導し得る体制にする必要がある。今後は視程の観測を継続し資料の蓄積を行い、気象情報を利用した視程の予測法を検討したいと考えている。

§ 4.3 道路における視程の特徴

空間浮遊物が雪の場合における視程の特徴については第2章において述べたが、実際の道路では一般気象と異なった視程の特徴がいくつか見られる。人間の視覚によっていろいろ道路交通において視程障害を防止し、交通の安全や円滑な運行を確保するためには、道路における視程の特徴を知る必要がある。ここでは、実際の道路では視程がどのような形で現われているか、その特徴について述べる。

4.3.1 視程（潜在視程）と顕在視程

視程観測では黒い視程板を視標として行われるが、雪道では雪と区別できるような目標物が存在するとは限らない。目標物のない道路では雪堤などによって路側や道路幅を判断しているが、低視程時にはこのような白い物体は降雪や飛雪と区別できなくなる。最悪の状態がホワ

イトアウトと呼ばれるもので、白い雪のほかはなにも見えたくなる。ホワイトアウトになっても、黒い物体など雪と区別できるようなものを持ってくると、意外に遠くからでも見えるものである。一般気象でいう視程とは、目標物が連続している時の観測値のことであるが、そのような目標物の得られない道路では、目標になり得る物の有無や状態によって、まったく同じ気象条件の下でも実際に感ずる視程は非常に違ったものになる。このように雪道では、本来の意味での視程はポテンシャルとして潜在していることが多い。この意味から、実際に感ずる視程を便宜上定義による視程と区別して、ここでは顕在視程と呼ぶことにする。

運転者が車を走行させる時には、まず道路における自車の位置を定め、情況変化に応じて車をコントロールしている。Gordon(1966)や Walton and Messer(1974)のアイカメラを使った実地調査によると、運転者はエッヂライン、縁石線、路肩線、レーンマーク、他車の位置、直路の全景を情報として、自車の道路における走行位置を決めていることがわかった。交通の安全のためには、このような情報源が常に得られるようではなければならない。しかし、片道ではここで上げられている多くは雪に埋没していることが多く、先行車も舞上げる飛雪のため見えないことがある。視程が良い時には路側雪堤が縁石線の代わりになるが、これも低視程時には役立たない。低視程時に路側位置を知るための情報源として、一般的の直路ではスノーボール、デリニエーター、道路標識などがある。

4.3.2 道路標識の見え方

路側位置確認のために、道路標識の果たしている役割を知るために、3種類の道路標識を使ってその見え方を観測した。視程を表わす視程板の見え方と比較の形で示したのが図-19である。図-19の中で存在がわかるが、標識の意味までは読み取れないものは白抜きの円形と三角

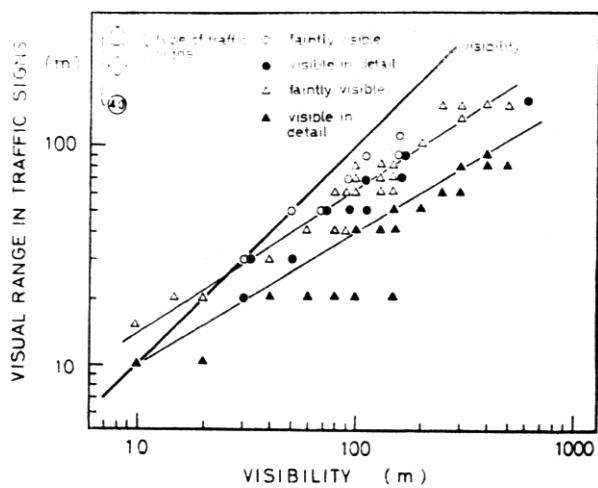


図-19 道路標識の見え方

形で表わし、標識の意味までわかるものはそれぞれ黒くぬりつぶして表わした。視程板は観測位置から視角を一定にするため、遠くになるに従い板は大きくしているが、道路標識は一定の大きさである。道路標識は直径 60cm の円形、辺の長さ 45cm の四辺形、高さが 68cm の五角形の 3 種類を用いた。測定点から 40m までは道路標識の面積のほうが大きく、それ以上では視程板のほうが大きくなる。そのため、図 - 19 に表わされているように、視程が 20 ~ 30m までは道路標識のほうが見えやすく、それ以上では視程板のほうが見えやすくなる。そのため、図 - 19 に表わされているように視程が 20 ~ 30m までは道路標識のほうが見えやすく、視程が大きくなるほどその差が大きくなっている。例えば、視程 100m の時は、四辺形と五角形の標識の視認距離は 60m、円形のものは最大で 40m になっている。形による見え方の違いは、同一面積でも矩形、正三角形、正方形、円形の順に視認距離が小さくなることが知られている(例えば横瀬(1956))。円い標識の見え方が悪いのは、その形のほかに白地の占める面積が大きく、雪とのコントラストが悪いためと考えられる。五角形の標識は、青地に白、四辺形のものは黄地に黒で表示されている。前者は面積で 3 割ほど後者より大きいが、この 2 種の標識の見え方の違いは小さく、図 - 19 では同じものとして取扱った。これも形と色によるものと思われる。これら 2 種類の標識の視認距離は、円形の場合の存在がわかる距離とほぼ等しくなっている。視認距離は、周囲の明るさにもよるため図の中では上限を結んだ線で表わした。このように、道路標識を視認とした場合の顕在視程は、本来の視程よりも小さい。スノーポールの場合は大きさが太さできいてくるので、顕在視程はさらに小さくなるものと考えられる。

4.3.3 目の高さに集中した飛雪による視程障害

吹雪や地吹雪において、飛雪は creep saltation susp-

ension の 3 つの運動機構によって移動していることが知られている。 creep は雪の表面上の移動で、 saltation は、雪面のごく近くの高さで 10cm を越えることは少ない (Kobayashi(1972))。竹内、石本、野原(1975)が行った saltation の垂直分布の測定によれば、飛雪量の対数は雪面からの高さと直線関係になり、7~9cm の高さまで saltation が認められている。この飛雪量と高さとの関係は、河村(1948)が飛砂の問題で導いた理論と一致している。 suspension の飛雪輸送の現象は、乱流拡散として O'Brien(1933)、塩谷(1953)によって次式のような高さ方向の飛雪濃度分布式が導かれている。

$$\frac{C(Z)}{C_0} = \left(\frac{Z_0}{Z} \right)^{\frac{\omega_0}{ku_*}} \dots \quad (25)$$

$C(Z)$: Z の高さの飛雪濃度

C_0 : 高さ Z_0 における飛雪濃度

Zn : 粗 度

0 : 飛雪の落下速度

k : カルマン

u^* : 摩擦速度
よく知られているように、風速垂直分布は次式によつて表わされる。

$$u(Z) = 5.75 u_* \log \frac{Z}{Z_0} \dots \quad (26)$$

$$g(Z) = 5.75 \log u_* \log \frac{Z}{Z_0} n_0 \left(\frac{Z_0}{Z} \right)^{\frac{\omega_0}{ku_*}} \dots \dots \dots \quad (2)$$

(25)式は, Z_0 の近防を除ぐと飛雪量垂直分布は, 高さに関する両対数で直線となることを示している。このように、saltation も suspension の場合も, 雪面に近づくに従って飛雪量が急に多くなる。路側に雪堤のできた道路では、車などが相対的に雪面に近づくのと同じ状態になるので、雪堤が目の高さを越える場合に、目の高さに集中した濃度の高い飛雪が視程障害を説き起こす。

また図-20は、雪堤のできた道路で測定した道路の横

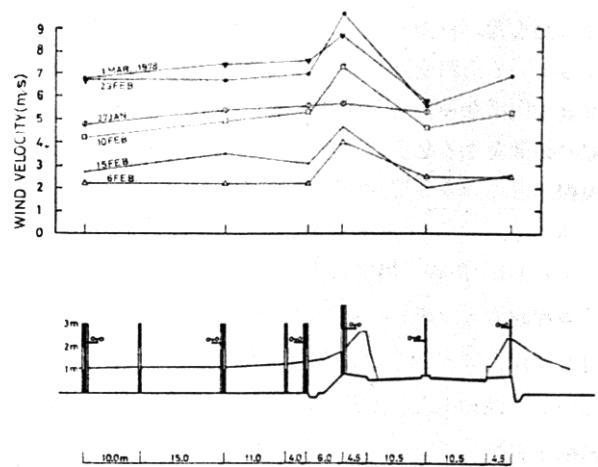
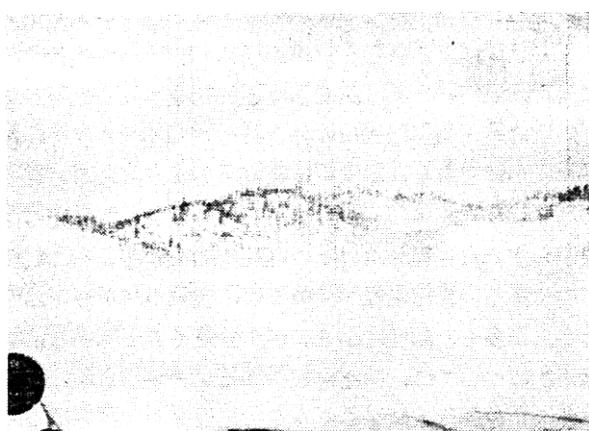


図-20 道路横断方向の風速分布

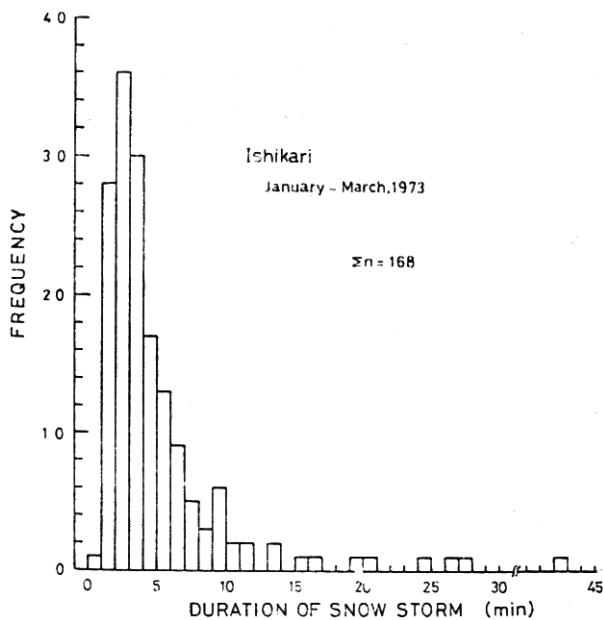


断方向の風速分布であるが、このように、風速は雪堤頂で最も強くなり、飛雪を加速して道路に吹き込んでいるのがわかる。とくに低い地吹雪での飛雪は、非常に薄い層になっており、一般には視程障害にならないが、雪堤のため飛雪の層が目の高さになると、写真 - 4 のように視程障害を発生させる、視程障害発生個所を調査すると、雪堤が高いため目の高さに集中する飛雪が主要因となっている例が大半を占めている。

