



Title	光波電播におよぼす降雪の影響
Author(s)	榊原, 勝昭; Sakakibara, Katsuaki; 児玉, 信之 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 44, 139-156
Issue Date	1967-09-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40829
Type	departmental bulletin paper
File Information	44_139-156.pdf



光波伝播におよぼす降雪の影響

榊原勝昭* 児玉信之*

金谷幸次* 鈴木道雄*

(昭和42年5月1日受理)

Attenuation of Light Beam by Snow in the Atmosphere

Katsuaki SAKAKIBARA, Nobuyuki KODAMA,

Kouji KANAYA and Michio SUZUKI

(Received May 1, 1967)

Abstract

Light beam propagation was studied in the atmosphere in the presence of a snowfall. Snow particles passing through the beam attenuates the light, and then the intensity at the detector is affected by both the number and the attenuation constant of snow particles in the beam.

The following facts were observed ;

- 1) The relation between the snow particle number in the beam and the appearance frequency is akin to the Poisson distribution
- 2) The average attenuation constant of snow particles is approximately 0.1 and 1.0
- 3) The relation between the field of vision and the density of snow particles in the atmosphere is not linear

The above and a few other phenomena were observed.

目 次

1. ま え が き	140
2. 考 え 方	140
2の1 考 え の 基 本	140
2の2 見 通 し	142
3. 予 備 的 実 験	143
3の1 光 源 と 検 出 器	144
3の2 雪 の 平 均 的 減 衰 係 数	146
3の3 雪 の 密 度	149
3の4 降 雪 状 態 の 区 別	149
4. 伝 播 実 験	151
4の1 全 般 的 判 断	
4の2 頻 度 分 布	

4の3 伝播方法について	
4の4 降雪密度と視界の問題	
5. あとがき	155

1. ま え が き

Laser の出現により、光の指向性が飛躍的によくなり、光の長距離伝播の可能性が再び追求されるようになった。それは又、必然的に、大気中の種々な減衰物質の性質の研究を要求し始めた。光に対する種々な減衰物質のうち、雪と煤煙を対象とする研究は北海道に属する者の義務でもあり、又、特権でもあろう。そこで今冬我々は、光波の大気伝播と雪の関係についての実験の大まかではあるが、全般的な計画に必要な基礎的 data を得るための実験を行ない若干のものを得たので報告致します。

方法に関する考えの基礎は次の様なものである。即ち直流光を降雪時の大気中を伝播させれば、雪により光は変調されるわけであるが、変調された光の振幅の各値の頻度の割合や、単位時間当りの特定の peak 値の頻度等は、雪の降り具合となんらかの関係があるに違いないと云うものである。実際に、次の様な data を得た。

伝播中の光 beam を横切る雪片の数が少ない時には、受信側での光の各強さの頻度は、Poisson 分布に似ている事。視界は数 10 m の猛吹雪の時でも、毎秒、数ミリ sec の割合で、殆んど減衰されない光が届く瞬間が混じっている事。雪の密度が或る値よりも少しでもふえると、人間の視界は急に悪くなるらしい事。等々である。

今回は、特定の事を細く数量化するよりも、存在する種々の現象をおおまかにつかむ事を主眼としたが、数量化について次の様な見通しを持っている。第一の現象は、雪の落下中に於ける random walk について、第二の現象は、光の伝播のさせ方について、第三の現象は人間の視覚について、それぞれなんらかの数量化と結びつくであろうと云う事である。

2. 考 え 方

2の1 考えの基本

雪が降っていなければ光が届く距離でも、一定以上の雪が降れば届かなくなる。しかし、「どんなに猛烈に雪が降っていても、根気よく長時間光を送り続けさえすれば、光が届く様な瞬間が稀には生じる」と云う考えは、100 個の dice を振る場合、100 個とも 1 の目が出る確率は極小ではあるが、ゼロではないと云う理屈と同類のものである。なぜなら、伝播中の beam 内に含まれる雪片の数が大部分の時間 100 個前後であるとしても、たまの瞬間にはゼロ個にもなり得る事が、雪の降り方に random 性を付与すれば出て来るからである。直感とも云うべきこの極端な考えは、次の様に緩和される。即ち、一定の強さの光を送り出し続けても、伝播路が降雪中の大気であれば、受信側には種々な強さの光が届けられる事になり、この届けられる光は種々な強さとそれが届けられる頻度の関係の中には、雪の降り具合に関する情報が含まれて

いる、となるのである。

そこで、“受信される光の強さとその頻度”と“雪の降り具合”についての関係を少し確かめて置く事から始める事にした。

光の減衰を、雪に起因するものとそうでないものとの二つに先ず大別する。前者を α で示めし、後者を β で表わす事にする ((1) 式参照)。伝播さるべき光 beam の横断面が余り大きくないとするれば、 β は概ね時刻 (t) と位置 (z) だけの関数と考えられる。但し、 z は beam の進行方向に取った軸である。 α は各雪片の諸特徴によって決まる減衰係数であり、次の様なものが考えられる。即ち、雪片の大きさ・形・湿度・誘電率等々の雪片自身の特徴と並びに、beam に対する雪の向きや、beam の中央を横切るか、それとも端の方をかすめて通るだけかと云った beam との関係の両方に左右されると考えられる。