4.3.4 視程の変動

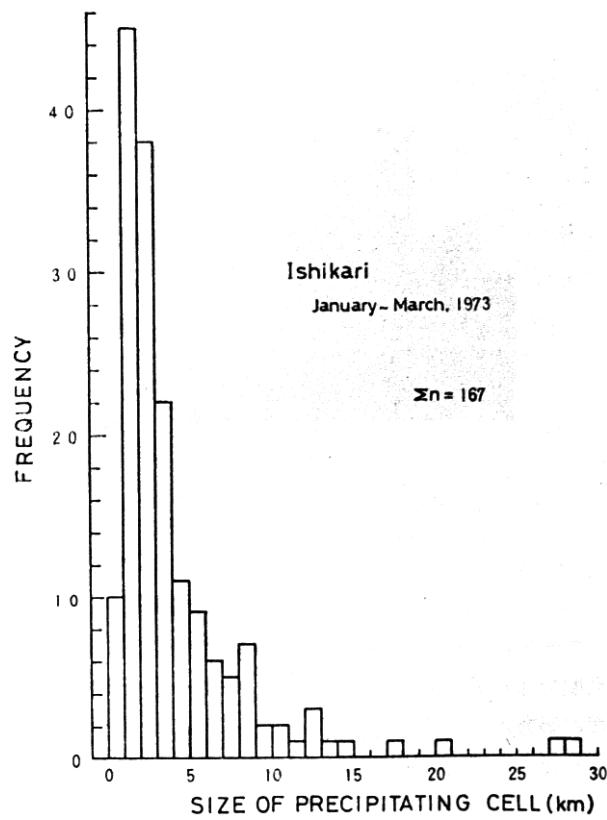
一般に吹雪時の視程の変動は時間的に非常に激しく、視程の急変は交通事故の原因になっている。道路においては、交通に影響するような低視程がどの程度続くかが問題になる。ここでは、石狩で行った視程の観測から吹雪と低視程の継続時間について述べる。

終日吹雪いているように見えて、注意してみると吹雪は断続的に吹雪いたり止んだりしている。視程の記録



を見るとこのことがはっきりわかる。視程の記録から観測した 168 回の吹雪について、吹雪の継続時間の頻度分布を調べたのが図 - 21 である。このように、吹雪の継続時間は 5 分以下が 66.7% で、90% が 10 分以下となっている。最も長かったのが 42 分 30 秒であるが、この場合も細かくみると 3 つの強弱の山があった。海岸近くの石狩では、吹雪の多くは 10 分以内で 20 分以上続くことは少なかった。視程障害から見ると、10 分ほど止まって吹雪の合間に縫って進むことも考えられる。しかし、交通量の多い道路では、10 分間止まるだけでも交通は混乱する。吹雪の継続時間は、降雪雲中にある雪を降らせている部分（降雪セル）の大きさによる。降雪セルの大きさは、吹雪の継続時間と風速の積からある程度まで推定できる。このようにして求めた降雪セルの大きさの分布は、図 - 22 のようになる。正確には降雪雲の中心を観測するとは限らないので、二れよりいくぶん大きいことになる。降雪セルは、内陸に入ると互いに結合してひとつひとつの境界が明確でなくなるため、吹雪の継続時間も長くなる。中山峠では、最も長いもので約 70 時間継続して吹雪いた例がある。

連続した吹雪の中でも、吹雪の強弱の変化が激しい。視程障害は、車の走行に影響するような低視程の継続時間に関係すると考えられる。視程 50m 以下と 30m 以下の継続時間がどのようにになっているかを、次の二例につい



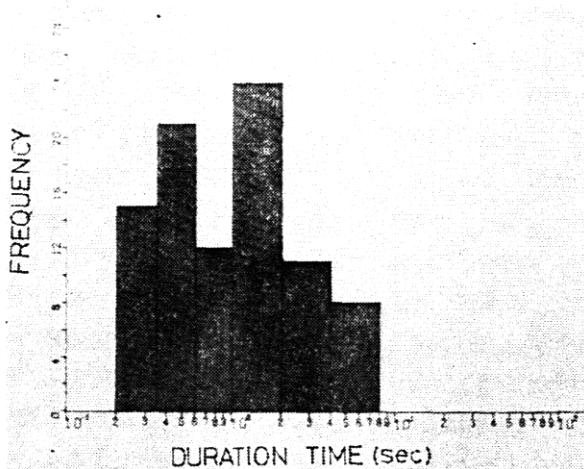


図 - 23 視程 50m以下の継続時間頻度分布

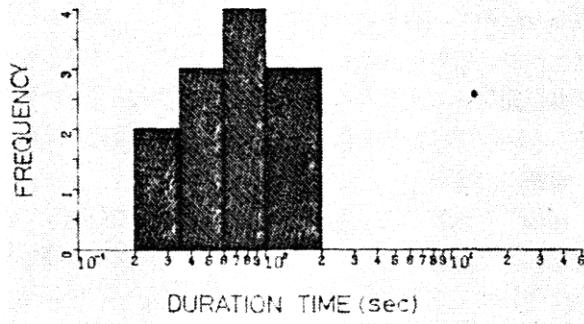


図 - 24 視程 30m以下の継続時間頻度分布

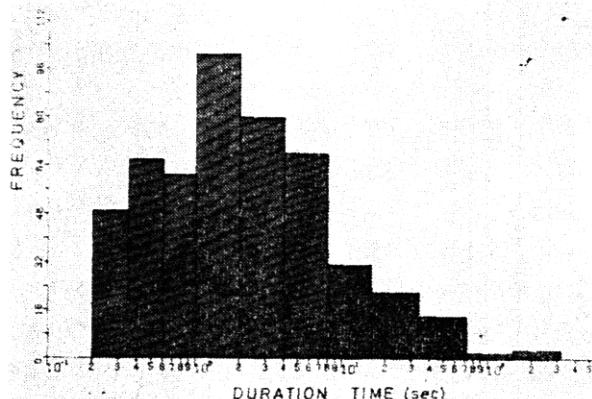


図 - 25 平均視程 60mの時の視程 30m以下の継続時間度分布

て述べる、図 - 23, 24 は平均視程が 120mで、13 分間続いた吹雪における 50m以下と 30m以下の視程継続時間の頻度分布を表わしたものである、平均視程 120mは低視程の影響がない時と比べて、車の速度は 1~2 割ほど小さくなるが、一般に交通の流れはほぼ正常に保たれる。しかし、図 - 23, 24 でわかるように、時には長くて数秒の 50m以下、1~2 秒の 30m以下の視程になることもあります。

る。視程 30m以下になると、場合によってはホワイトアウトの状態になることや、車が時速 40~50km で走行することなどから、とくに曲線部などで交通事故の危険がある。次に、平均視程 60mの場合について述べる。平均視程が 60mになると、車は低速運転するようになる。図 - 25 は平均視程 60mの 4 つの吹雪を合計した .80 分間の記録から求めた視程 30m以下の継続時間を頻度分布したものである。平均視程が 60mでは、視程が 30m以下になることが多い、頻度は小さいが 1 分続くこともある。交通事故については、低速運転であることから危険は小さいが、1 分間ほどは手さぐり走行や停滞しなければならない状態になる。交通が 1 分間停止しただけでも、交通量の多い道路になるとその影響が大きくなる。このように、平均視程が低くなるにつれて、30m以下の視程の継続時間が長くなり、交通が渋滞したり通行不能になっていく。

§ 4.4 あとがき

視程と道路交通との関係を調査した。その結果、視程が 100m以下になると、車は低速運転するようになり、50m以下では渋滞が始まり、30m以下になると交通が止まることがわかった。このことにより、吹雪時の交通規制を基準化することが可能になり、将来道路交通情報システムが設備された際に要求される、交通の管理誘導方法に一定の目途をつけることができた。

道路では吹雪や道路の性質や構造状態によって、視程の表われ方が一般気象の視程と異なっている。視程障害対策を行う立場からは、道路における視程の特徴を知る必要がある。道路においては、目標物の有無や状態によって実際に感ずる視程が異なることを示し、道路標識・スノーポールなど視線誘導施設の必要性を指摘した。吹雪・地吹雪時の飛雪は雪面近くで濃度が高く、路側雪堤頂で風速が強くなるため、雪堤の高い道路では目の高さに濃度の高い飛雪の層が吹き込み視程障害を起こすことが多い。視程の時間変動を継続時間によって調査し、比較的視程が高い場合でも、短かい時間低視程になることがあります、そのために交通事故や渋滞の要因になることを示した。

第 5 章 道路における視程障害防止対策

§ 5.1 まえがき

道路における視程障害対策は、大きくわけると道路の維持管理にかかるものと、防止工法によるものがある。前者については、第 4 章で述べたように、交通の安全を確保し、被害を最小限にするために行う道路情報の

すみやかな伝達と適切な交通規制などがある。しかし理想はこのような交通規制を行わなくてもよい道路にすることである。そのための対策をどうするかが冬の道路の課題である。この章では、まず道路における視程障害の実態から、どのような道路がどのような条件の下で視程障害になっているかなど、視程障害の構造と要因を明らかにする。また、視程障害防止と緩和のため、いくつか調査実験を行ったのでそれについて述べる。

§ 5.2 視程障害の構造と要因

気象条件が同じでも、地形、道路構造、環境や吹雪の特徴、道路交通の特性などによって視程障害の発生しやす

い道路とそうでない道路とがある。視程障害発生の予知や防止法をはかるためには、障害発生個所の実態を調査し、視程障害の構造と要因を分析する必要がある。交通事故、交通の渋滞、通行止めを一種の災害とみなして、高橋(1968)にならって視程障害の構造と要因を図-26のように考えた。問題点を単純にわかりやすくするために、高橋(1968)が独立させた環境要因を、ここでは環境そのものが誘因や素因に影響し、災害を拡大することから拡大要因に含めた。視程障害の場合、被害対象は道路交通、人、自動車や踏切事故のように列車をまき込むこともある。被害対象が視程障害に強いか弱いかという強度素質が素因であるが、素因には車の性能、運転者の

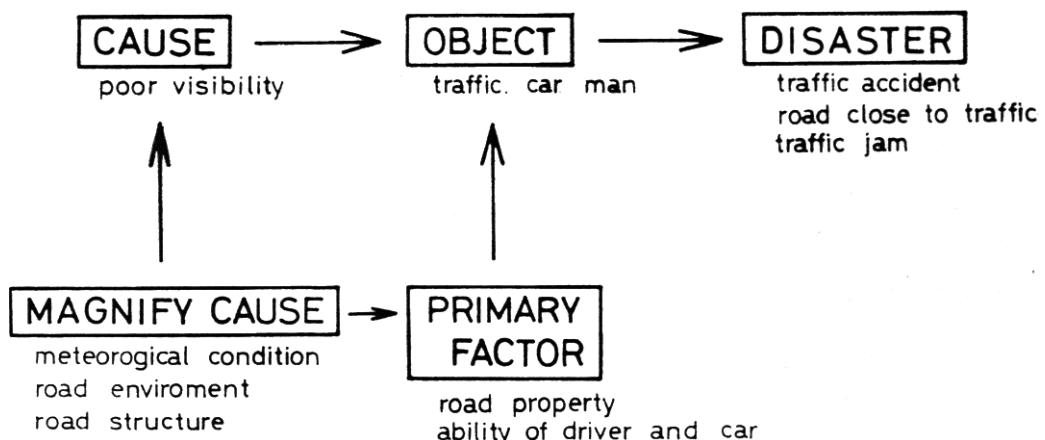


図 - 26 視 程 障 害 の 構 造 と 要 因

能力や道路の良否などがあげられる。例えば、吹雪時には低い位置での飛雪濃度が高いため、運転席の高い車や道路の場合は、上下車線が分離され路線数が多く、幅員が広いものや、照明や視線誘導など安全施設の備わった道路は視程障害にも強い。このほかに、道路構造など本来は素因に含まれるものもあるが、災害を大きくするように働くものを拡大要因として次に述べる。

§ 5.3 視程障害拡大要因

同じ気象条件にあると考えられるような狭い地域の中でも、災害の多発個所とそうでないところがある。多発個所には、地形や道路構造などに災害の発生を促進し、拡大激化させる共通要因が見られる。災害防止を行うためには、これらの共通要因を明らかにする必要がある。ここでは、なんらかの形で人為的に対処可能と考えられるものは、高橋(1968)が環境や素因と分類したものも拡大要因に含めた。

拡大要因を大別すると、誘因に影響するものと素因に影響するものとがある。道路上吹込む雪の量を増大させるような要因は、誘因に影響するものであり、防雪や除

雪に重要な問題になる。また、運転者や車の能力を低下させる要因は素因に影響するもので、その対策は交通の安全と円滑な運行をはかる上で重要である。

5.3.1 誘因に影響する拡大要因

道路上に運ばれてくる飛雪量が多くなるほど、視程障害も大きくなる。したがって、飛雪量を増大させる風速、降雪量、気温なども拡大要因であるが、ここではこのような気象要因には触れず、人為的になんらかの手段をもって対応できるものに限って述べる。

5.3.1.1 吹雪の吹走距離

われわれの調査している石狩平野では、視程障害の発生個所はいつも定まっている。それらに共通する要因として、道路の主風向側が樹林などのない平坦な500m以上の幅広い雪原であることをあげられる。平地に限らず、中山峠などでも樹木の少ない広い雪原地帯が災害の発生個所になっている。吹雪量は吹雪が発生してから次第に量を増して、その時の風速で運びきれない量である飽和吹雪量になるまで増え続ける(竹内、石本、野原(1975))。二の二とから、吹雪をさえぎるものがない雪原では、吹雪の吹走距離が長くなるほど吹雪量も増える

と考えられる。

吹雪が発生してから、どのように吹雪量が増加していくかを知るために、石狩川河口近くの河川敷地において、吹雪の発生地点とみなせる川岸から、風向に沿って風下へ3~4点の吹雪量の同時測定を行った。写真-5は測定に使用した吹雪計で、雪面から30cmの高さまでの吹雪量とその間9点の飛雪量の垂直分布が推定できるようになっている。捕捉率は風洞において空気の捕捉率として求めた。吹雪量の測定結果を示すと図-27のようだ。吹雪量は吹雪の発生点から150~200mまでの間に急速に増し、それ以後もゆっくりと増加している。吹雪量はその時の風速と雪面の雪質に関する飽和吹雪量になるまで増え続ける。増加の過程においては、飛雪が雪面の雪をたたきだし新たな飛雪としたり、いったん雪面に達した降雪が再び飛雪となって飛びでたりする。このように、飛雪の供給源は積雪と降雪であるが、飽和吹雪量を越えると飛雪の一部は堆積して積雪を増し、雪面から雪がたたきだされるところでは、積雪が減少すると考えられる。このことから、積雪深を調査することによって侵食域や堆積域の推定ができる。そして、吹雪の発生

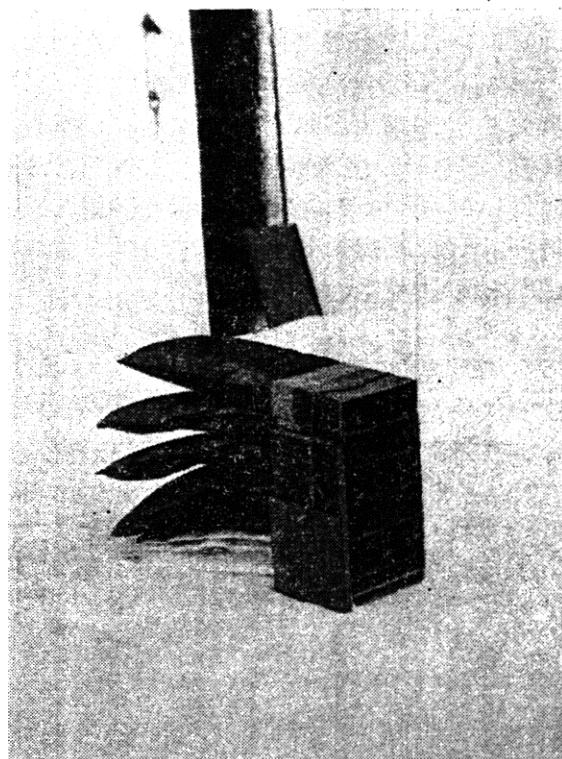


写真-5 吹雪計

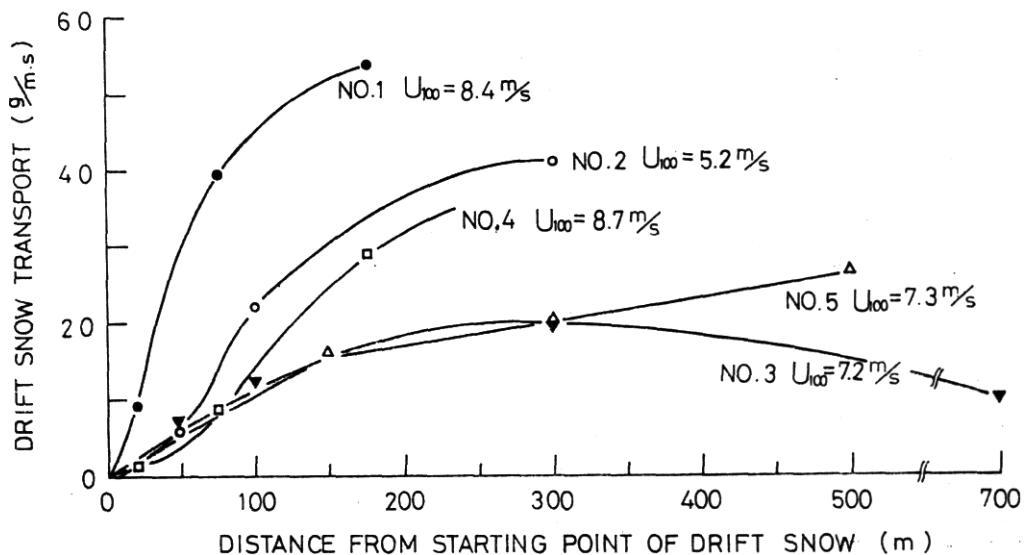


図-27 吹雪発生点からの吹雪量水平分布

点から推積載までの距離を吹雪量の増加する距離とみなすことができる。図-28は吹雪量の測定を行った場所で、川岸から700mの間をスノーサンプラーで測定した積雪深の水平分布である。この図から、積雪は川岸から200mまでの間で増加し、200~350mの間でほぼ一定、さらに350~500mの間で再び増加していることがわかる。このことから、平均的には200mまでは侵食域で、吹雪量は雪面からの雪と降雪によって増加した飛雪の分だけ増加し、200~350mの間では侵食はほとんどなく、

吹雪量は降雪による分だけ増えると考えられる。以上のことから、飽和吹雪量に達するような吹雪では、吹雪の発生点から350~500mぐらいで吹雪量が最大になると推定される。

しかし、一般に飽和吹雪量に達するような吹雪は、それほど多くなく、その場合は雪面の雪質が同じならば、吹雪の吹走距離の長いものほど吹雪量が増すと考えられる。

このように、吹雪をさえぎるものがない広い雪原が風

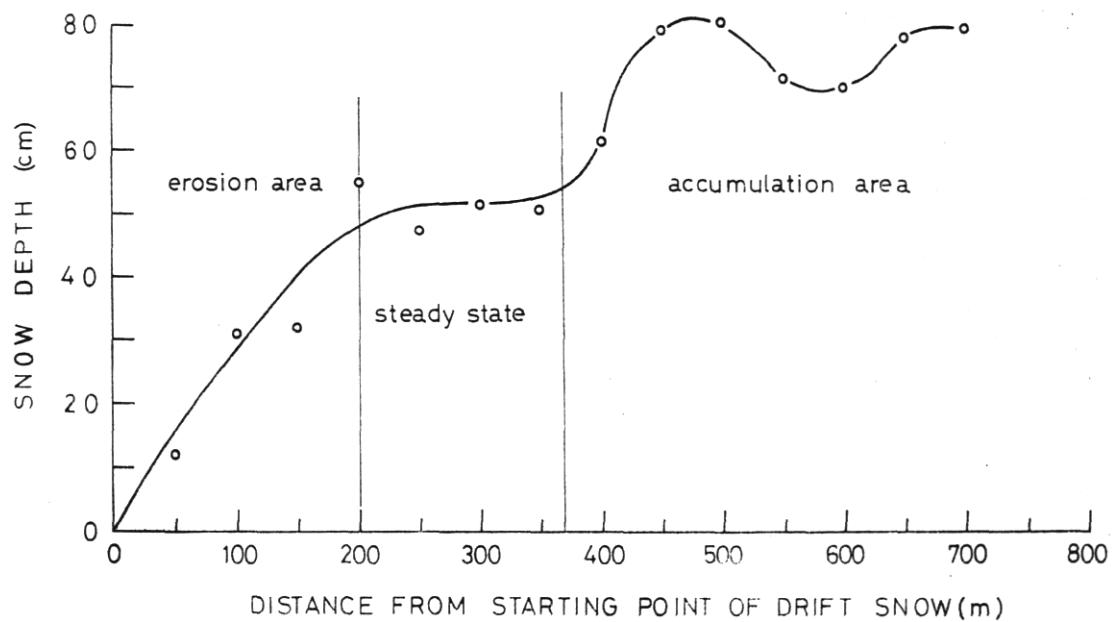


図 - 28 吹雪発生点からの積雪深水平分布

上側にある道路では、道路に吹込む飛雪量が多くなり、視程障害や吹溜りが発生しやすい。このような環境をもつ道路では防雪対策が必要になる。

5.3.1.2 路側雪堤と切土

道路の除雪作業によってできる路側雪堤は第4章でも述べたように、濃度の高い飛雪を運転者の目の高さに吹込ませることによって視程障害を大きくしている。同じように、道路の切土区間では風の境界層剥離によって渦

ができるため、落下速度の小さい飛雪はこの渦にまき込まれ空中に浮遊し、視程障害を起こす。実際の道路における視程障害多発個所は、高い雪堤のある道路や切土区間に多い。これらの個所は、吹だまりの形成を助長することによっても、交通の障害となっている。