そこで、 α を左右する factor の各々を軸とする多次元空間を考え、その 1 点は w で示めされるとする。更にこの多次元空間に $f(t) \rho(w)$ なる密度分布を与える。この事は、時刻 t に、減衰係数 $\alpha(w)$ を持つ雪片が beam の中に $\rho(w) dw$ だけあると云う意味に過ぎない。こう云う風にすれば、 A_0 なる直流光を降雪時の大気の中へ送り出し、それを受信すれば、その強さは厳密には、

$$A(t) = A_0 e^{-\left(\int_0^t \beta(t, z) dz + f(t) \int_{-\infty}^{\infty} \alpha(w) \rho(w) dw\right)} \quad (1)$$

と表わされる事になる。

実際問題として、 β と時刻 (t) との結びつきは f と t とのそれよりもずっと弛やかであろう。即ち、beam を横切る雪片の数がせっせと変わる程には、大気自身の減衰定数は変らないであろう。そこで、(1) 式の肩の第 1 項は定数と見なし、第 2 項だけを問題とし、雪自身の特徴と減衰係数 (α) を直接結びつけようとする micro な試みが生じる。又、第 2 項の方の時間平均だけを問題とし、更にそれを距離でならし、(1) 式の肩を l だけにして扱ふところのどちらかと云えば macro な手法も存在する。両者の中間の形と云える

$$A(t) = A_0 e^{-\alpha_0 N(t)} \quad (2)$$

なる形を基に、実験をみてみようとするのが、この種の実験に於ける我々の手法上の特徴の様である。($N(t)$ は beam 中の雪片の数)。

(1) 式を (2) 式で代用するには、統計物理学等で良く知られている次の様な考えを前提にしさえすればよい。

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \rho(w) dw = f(t) g_0 = N(t) \quad (3)$$

と記号を定め、更に、

$$\alpha_0 = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \alpha(w) \rho(w) f(t) dw}{\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \rho(w) dw} \quad (4)$$

によって α_0 を定数しておけば,

$$f(t) \int_{-\infty}^{+\infty} \alpha(\omega) \rho(\omega) d\omega = \alpha_0 N(t) \quad (5)$$

と出来るわけである。この意味は、実際には、大小雑多な雪片の総合的な効果を、各時刻の雪片の頭かづでならし、雪片の数の方は時間で平均せずに、時刻の関数のままで残してあると云うに過ぎない。即ち、各時刻に beam を横切ったりかすめたりする雪片の数は実際通り $N(t)$ として扱おうが、本当は各雪片毎に異なる減衰への寄与は平均して α_0 として扱おうと云うだけの事である。

2の2 見通し

考えの基を上記のように定めると次の様な若干の予定が立てられる。

beam を横切る雪片の数 (N) は時々刻々変わるわけであるが、雪の落下速度、beam の幅及び関与する雪片の平均的な数等を考慮しつつ、適切な時間 Δt を考えれば、その間では $N = \text{const}$ と考えられるのは勿論である。この様な Δt で random な sampling をしてやれば、 A の値に関する何らかの分布が得られるのは当然であろう。この分布の形は、 \bar{N} ($N(t)$ の時間平均) が余り大きくなければ、Poisson 分布に近かろうし、 \bar{N} が大きい所では正規分布に似て来るであろうと予想される。この辺の事情をモデル化したのが第1図である。

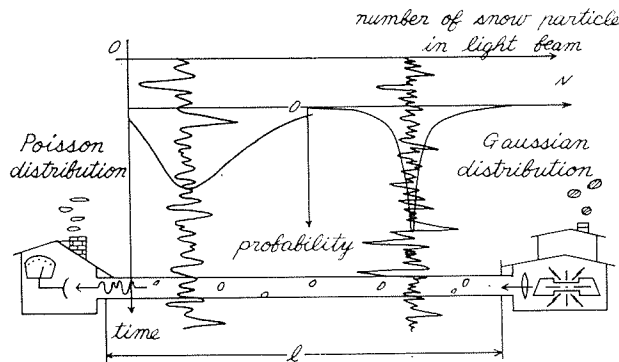


Fig. 1. Outline of our experiment and expectation.

正規分布でも Poisson 分布でも扱い方は、全く同様にすれば良いから、ここでは後者について述べておく。受信側での λ 力が

$$A(t) = A_0 e^{-\alpha_0 N(t)}$$

で与えられるわけであるが、この $A(t)$ を適当に sampling すれば、相当する $N(t)$ の値が k 個である確率が

$$P(k, \lambda) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \quad (6)$$

で与えられる事になるだろうと云うのが予想である。従って、 $N(t)=k$ の時の $A(t)$ の値を

$A(k)$ と書く事にすれば, $A(k)$ なる値が受信される頻度は $P(k, \lambda)$ に比例する事になる。即ち, $A(k_1)$ 及び $A(k_2)$ の頻度の比を $r(k_1/k_2)$ と表わす事にすれば,

$$\begin{aligned} r(k_1/k_2) &= \frac{P(k_1, \lambda)}{P(k_2, \lambda)} = \lambda^{k_1-k_2} \cdot \frac{(k_2)!}{(k_1)!} \\ &= \lambda^{\frac{1}{\alpha} \log \frac{A(k_2)}{A(k_1)}} \cdot \frac{\left(\frac{1}{\alpha} \log \frac{A_0}{A(k_2)}\right)!}{\left(\frac{1}{\alpha} \log \frac{A_0}{A(k_1)}\right)!} \end{aligned} \quad (7)$$