5.3.2 素因に影響する拡大要因

次に、交通の安全に必要な情報量や車の走行性能を低下させるような、素因に働く拡大要因について述べる。

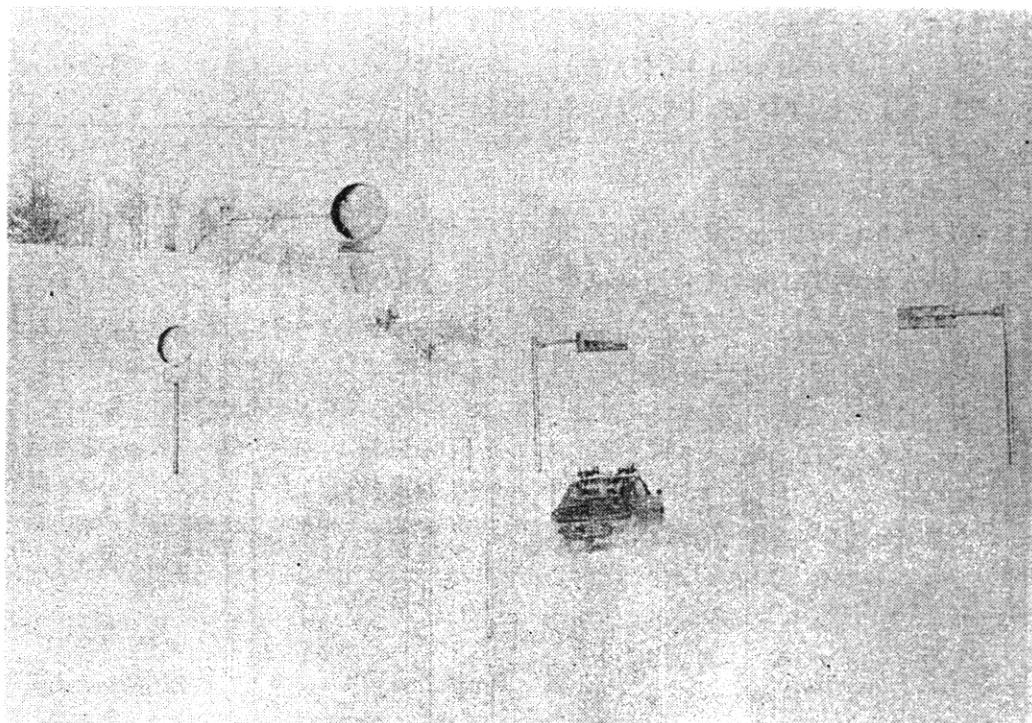


写真 - 6 道路標識の着雪例

これらは、交通の安全や円滑な運行を行うのに支障となるものである。

5.3.2.1 目標物の少ない道路

白一色の雪道では第4章で述べたように、目標物の有無や状態によって顕在視程の違いは非常に大きい。とくに、レーンマークや縁石など雪に埋もれた道路では、路側位置や道路の中心などを確認するための目標物（視線誘導物）の存在は交通の安全に不可欠である。スノーポールやデリニエーターは、路側位置確認のために設けられた視線誘導物であるが、これらがなかつたり間隔が離れすぎている場合や、デリニエーターは着雪したり雪に埋もれたりすると視程障害を拡大する。

5.3.2.2 標識板着雪

道路標識はスノーポールと同様に、路側位置や道路幅を判断するための目標物になり、視程の顕在化を助けるだけでなく、本来の目的である道路情報をもたらすものとして、交通の安全に重要な施設である。しかし、吹雪時には道路標識やスノーポールなどに着雪し、これらの視線誘導としての機能を失なわせ、交通の安全を損い視程障害を拡大することが多い。写真-6は一般国道5号俱知安峠での道路標識の着雪状況である。この時の視程は500m以上あったため、着雪していても標識の存在はわかるが、低視程時にはこのような着雪がホワイトアウトの原因にもなる。

道路標識の着雪は、着雪機構によって3種類に分けられるが（竹内（1978）），そのうち最も頻繁に見られるのは吹雪によるもので、雪が標識板に強く衝突し付着する。この場合、強い風で雪片が板にたたきつけられるために0以上の中雪も0以下の乾き雪とも着雪する。この際、着雪は最も着信しやすい標識板の中心にある風のよどみ点から成長するため、写真-7のように、着雪は標識板の中心を頂点とした円錐形状になるが図-29で、このように風速4~5m/sec以上になると気温によらず着雪する。しかし、気温が低くなるにつれ雪が衝

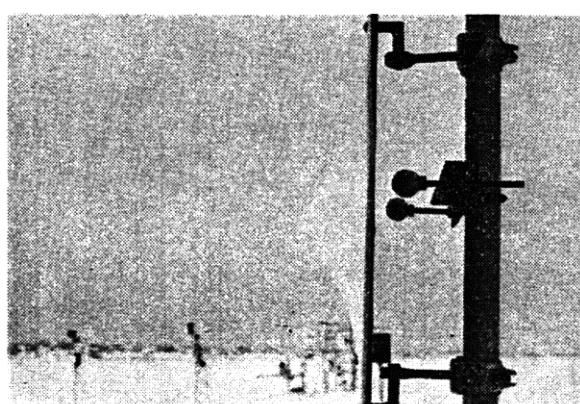


写真-7 着雪の側面

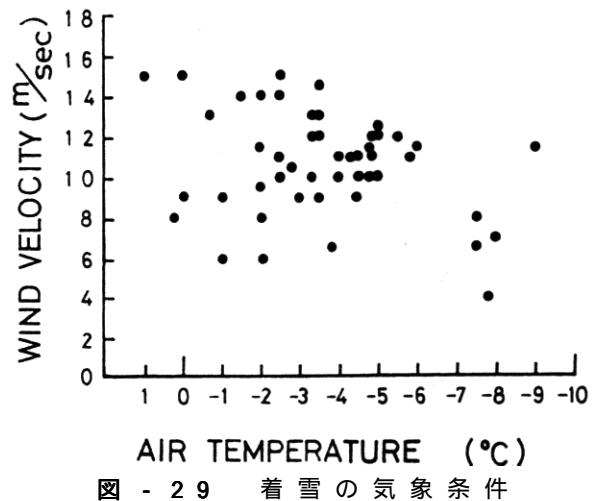


図-29 着雪の気象条件

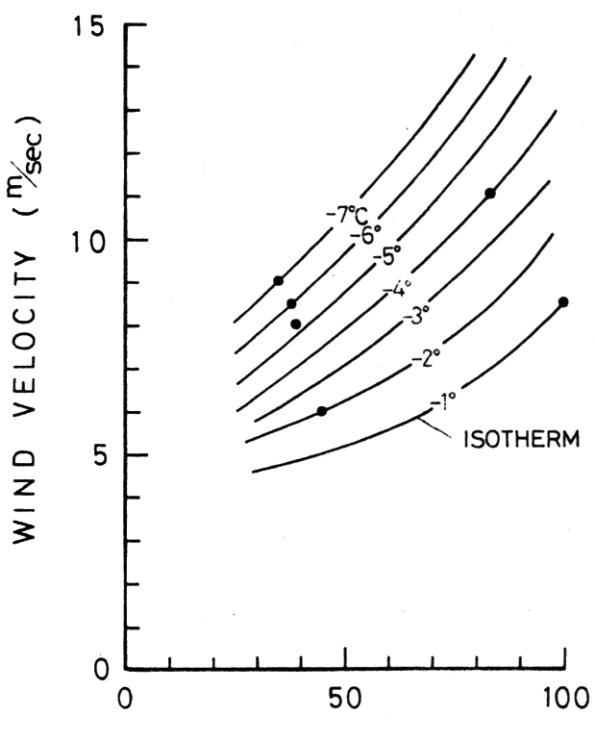


図-30 気温・風速と着雪率

突しても反撥されやすく、着雪量は小さくなる傾向がある。図-30は90×180cmの大きさのベニヤ板を使った時の着雪率を、気温と風速とで表わしたものである。この場合の着信率は、着雪の難易を表わすと考えられることから、風速が大きいほど、気温が高いほど着雪しやすいことがわかる。地吹雪の飛雪粒子は、衝突しても反撥されて標識が見えなくなるほど着雪が成長するのは、降雪がある場合に限られる。

5.3.2.3 路面積雪

視程が低下してもアスファルト路面が露出していると、そこは雪と区別できるので、視程の顕在化に働く。しかし路面に雪が残ると、視程の顕在化を妨げるだけ

なく、レーンマークや横断歩道の位置などを示す路面表示も見えなくなり、高速走行の際の視程の急変時のブレーキ操作はスリップ事故の誘因ともなる。また坂道では、視程障害のため一時停止した車が路面積雪によって、駆動輪が空転し発進できなくなることがある。発進できない車が1台でもあると、路側堆雪などによって有効幅員が狭くなった雪道では、交通が混乱することが多い。

5.3.2.4 道路の曲線部

太陽がでていると、雪の凹凸は影ができるのでわかる。しかし、吹雪時には雪の表面で光が乱反射し陰がはっきりしなくなり、立体感が失なわれる。そのため、道路の曲線部も発見が遅れる。一般的に夏と比べて冬の道路での曲線部は、非常に危険度が高い(斎藤(1975))。

さらに、路側堆雪のため有効幅員の狭い雪道では、車は道路の中央寄りを走ることが多いので、雪堤に突込んだりセンターを越えて対向車に衝突する曲線部での事故が多い。

そのほか、夜間照明のない道路、窓や燈火器類の汚れや着雪も、運転者の能力や車の性能を低下させ視程障害を拡大する。

以上、道路環境、構造、気象などから視程障害の拡大要因を述べた。視程障害防止対策を行うには、これらの拡大要因に対してどう対策を行うかが重要な問題である。

次に視程雪害防止について述べる。

§ 5.4 視程障害防止対策

視程障害の防止対策は、視程の特徴を把握し主にその拡大要因対策を行うことが基本となる。視程の特徴と拡大要因から、次の4点が最も重要と考えて調査実験を行ったのでそれらについて述べる。

5.4.1 視程障害の緩和

視程障害は、道路に吹込む飛雪が原因となっている。視程障害を発生させるほど多量に飛雪が吹込む道路は、風上側に広い雪原があるところで、そのような場所では防雪柵などによってできるだけ道路へ飛雪が吹込まないようにする必要がある。道路上に吹込む飛雪の多い道路は、路側雪堤ができていることが多く、そのために目の高さに飛雪を多くし視程障害が拡大される。視程障害の緩和のためには、雪堤対策が非常に重要である。雪堤によって、目の高さに集中する高い濃度の飛雪を少なくするためには、雪堤の成長を低く抑えるか、雪堤の上での風速を弱めるか、あるいは目の高さに集中する飛雪の層は非常に薄いことから、飛雪を高さ方向全体に拡散させることなどが考えられる。次に、雪堤対策の具体例につ