の様なものになるであろう。ここで, $A(k_1)$, $A(k_2)$ 並びにこれらの頻度の比 $r(k_1/k_2)$ は受信側での観測量である。そこで適当な三つの A の値についてその頻度を観測し, (7) の様な式を3本作り, それらを連立してやれば, 相当する α , λ , A_0 等が求められるわけである。

今回は, \bar{N} が大きくない所での A の値の頻度が Poisson 分布になるのかどうかを先ずははっきりさせる点に, 実験の眼目を置いた。これさえ確かめられれば, 上の様な方法で A とその頻度を観測すると同時に, 雪の粒子の分布や降水量の測定をする事により, 両者の関係をつける事が出来るようになる。又, この方法で両者の関係がつけば, どの程度の降りの雪の時には, どれ位の距離の伝播ならば, 光 beam の横断面をどれ程にして送れば, 光が途絶える事なく受信されるかの確率計算等が出来るようになるだろう。なぜなら, 横断面をふやす事は, dice の例えて云えば試みの回数をふやす事にも相当するからである。

3. 予備的実験

降雪時の大気中を一定距離伝播させ, 然る後に, その光の各強度の値と頻度を検出すると云うだけの原理であるが, いざ実験となれば, 次の様な色々な心配をしなければならない。

- ㉑ 光は一般に末広がりになるが, その結果検出器の検出能力の下限を越えてしまいはしないか。光源と検出器の特徴は, 伝播距離にどんな制約を加えるのか。
- ㉒ 伝播する距離が短かければ雪による減衰は小さく, 長くなれば大きくなるが, 各種の noise に埋もれぬ程度に大きく, 且つ検出器の下限を越えない程の変化をさせるにはどの程度の距離をどんな太さの beam で伝播させたらよいか。
- ㉓ 1口に降雪時と云っても種々の降雪状態がある。粉雪もあればボタ雪もあるし, 小降りもあれば吹雪もあるし, 可成りの時間一様に降る事もあれば, ひっきりなしにその降り方を変える事もある。これらは, どんな手段によって区別するのか。
- ㉔ どんな太さの beam を, どれだけ伝播させれば (即ち, beam が大気中でどれだけの体積を占めれば) 検出側での入力の値はどんな周期で変化するのか。即ち, 雪の密度や落下速度による変化は如何なるものなのか。更に又, どんな検出の仕方をすれば, どんな風に見えるのか。

等々の問題をかたづける予備実験から始めなければならないのは, 実験の通例で, 致し方ない

事であろう。

3の1 光源と検出器

④の問題は、検出器と光源の関係の問題であり、検出器の直線領域・雑音及び光源の強さ・その拡がり・雑音等がポイントになる。

更に、⑤の問題とからんで、検出器の周波数追従もはっきりさせなければならない。光源には種々検討の結果 He-Ne gas laser に丁度よいのがある事が判明した。検出器としては photo-tube に自動記録装置を接属して使用出来れば都合がよかったのだが、oscilo-graph も高速度レベル計も周波数追従の点で都合がよくなかったので、結局 memory scope を接属する事にした。この場合の連続記録は、最大 10 秒間でしかなく、分解能の制約から、更に 1/10 位になってしまうが、手際よく写真にとって逐次保存してゆく方法しか可能でなかった。以下、memory scope と接属した photo-teube と He-Ne gas laser の若干の特性を知るための実験とその結果を述べておく。

● 直接領域

$$7.7 \times 10^{-7} \text{ lm} \sim 5.4 \times 10^{-5} \text{ lm}$$

これは、memory scoper の入力に換算して、0.01~0.7 ボルトであり、次の実験による。 A_0 なる強さの光が減衰係数 β なる媒質を l だけ通過するとその強度は、 $A = A_0 e^{-\beta l}$ に落ちると云う原理に基づき第 2 図の配置で実験し、第 3 図のグラフを得た。即ち、第 2 図の液槽の中に、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ の水溶液 (19°C の H_2O , 30 cc の中に 3 g の硫酸銅) を入れ、 l の変化に共なる photo-tube の出力変化を見たわけである。

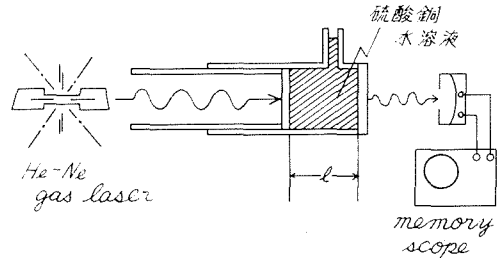


Fig. 2. Bloc diagram of measurement for linear region of photo-tube.

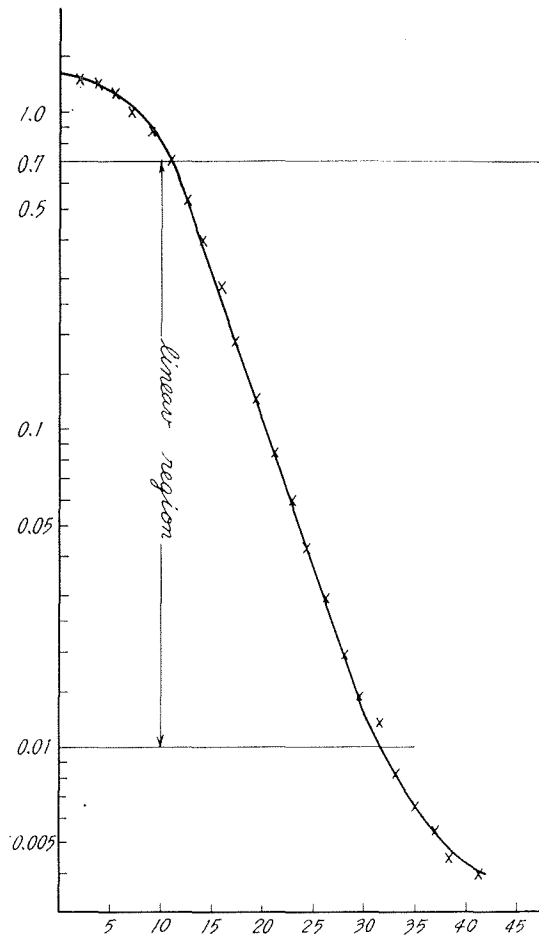


Fig. 3. Linear region of photo-tube. Vertical axis shows the output (solt) of photo-tube, and horizontal axis does the length of attenuating medium

光は、本実験に用いる予定の 6328 \AA を用いたのは勿論である。第3図のグラフにより、この光に対する photo-tube の直線領域は、 $0.01 \sim 0.7$ ボルトの出力範囲である事が判かる。更に、この tube は 6934 \AA の光 3 lm で 10^6 ボルトの相当出力を持ち、波長に関する相対感度特性は S10 であるので、 6934 \AA と 6328 \AA では約 $1:4$ の感度比である事になる。又、tube の負荷抵抗を変える事により絶対感度を $1.4/50$ に落としてあり、且つ又、金属干渉 filter (6328 \AA を 40% 透過) と VR-604 ガラス filter (6328 \AA で 90% 透過) を併用していた。これらの事を皆考慮して若干計算してやれば、この photo-tube の直線領域は光量で $7.7 \times 10^{-7} \text{ lm} \sim 5.4 \times 10^{-5} \text{ lm}$ である事が判明する。但し、この光は直径約 1 cm に広げた beam のものであるから照度に換算すれば、約 $0.01 \text{ lux} \sim 0.7 \text{ lux}$ と云う事になる。雑音は、memory scope 入力で 0.005 ボルト程度である。

● 出力・拡がり・照度・SN比

これらは順に、 $1.6 \times 10^{-3} \text{ lm}$ 、 40 秒、 70 lux 、 20 と云うのが結果である。光源としては、He-Ne gas laser を用いたが、これの波長は 6328 \AA であり、諸特性は上の様であった。第3図はこの光を用いて得たものであるから、その直接部分を延長し縦軸との交点を求めれば、約 20 ボルトと出るが、これは $1.6 \times 10^{-3} \text{ lm}$ の光に対する photo-tube の相当出力である。ただし、第3図を得る実験では二枚の filter が入っていたが、それを考慮しての概算である。

拡がりに関しては、実際に 160 m の距離で in door 実験を行なって得た。laser は両面とも外部 mirror であるが、出力を取る方の mirror の後方 1.15 m の点に焦点距離 1200 mm の凸レンズを置く事により、 160 m 離れた点で beam の幅を 35 mm に出来る事が判かった。更に、レンズの位置で beam の幅が約 3 mm である事から拡がりは約 40 秒である事が知れる。

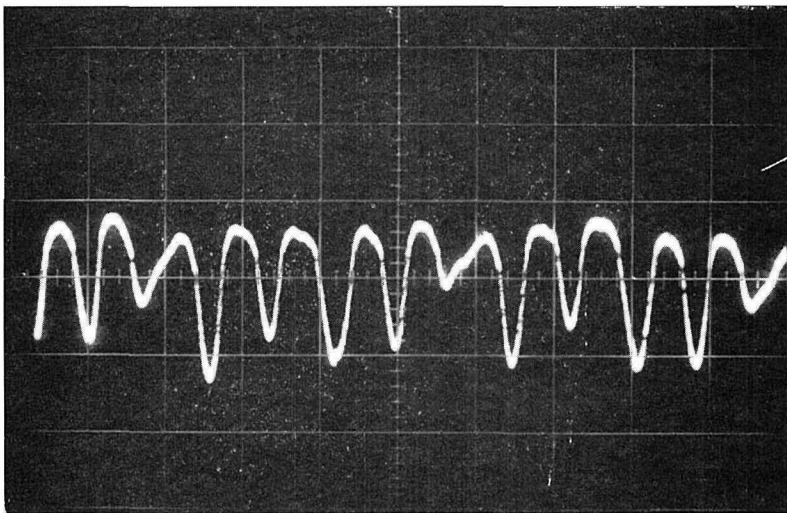


Photo. 1. Noise of He-Ne gas laser.
vertical axis is $5 \text{ m sec/one section}$, and horizontal axis
is $0.005 \text{ volt/one section}$.