いて2、3述べる。

一般国道230号石狩川河口橋が開通したばかりの頃、まだ未完成の部分は仮設道路によって結ばれていた。仮設道路では、視程障害が頻繁に起こっていたので、障害個所の原因を調べた。図-31は調査個所の平面図である。道路の風上側は、川岸まで約800mの平坦な河川敷地になっており、道路へ吹込む飛雪量が多い。このため、道路と平行に約350mの間を高さ3.6m、空げき率20%の吹止め型の防雪柵が設置された。防雪柵の設置個所は、視程も比較的よく事故の発生も少なかったが、防雪柵の切れているところでは、吹雪になると必ずといってよいほど交通事故を起こしたり車が進めなかつたりしていた。防雪柵の効果と視程障害多発地点の特徴を調べるために、道路の横断方向の積雪分布を水準測量した。測定結果を図-32に示す。図の中でNo.4とNo.5で示したのが視程障害の最も激しかった個所である。No.3は2月末になって、防雪柵による吹だまりの雪丘が平衡状態になり、防雪効果が失なわれてから視程障害が発生した個所である。No.1とNo.2は、シーズンを通して視程がよかつた個所である。No.4とNo.5の特徴は防雪柵がないため、早くから雪堤ができていたことと、No.4は防雪柵の切れ目にあたり視程が急変すること、またNo.5は曲線部のためいずれも事故が多発した。No.3は雪堤ができてから視程障害が発生した。No.2ではNo.3と同じように防雪柵による吹だまりが平衡状態になってからも雪堤はできなかった。このように雪堤の高さが違うのは、No.3は盛土がほとんどなく、No.2では1.5mの盛土があるという、盛土の高さに差があるためと考えられる。No.1は防雪柵がなかったにもかかわらず、2m以上の盛土があったため、雪堤は低く抑えられ交通障害もなかった。

このように、視程障害の発生個所では雪堤が車の窓の高さを越えている点で共通しており、防雪柵の設置や盛土を高くすることにより雪堤を低くできることがわかった。盛土が高いと主に除雪の際の滞雪空間が確保されることによって雪堤が出来難くなる。このように、視程障害防止のために盛土を高くするのも一方法である。そこで、盛土をどの程度高くすると車の窓より低い雪堤に抑えることができるかを知るために、一般国道40号智恵文-和寒間でスノーサンプラーによる道路横断方向の積雪調査を行った(竹内、鎌田、福沢(1972))。調査結果を盛土の高さと雪堤の高さとの関係で示すと図-33のようになる。調査個所はいづれも田畠などを道路環境としており、気象的にも同じと考えられる狭い地域の中で最深積雪期の3月上旬に行った。図のように盛土の高さと雪堤の高さは反比例している。平地積雪が110cmであっ