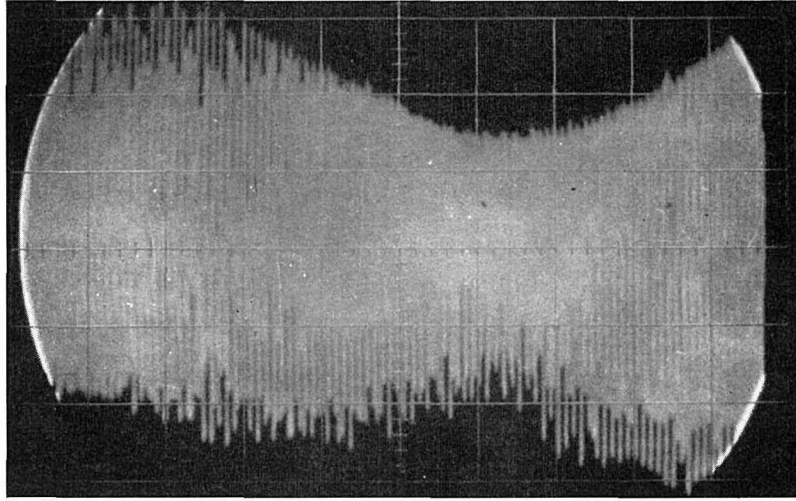


Photo. 2. Noise of He-Ne gas laser.

Vertical	0.001 volt.
Horizontal	200 m sec.

更に、この laser は、mirror の前方 50 mm の所にある点光源に相当すると考えて大体さしつかえない事も判かった。照度は、mirror の後方約 1 m の点で、beam の幅が直径 3 mm で、その出力が 1.6×10^{-3} lm である事から、大体 70 lux 程度である事になる。noise については余り良い写真とは云えないが、一応、写真 II として示めてあり、SN 比は 20 位である。

以上、二つの予備実験からは、④について次の事が保障された。即ち、photo-tube の受光面積が約 π cm² であり、その直線領域の上限が 5.4×10^{-5} lm である事と、laser の拡がり角が 40 秒であり、その光量が 1.6×10^{-3} lm である事から凡そ 600 m 伝播させると、 π cm² の光量が 5.4×10^{-5} lm になる事が知れるのである。実際には外部雑音を除くために 6328 Å の透過率 40% の金属干渉 filter と UR-60 (透過率 90%) のガラス filter を並用しなければならないので凡そ 200 m の伝播で photo-tube 入射光量は 5.4×10^{-5} lm になるのである。結局、一口に云って、光源と検出器による制限からだけ考えれば、200~400 m 位の伝播が最適と云う事になる。

3の2 雪の平均的減衰係数

⑤の問題は、光源と検出器を除外すれば、伝播中の beam が占める体積と、雪の密度及び雪片 1 個の減衰係数との関係で決まるわけであり、先ず雪片 1 個の減衰係数に当たりをつける事から始めた。

この目的の為には、beam の中に同時にいくつもの雪片が入らないような距離を視覚により見当づけ、第 1 図の配置で $l=15$ m として実験した。その時の光の減衰の様子が photo 3 と photo 4 である。

photo 3 の pulse がなめらかに繋がっている事が、この pulse の原因となった beam を横切っている雪片の数が単数である事の証拠であると判断した。そして、後にもっと長距離 (従

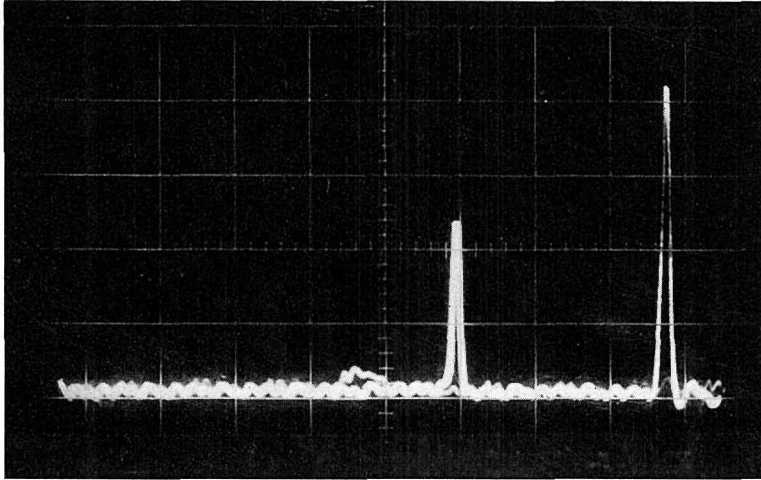


Photo. 3. Pulse caused by only one snow particle in light beam.
Look at smoothness of a pulse.

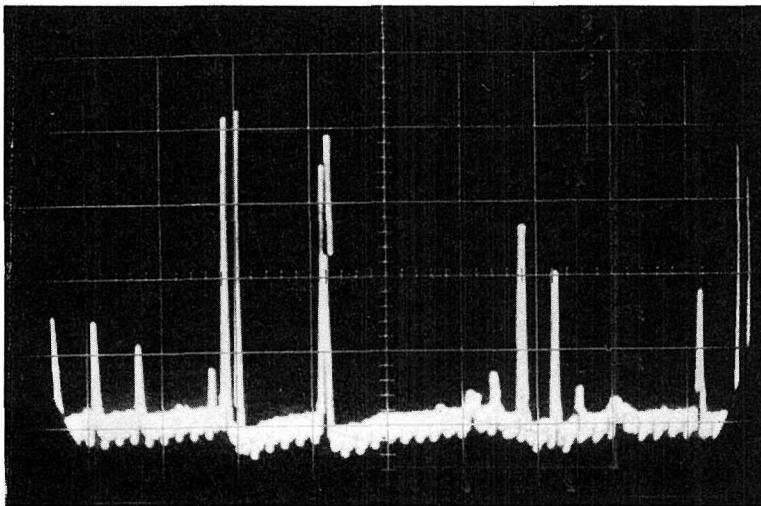


Photo. 4. Pulse train caused by every snow particle, which is used for examination of average attenuation const.

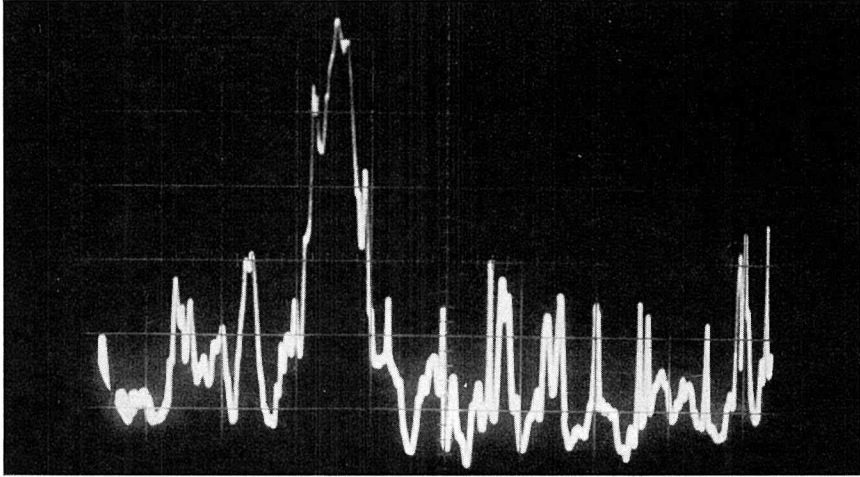


Photo. 5. Typical pulse caused by plural snow particles.

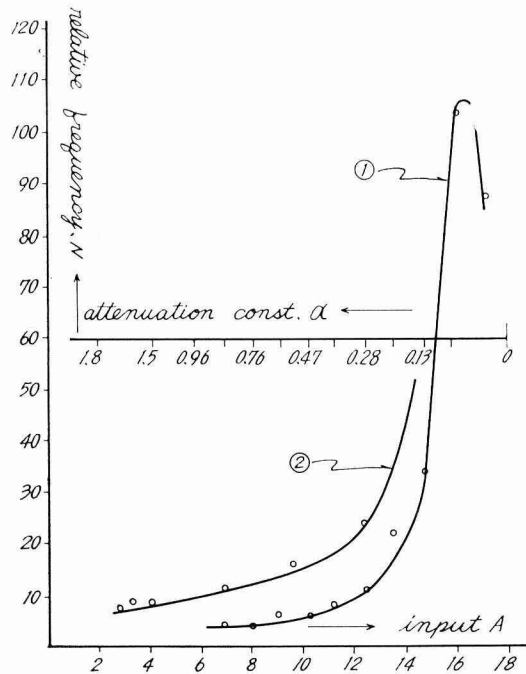


Fig. 4. Relative appearance frequency of snow particle with attenuation constant α .

がって beam を横切る雪片の数もふえるはず) 飛ばした時に得られた photo 5 によってこの判断の正しかった事が明らかになった。pulse の高さの違いが、雪の個性 (特徴・形・大きさ・等) や beam との関係の違いによる減衰係数の違いの現われであると判断された。そこで photo 3 の様な写真を多数撮り、その高さと頻度との関係を調べたのが第 4 図である。実際には、film と手間を節約する為に掃引時間をずっと遅くして撮った。その一例が photo 4 である。第 4 図の

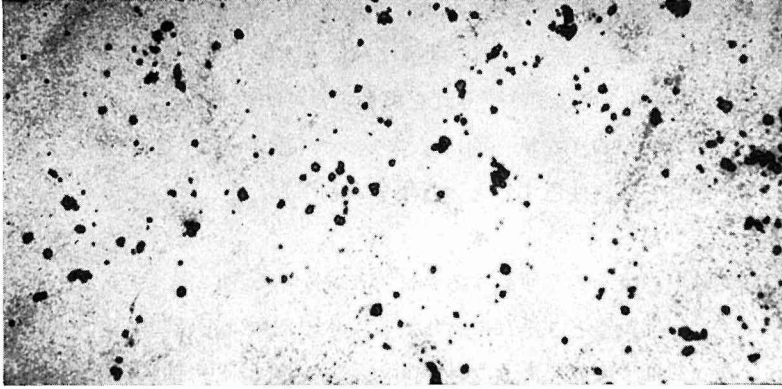


Photo. 6. Distribution of diameter of snow particle (full size).