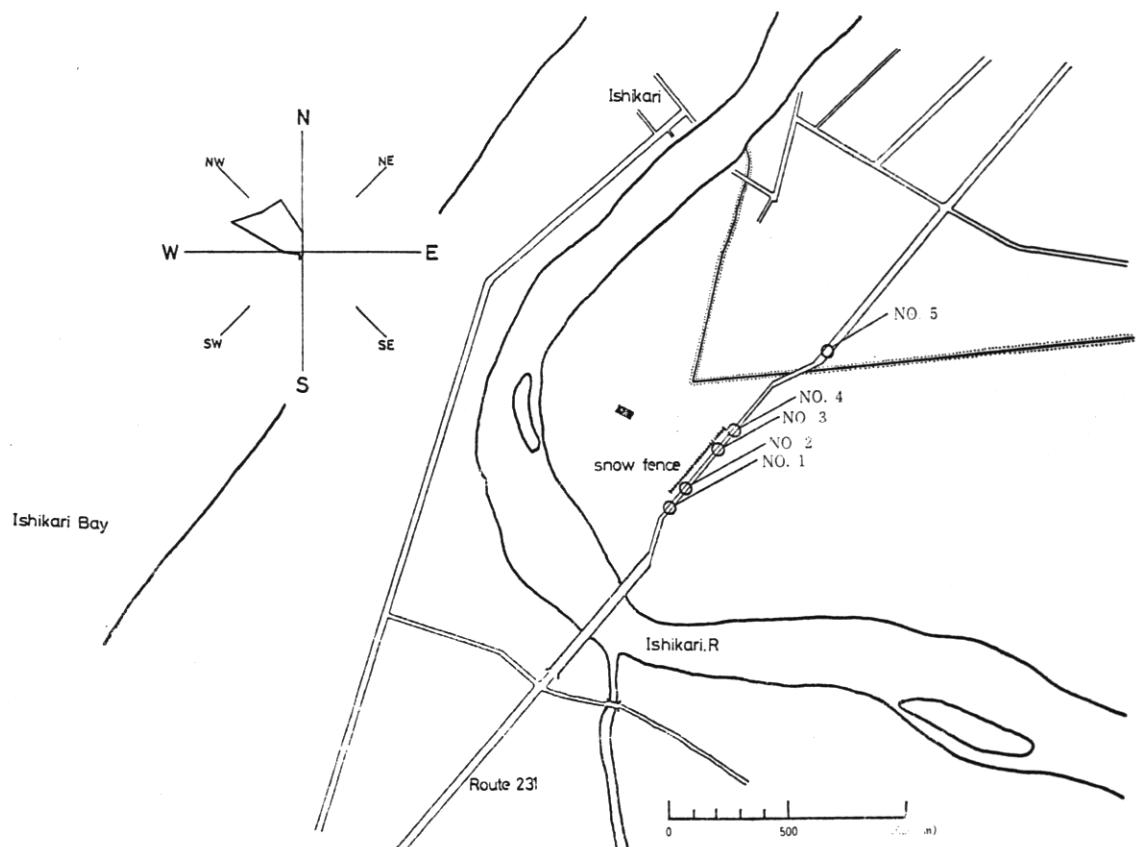


図 - 3 1 積雪調査個所の平面図

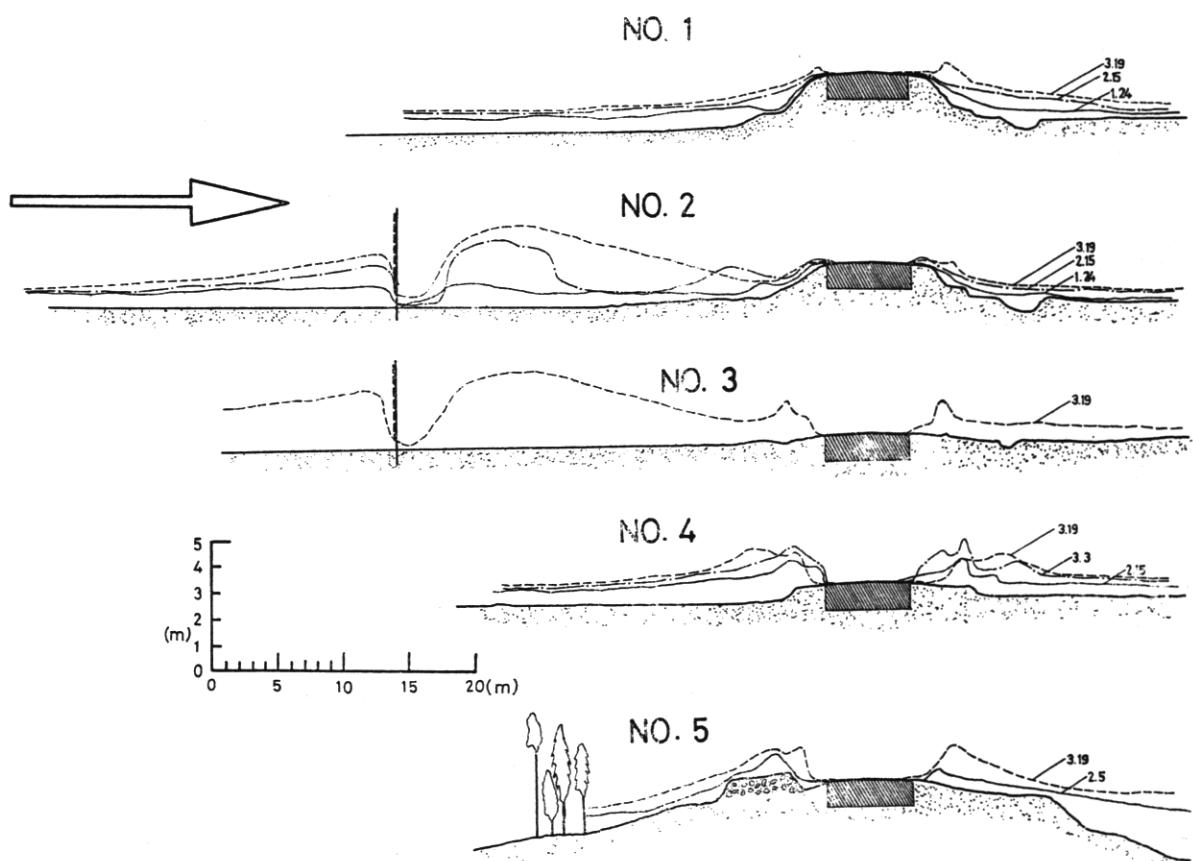


図 - 3 2 道路横断方向の積雪深分布

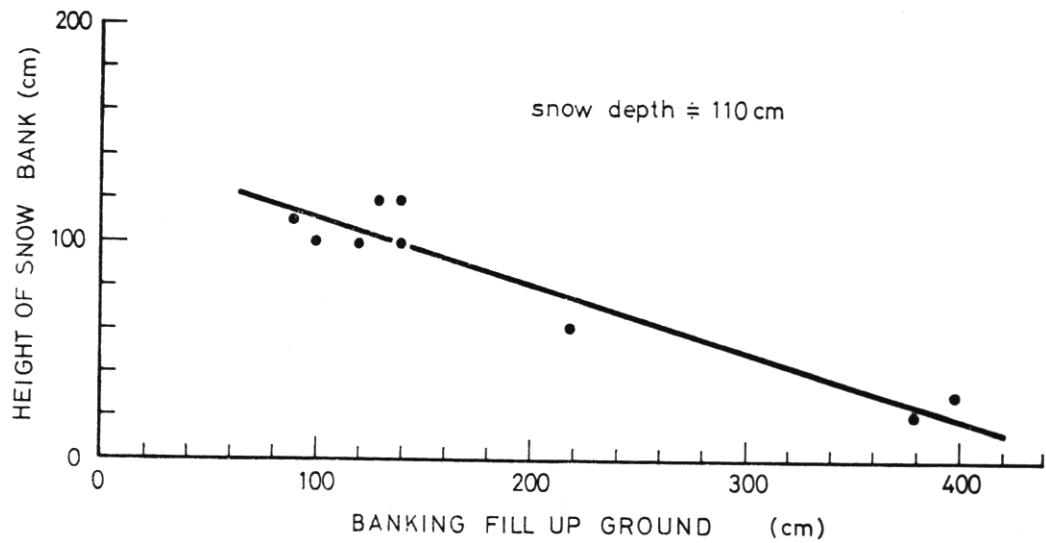


図-33 雪堤高と盛土高

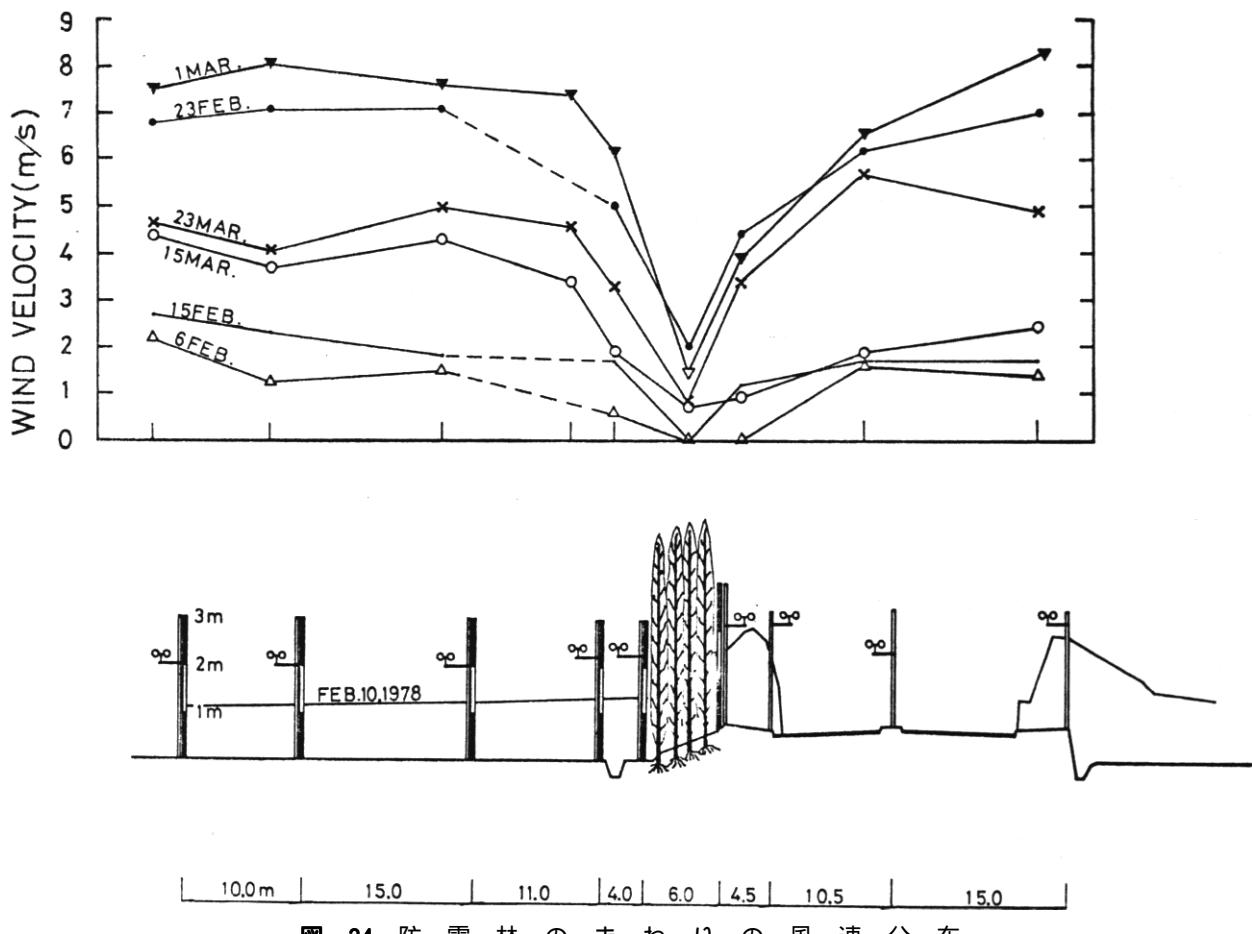


図-34 防雪林のまわりの風速分布

したことから、視程障害の少ない1m以下の雪堤高にするためには、一般的にはその地方の最深積雪深より30cmほど高い盛土にすればよいと推定される。

以上は雪堤の高さを低くする方法を、防雪柵と盛土の高さから見たものである。このほかに、雪堤からの飛雪を少なくするために、雪堤の上での風速を地吹雪の発

生限界風速以下にすることによっても可能である。図-34は一般国道12号岩見沢地区において、視程障害防止を目的として試験植栽された防雪林のまわりの風速測定の結果である。この防雪林は、約4mの高さのヨーロッパトウヒとえぞまつ3~4本で構成されている狭林帯の樹列林である。林帯は狭くても、図のように雪堤頂での風

速を減少させて、雪堤からの地吹雪の発生を抑制し、道路に吹込む飛雪を防止することによって、視程障害防止効果を上げている。

5.4.2 視程変動の緩和

吹雪による視程の時間変動は、それ自体非常に激しいものであるが、道路構造、環境や地形によっても、道路に吹込む飛雪量が変わってくるので、これらの不連続部分での視程変動は大きい。視程の変動は交通事故の誘因になることが多い。とくに最近は道路除雪が十分に行われ、冬でも高速走行の機会が多くなっており、国道や高速自動車道で10数台や20敷台の車をまき込んだ多重衝突事故が発生したように、視程変動による危険は大きくなっている。一般国道12号岩見沢地区の道路防雪林と隣接した無対策個所において、視程の比較観測を行ったところ、防雪林は視程変動の緩和効果をもつことがわかった

のでそれについて述べる。

防雪林は図-35のように、縁石線から歩道をはさんで6mのところから3m幅で3本植と4本植で、それぞれ50m植栽した。視程計は防雪林個所と無対策個所の中央分離帯にそれぞれ授受光間隔は20mで高さ1.5mに設置した。視程の変動を振幅に着目して、変動のスペクトルをエネルギースペクトラムの解析法を用いて解析した。一例を図-36に示す。この時の主風向は西南西で防雪林に対して40°の角度になっていた。また、平均風速は6m/secであった。防雪林個所の平均視程は290m、無対策個所は200mで、視程は45%ほど防雪林個所のほうがよくなっている。視程変動の違いは記録紙の上からもはつきり読取れるが、その特徴を知るために時間とともに変わる視程を周波数の関数にして変動のスペクトルを計算した。図-36(a)は防雪林個所の変動スペクトルで、0.15

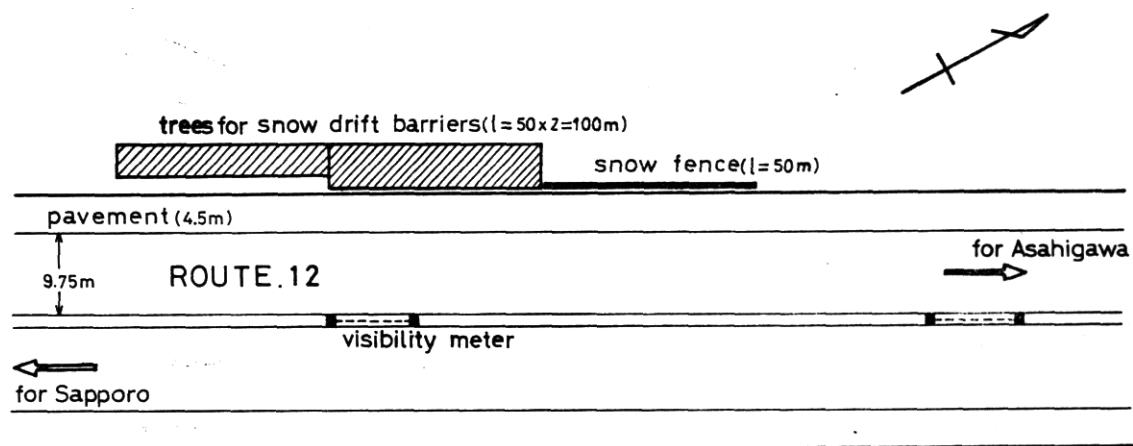


図-35 防雪林と視程計の位置

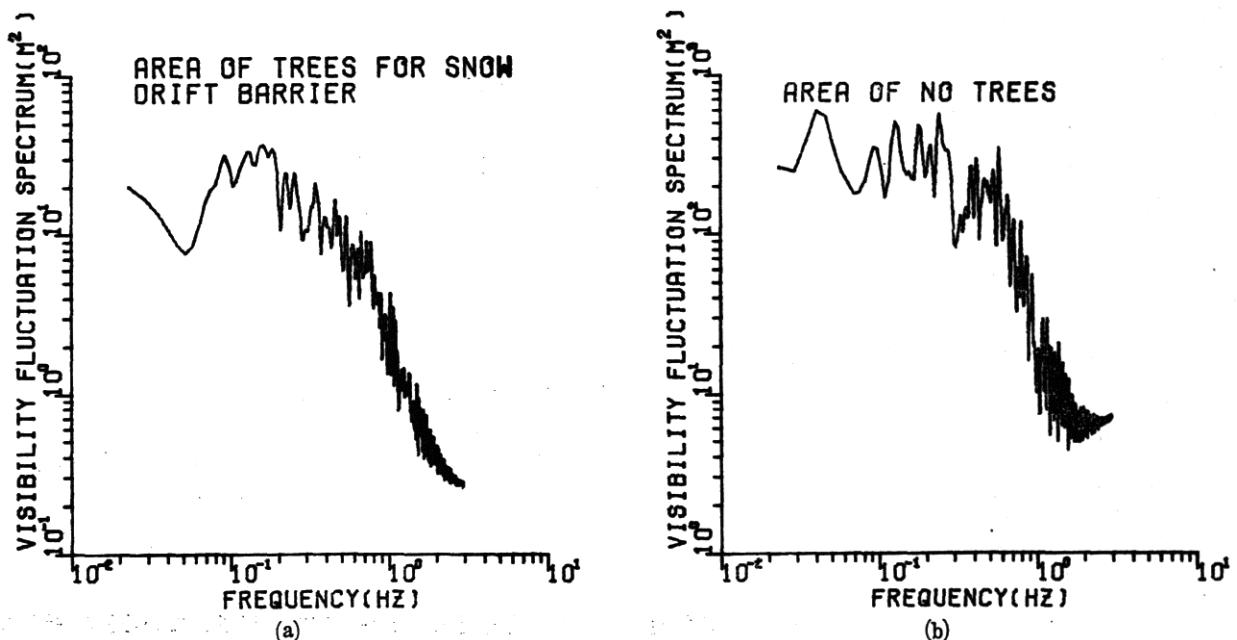


図-36 視程の変動スペクトル

Hz にピークを持っている。無対策個所は図 - 36 b) で 0.2 Hz のほかに 0.5 Hz 周辺にも局所的なピークを持っており、全体的に防雪林個所と比べて高周波成分の変動を含んでいることがわかる。また無対策個所では防雪林個所と比べて、全体的に変動のスペクトルが 1 けた大きくなっている。周波数の高いことは、変動が速いことを変動のスペクトルが大きいことは、変動の振幅が大きいことを表わしている。このことから、防雪林は変動の速さも変動の大きさも緩和する効果を持つことがわかった。

5.4.3 視程の顕在化と視線誘導

視程の顕在化と視線誘導は両方兼ねることが多く、道

路では一般にデリニエーター、スノーポール、道路標識などがその役割を果たしている。視程の顕在化のために、これらの設置間隔は短かいほど効果も大きいが、除雪作業の支障になることもあります。現実には特別の場合を除くとデリニエーターは直線部で 80m 間隔に設置されている。視程を 100% 顕在化するには、防雪林のように連続的な物体を目標物としなければならない。

一般国道 12 号岩見沢の防雪林の目的の 1 つは、このような視程の顕在化であった。街路樹のように間隔を持った樹列でも、一般的の道路では視線誘導とともに視程の顕在化は十分期待できる。岩見沢の防雪林は常緑樹で枝葉

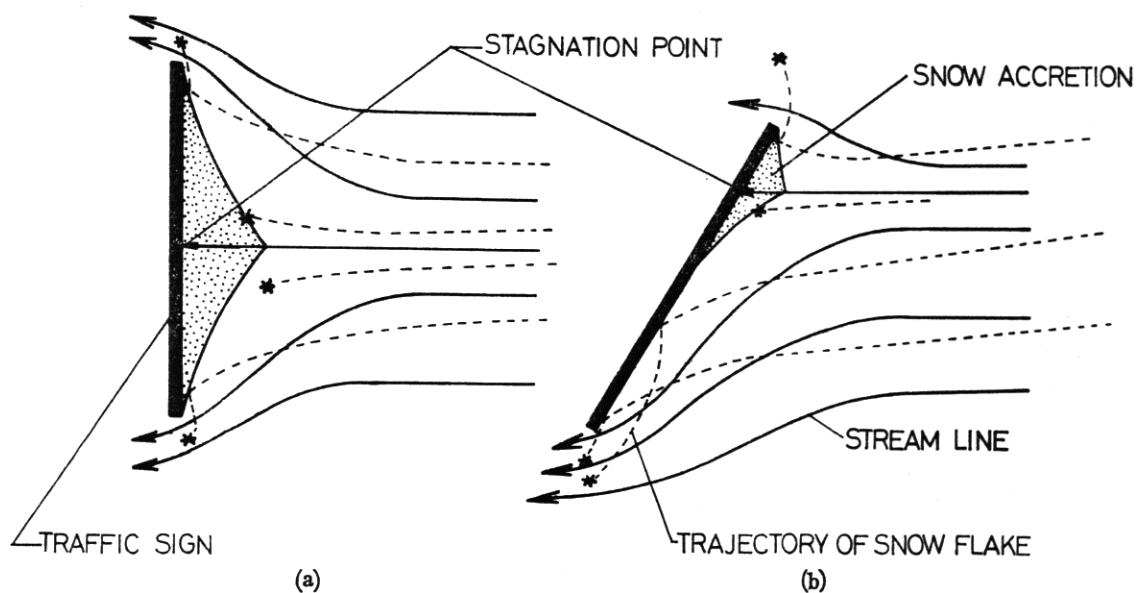


図 - 37 標識板周辺の風の流れと着雪

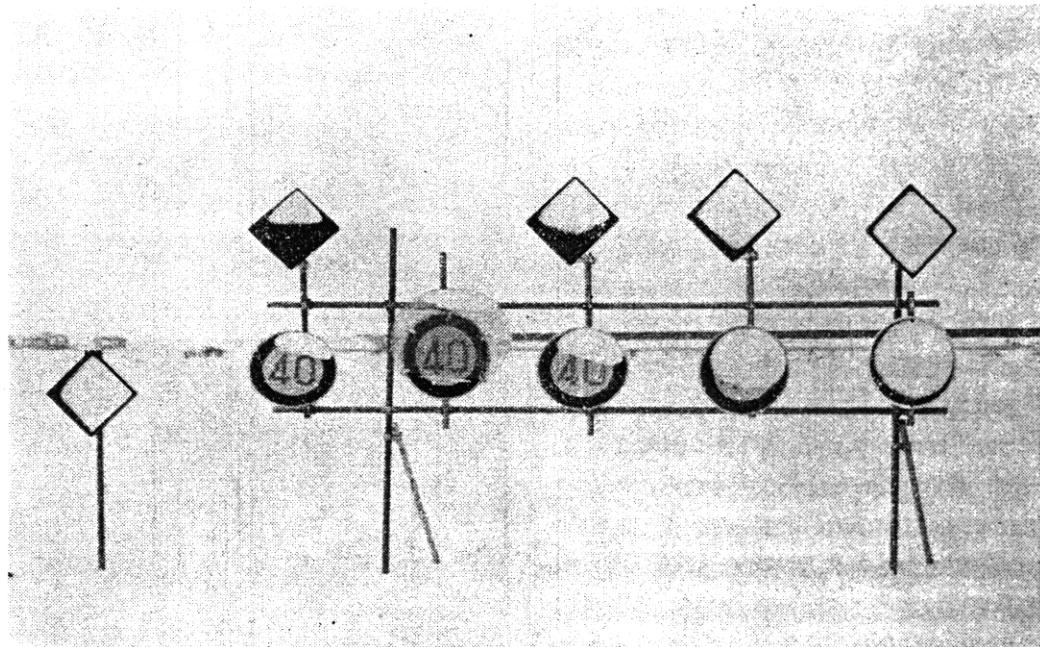


写真 - 8 傾斜角による着雪の違い

が風でゆれ雪を落し、雪でおおわれてしまうことはなかった。曲線部など危険度の高い道路での視線誘導に街路樹を取り入れていきたいと考えている。

5.4.4 道路標識の着雪防止

道路標識の着雪防止のために、1) 風の力を利用する方法、2) 標識板の表面処理、3) 風の流れを変える方法の3つの方法を基本とした実験を行ったが、このうち、3) の風の流れを変える方法が最も効果的、かつ実用的であることがわかったのでこれについて述べる。

着雪は図-37(a)のように、標識板に風が直交した場合には、板の中心にできる風のよどみ点を中心着雪が成長する。風が標識板に対して角度をもってあたると、図-37(b)のように、よどみ点が移動するので着雪はよどみ点のまわりにできるがその下では着雪しがたくなり、

着雪しても板に沿う風で吹払われてしまう。そして板と風とが平行になると着雪はまったく見られなくなる。この性質を利用して、標識板を下向きに傾けて着雪を防止することを考えた。傾斜角と着信の違いを見たのが写真-8である。傾斜角は上下とも向かって左から 30° 、ひとつおいて 25° 、 10° 、 0° である。このように傾斜角が大きくなると、着雪量が少なくなり、着雪する部分も板の上隅だけに限られてくる。これは風洞実験で確かめられたことであるが(竹内(1978))、傾斜角が大きくなるにつれて、風のよどみ点の上隅への移動が大きくなり、よどみ点の下では板に沿って下向きに流れる風がより強くなり、雪が板に衝突しても反撥されたり吹払われたりすることが多くなり、着雪しがたくなる。また板が大きくなると、写真-9のように着雪量は少なくなる。

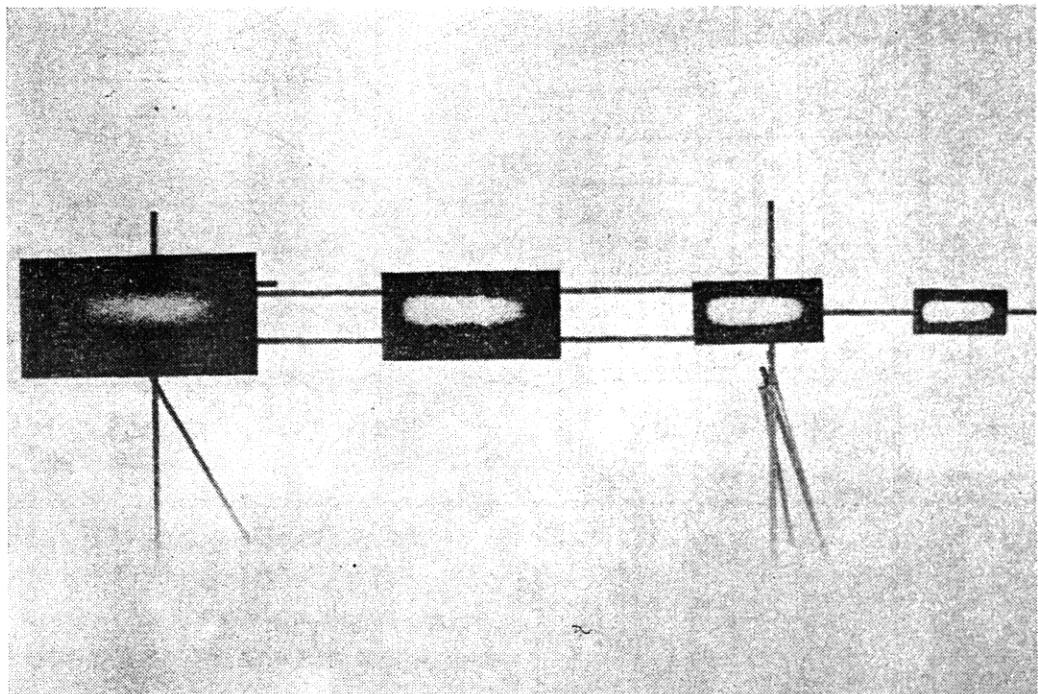


写真-9 板の大きさと着雪量

これは、小さい板では風とともに飛んでくる雪が板の側縁で風の流れによってやや曲がるがほとんど直線的に衝突するために着雪しやすい。しかし板が大きくなるにつれて、雪が風によって板の外側へと曲げられるのがはつきりし、その影響範囲も縁から板の内側へ及ぶようになり、板を傾斜させた時のように板に沿う強い風によって雪が吹払われて、着雪しない部分が大きくなるためである。写真-8は視程が130mの強い吹雪時の着雪であり、着雪量も多かったものであるが、一般的には 15° ~ 20° の傾斜角でも標識板の視認に支障ない程度の着雪防止ができる。また、板が大きいほど傾斜角を小さくできることや、 15° 程度の傾斜角ならばむしろ視認性を高めるため

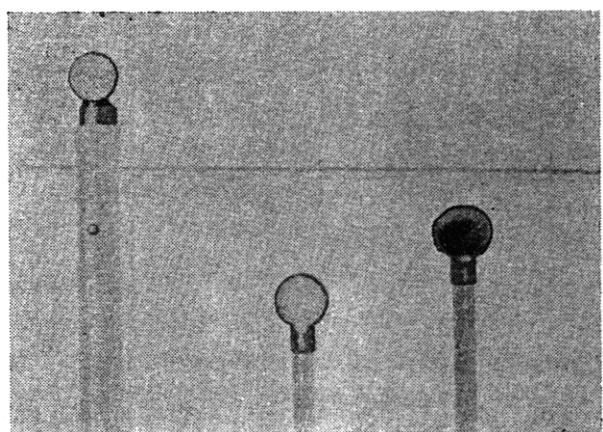


写真-10 デリニエーターの着信防止

に行われることもあるなど、方法が簡単なことからも実際的な方法と考えられる。この方法は標識板のほかに、デリニエーターなどにも応用できる。写真-10の中で向かって右端のものはデリニエーターを、表面を30°傾けた透明なカバーでおおったものであるが、このように他のデリニエーターと比べて着雪量が少ないのがわかる。