グラフには $A = A_0 e^{-\alpha}$ によって memory scope の入力 A を対応する減衰定数 α になおしたのももそえてある。但し、この実験の時、laser の出力が photo-tube の直線領域を越えている事が後になってわかったので、第3図を用いて補正した。こうして作った第4図をもとに、 $\bar{\alpha} = \sum Ni\alpha_i / \sum Ni$ によって $\bar{\alpha}$ を求めると、曲線①からは 0.17, 曲線②からは 0.49 と出る。但し曲線②は photo 6 の様な雪片の大きさの分布のものである。

3の3 雪の密度

雪片1個の平均的な減衰係数が判かっても、体積当りの雪の密度が判からなければ、どれ程の距離で伝播実験をやれば適切なか明らかにならない。なぜなら、beam 中に含まれる雪片の数が多過ぎると、減衰されすぎ観測にかからなくなるからである。そこで密度が必要となり次の様に概算した。

photo 4 の横軸が one section 当り 0.1 秒である事を考えると、beam を横切る雪片の数が毎秒 15 個前後である事が、この種の写真から判る。又、photo 3 の横軸が 10 m sec である事から、pulse の幅は約 7 m sec である事が判かる。即ち、雪片が beam に入って出るまでに要する時間が約 7 m sec である事になる。この事と beam の幅が約 5 mm である事から、雪の落下速度は凡そ 1 m/sec と算出される。これらの事から、beam の縦断面を紙面とし高さが 1 m の直方体に凡そ 15 個の雪片が入っていた事になる。こうして、雪の密度は約 200 個/m³ となるのである。この時の降りは視覚的に中程度の降りであった。そこで、200 m 伝播させる時の beam の体積を、紙面が π cm² の円錐形であるとすると、その中には約 4 個の雪片が存在すると予想される。勿論、雪の降り具合(小降りであるとか吹雪であるとかの)により、beam の中に入っている雪片の数は異なるが、雪片の数が少ない場合の分布を調べるには、100~300 m 位が適当である事が判かる。光源と検出器 (gas laser と photo-tube) の関係から適当と考えられた 200~400 m とうまく合致してくれた。

3の4 降雪状態の区別

雪自身の特徴についての区別のうち、誰にでも、且つ手つ取り早く出来る方法は、粒の大

きさの分布と降水量との測定であった。本年は、今後の長期的な実験への見通しを立てられるだけの data が取ればよいと考え、細い区別は今後の課題とする事にした。降水量の測定法は、一定面積に、一定時間、雪を受けてそれを秤量するだけである。粒の大きさの分布の方は、water blue と云う色素の微粒子を紙一面になすりつけて置き、降って来る雪をそれに受けると、雪の当たった部分だけ青色に変色すると云う現象を利用した。こうして得た写真が photo 6 である。

以上の予備実験の内容をみやすくする為にグラフを第 5 図に作ってある。beam の体積は円錐形に近いので、伝播距離と、それに含まれる雪片の個数は正確には比例しないが、目安にするには、図の様な対応で充分であろう。filter が UR-60 と金属干渉単色 filter を用いた場合(第 5 図はこの場合が書いてくる) 第 5 図から知れる様に、photo-tube の直線領域に合うのは、300~350 m であるが、場所の関係から直線領域から若干はづれた点に A_0 があるような距離で実験し、第 3 図を用いて補正する事にした。雪の密度や、雪片 1 個の平均的減衰係数の値は決

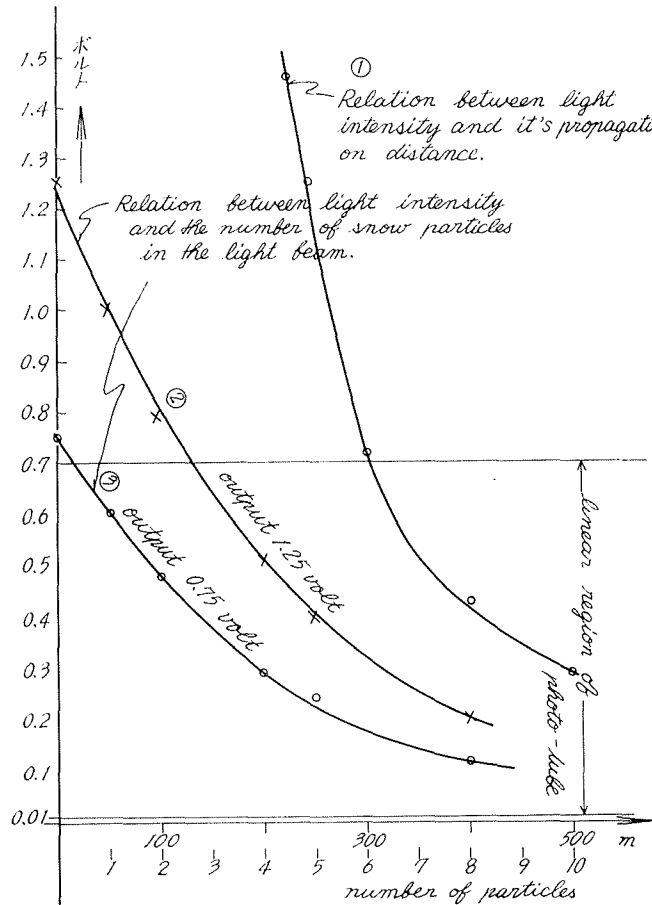


Fig. 5. Relation between characteristics of apparatus and that of snow in atmosphere.