§5.5 あとがき

道路における視程障害の実態を調査し、視程障害の要因と構造を分析した。これによって、視程障害防止のために必要となる問題点を、拡大要因の形で整理することができた。視程障害の緩和防止については、これまで意識的に行われたことは少なかったが、道路における視程の特徴と拡大要因を知ることによって、今後の対策が行われていくものと考える。ここでは、交通の確保のためには、視程障害の緩和および視程の顕在化が、また交通の安全のためには、視程変動の緩和と視線誘導および標識板などの着雪防止が重要と考え、対策方法と効果について調査した。前者については、盛土を高くすることと防雪林が、後者では防雪林と標識を傾けることが効果的であることなどがわかった。われわれは、視程障害の緩和防止のために防雪林の利用研究を進めていくつもりであるが、視程障害対策の研究は、端緒についたばかりといってよく、さらに多角的、かつ総合的な研究開発が必要と考えている。

第6章 結論

一般に視程は、光の一様減衰によるとして取扱われてきたが、吹雪時の視程の目視観測と光の減衰の同時観測の結果、とくに100m以下の低視程時において光の一様減衰を仮定した理論値と実測値の大きなずれがみられた。このことは、雪が目の近くでは一個一個が識別される大きさをもつために、同じ形、大きさの雪でも目の近くにあるものほど視程に大きく影響するため、雪のように大きな空間浮遊物では、視程を光の一様減衰からだけでは取扱えないことがわかった。光の減衰は、雪の空間濃度に反比例すると考えられることから、視程を雪の空間濃度との関係で表わしたが、同じ雪の空間濃度でも例えば、降雪と吹雪とでは視程の違いは非常に大きいことがわかった。雪は残像のために尾を引いて見えるが、このことが視程に影響するとなったら、雪の動く速度が大きいほどその影響が大きいと考えられる。残像の影響を見るために、目の高さにおける雪の動く方向への移動量と視程の関係を求めた。その結果、視程と雪の空間濃度との間に見られたような現象による違いはなくなり、視程と雪の移動量の関係は1本の曲線で表わされ、視程の

低下率（曲線の勾配）は視程が低くなるほど大きくなつた。これは、雪が識別できる距離の視程距離に対する割合は、低視程ほど大きくそのため目の近くの雪や残像の影響もより大きく表われるためである。このように雪の場合、視程は雪による光の減衰だけでなく、残像なども含めた人間の目の心理的、生理的機能にも影響されている。

雪による光の減衰は、雪による光の散乱として取扱われてきたが、光の波長と比較して雪が大きいことと、個の散乱面積係数が1より小さいことから考えて、光は雪による反射によって減衰することを述べた。光の減衰と飛雪量の関係を求めたが、雪の形や大きさによって光の消散係数が異なることから、一般的に光の観測によって降雪量や吹雪量を得ることは、これらの物理量の要求する精度から考えて限界があることを指摘した。

Bouguer-Lambertの法則とKoschmiederの視程に関する式から、光を用いる視程計を開発した。30m以下の低視程を除くと、実用上必要な視程の精度内で目視による視程と視程計の値がよく対応することがわかり、実用に供することができた。視程計の開発によって、これまでできなかった視程の連続観測、視程の変動解析など、視程の調査研究を発展させるとともに、吹雪時の道路交通の維持管理の円滑化を可能とした。

視程と道路交通との関係を調査し、視程が100m以上あれば車の速度が低下しても交通の流れは確保されたが、50m以下になると低速運転や渋滞が始まり、30m以下になると交通は止まることがわかった。これをもとに、これまでなかった視程の影響の大きい吹雪時の道路交通の管理基準を得ることができ、交通管理の面からの視程障害対策を実現させた。将来は視程観測と気象情報をもとにし、通行止めを2~3時間前に予測可能にして道路情報システムを利用した交通の誘導を行いたいと考えている。

従来、吹だまりの面から行われてきた道路における吹雪対策を、視程障害の面からみなし、視程の実態を調査した。そして同じ気象条件のもとでも、スノーポールなどの視標の有無状態によって実際に感ずる視程（顕在視程）は非常に違ったものになることを示し、目の高さに集中する飛雪による視程障害や交通事故の誘因となっている激しい視程の変動など、吹雪や地吹雪の特徴が道路における視程の特徴となって表われていることを示した。

道路における視程障害がどのような道路構造、環境、気象条件のもとで発生するか、その要因、構造を実態に基づいて調査し、視程障害の防止対策に必要な問題点を拡大要因という形でまとめた。その主なものは、道路環

境としての風上側の広い雪原、構造に関するものでは路側雪堤、気象的なものでは道路標識などの着雪がある。これらの拡大要因と道路における視程の特徴を知ることによって、視程障害対策の実施に具体的な方向づけができるようになった。

視程障害の構造と要因に基づいて、視程障害対策の調査と実験を行った。その結果、路側雪堤を低く抑えるためには、防雪柵や防雪林による防雪のほかに道路の盛土を高くするのも有効であることがわかった。また、道路標識の着雪防止のために、着雪機構の調査と着雪防止の実験を行い、標識板のまわりの風の流れを板に平行に吹くように変える方法が最も効果的であることがわかった。実際的には $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ほど下向きに傾けただけで着雪防止効果の十分あることがわかった。防雪林はこれまで吹だまり防止を目的として考えられてきたため、林帯幅を十分とすることが必要とされているが、3~4本植の狭林帯のものでも視程め顕在化と視線誘導の効果、雪堤前後の風速を低下させ、目の高さに集中して吹込む飛雪の沈静と拡散させる効果、視程変動の緩和などの面で視程障害防止には有効であることがわかった。3~4本の狭林帯の防雪林は、現在の道路敷地内での造林も可能であることから、吹雪多発地帯の視程障害対策に利用していくことを考えたい。

謝 詞

この研究を始めた動機ともなった貴重な御助言と御指導をしていただいた、孫野長治北海道大学名誉教授、論文内容の御検討と御指導をしていただいた、黒岩大助北海道大学名誉教授、石田 完北海道大学低温科学研究所教授、菊地勝弘北海道大学理学部教授の各氏に深く感謝する。また、研究の推進に御尽力していただいた、村木義男北海道工業大学教授、有益な御助言をしていただいた鎌田新悦富山技術短期大学教授、研究に協力していただいた応用理化学研究室の皆様にも心からお礼申し上げます。

引用文献

- Brillouin, L., 1949 : The scattering cross section of spheres for electromagnetic waves. *J. Appl Phys.*, 20, 1111-1125.
Budd, W. F., 1966 : The drifting of nonuniform snow particles, A. G. U. *Antarct. Res. Ser.*, 9, 59-70.
Budd, W.F., W.R. Dingle, and U. Radok, 1966 : The Byrd snow drift project : Outline and basic results, A. G. U. *Antarct. Res. Ser.*, 9, 71-134.
Dvunin, A. K.. 1967 : Fundamentals of the mecha-

nics of snow storms, Proceeding of the international conference on low temperature science Part. 2, 1065-1073.

福沢義文、竹内政夫、1977：投光一体式雪面・降雪検知器、土木試験所月報、No. 292, 10-13.

Gordon, D. A., 1966 : Experimental isolation of driver's visual input, *Highway Res. Rec.* 122, P. 19-34.

Gunn, K. L. S. and J. S. Marshall, 1958 : The distribution with size of aggregate snow flakes, *J. Met.*, 15, 452-461.

Hammer, E., 1949 : Temporal factors in figural after-effect, *Amer. J. Psy.*, 62 p. 337.

石本敬志、竹内政夫、野原他喜男、- 1977 : 北海道の道路における通行止めと気象条件、土木試験所月報、No. 290, 1-20.

河村龍馬、1948 : 風による砂の運動、科学、18, 11, 24-30.

鎌田新悦、竹内政夫、福沢義文、1971 : 吹雪時の視程について、第15回北海道開発局技術研究発表会論文集、244-247.

Kobayashi D., 1972 : Studies of snow transport in low-level drifting snow, *Contri. Inst. Low Temp. Sci.*, A 24, PP. 58.

Koshmieder, H., 1924 : Theorie der Horizontalen Sichtweite, *Beitr. 2. Phys. d. freien Atm.* 12, 3-55.

Lillesaeter, O., 1965 : Parallel-beam attenuation of light, particularly by falling snow, *J. Appl. Met.*, 4, 607-613.

Mellor, M., 1966 : Light scattering and particle aggregation in snow storms, *J. Glaciol.*, 6, 44, 237-248.

Middleton, W. E. K., 1952 : Vision through the atmosphere, Univ. Tronto Press, Tronto, Can. pp. 250.

O'Brien, M.P., 1933 : Review of the theory of turbulent flow and its relation to sediment transportation, *Trans. A. G. U.* 14, 487-491.

O'Brien, H.W., 1970 ; Visibility and light attenuation in falling snow, *J. Appl. Met.*, 9, 671-683.

齊藤博英、1971 : 降雪の強さと視程、国立防災科学技術センター研究報告、5, 33-40.

齊藤和夫、1975 : 積雪期の交通事故に関する研究、寒冷地における高速道路の雪害と対策、39-49.

Schmidt, R. A., 1977 : A system that measures bio-

wing snow, U. S. D. A. For. Ser. Res. Rep. RM-194, Rocky Mt. For. and Range Exp. Stn., Fort Collins, Colo., pp. 80.

塙谷正雄, 1953 : 吹雪密度の垂直分布にたいする一考察, 雪氷, 15, 1, 6-9.

Stallabrass, J. R., 1978 : Airborne snow concentration and visibility, Transpot. Res. Board Nat. Academy of science, Special Report 185, 192-199.

Tabler, R. D., 1977 : Visibility in blowing snow and applications, Sym. on Driver Visibility under Varying Adverse Weather Conditions. Transport. Res. Board, Nat. Res. Counc. pp. 7.

高橋浩一郎, 1968 : 気象災害論, 地人書館, pp- 167.

竹内政夫, 鎌田新悦, 福沢義文, 1972 :道路積雪実態

調査, 第 15 回北海道開発局技術研究発表会論文集, 248-253.

竹内政夫, 石本敬志, 野原他喜男, 1975 : 吹雪量と飛雪量垂直分布, 雪氷, 37, 3, 8-15.

竹内政夫, 1978 : 道路標識への着雪とその防止, 雪氷, 40, 3, 15-25.

Walton, N.E. and Messer C.J., 1974 : Warranting fixed roadway lighting from a consideration of driver work load, Transport. Res. Rec. No. 502, 9-21.

Warner, C. and Gun K.L.S. 1969 : Measurement of snow fall by optical attenuation, J. Appl. Met., 8, 110-121 .

横瀬善正, 1956 : 視覚の心理学, 共立出版. pp. 196.

編 集 委 員

委員長 田口雍也
久米洋三 高橋毅 畠山惇史

Executive Editorial Board

Editor-in-Chief: Yasuya TAGUCHI
Yozo KUME Tsuyoshi TAKAHASHI Atsushi HATAKEYAMA

昭和 55 年 8 月 30 日発行

北海道開発局土木試験所

062 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目
TEL (841) 1111

印刷所 株式会社 日栄舎

003 札幌市白石区菊水 1 条 2 丁目
TEL (811) 6161

**REPORT
OF
THE CIVIL ENGINEERING RESEARCH INSTITUTE
No. 74**

CONTENT

Study on Visibility in Blowing Snow

.....By M. Takeuchi

August, 1980

CIVIL ENGINEERING RESEARCH INSTITUTE
HOKKAIDO DEVELOPMENT BUREAU