して精密なものではないが、限られた装置で、目的とする伝播実験をするに必要な知識としては、ほぼ充分と云えるものであった。

4. 伝 播 実 験

視覚による降雪状態の違いと、それに対応する光の減衰の様子を写真7から12までに示めた。7と10は小降り、8と11は中降り、9と12は吹雪と見えた時のものである。写真の

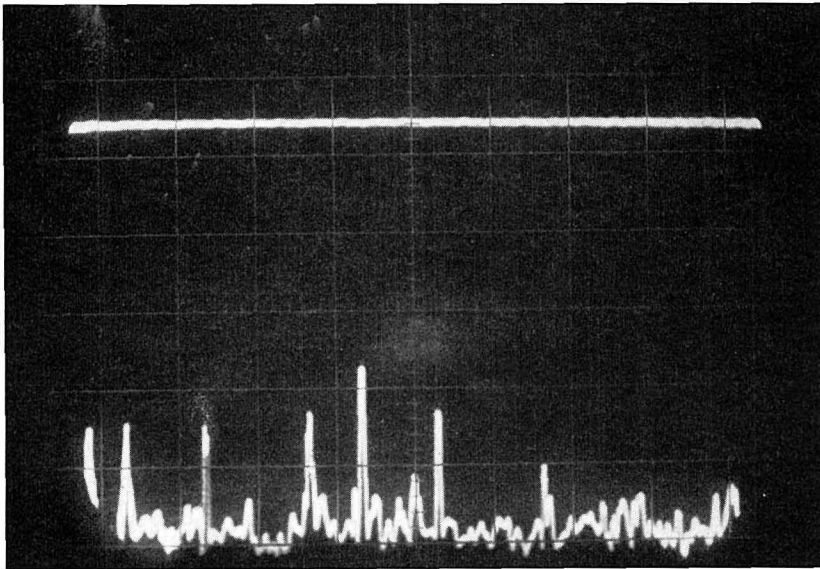


Photo. 7. 小 降

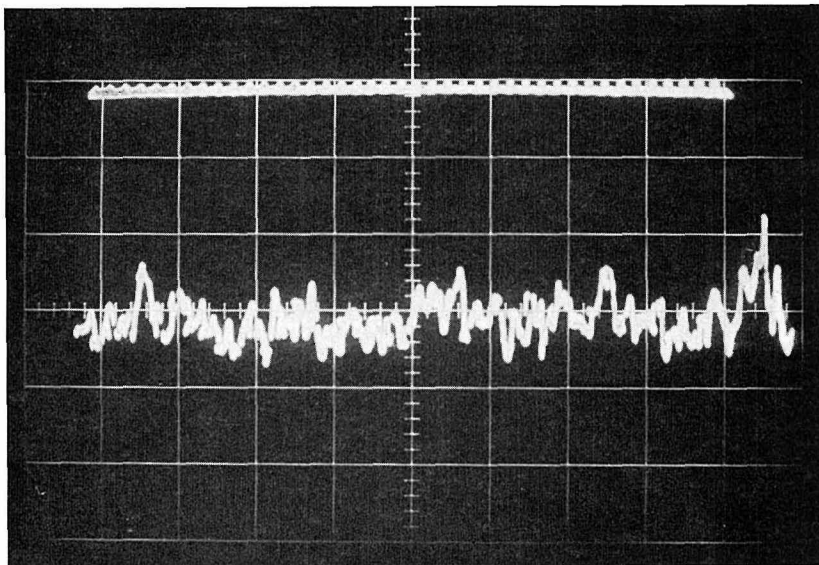


Photo. 8. 中 降

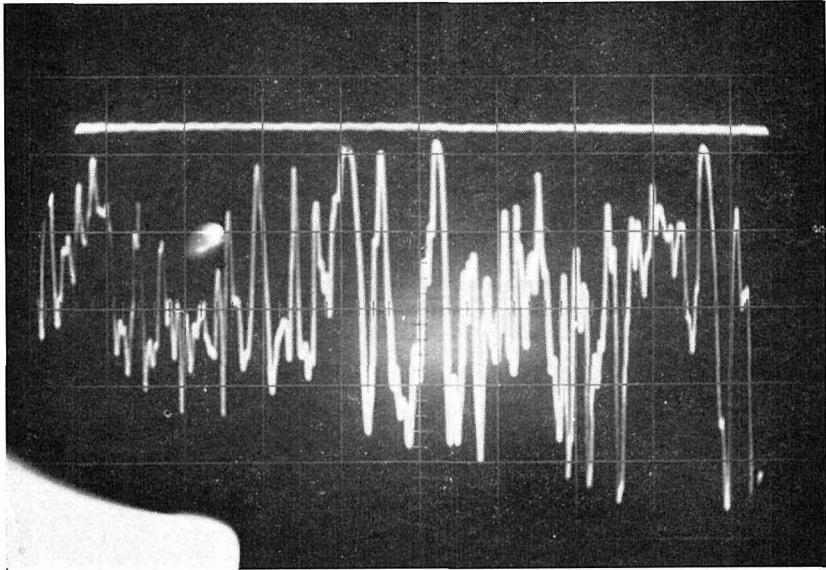


Photo. 9. 吹雪

降り方が激げしくなるにつれて，減衰が激げしくなる様子が分かる。

上部に出ている直線が，photo-tube の入力ゼロの基準線である。7, 8, 9 の写真に於いて，降り方が激げしくなるに従って，光の平均値が低い方（写真の上部）に移動している事がよく判る。

写真8, 9 に於いては，平均値の上下に同じ様に山が分布しているが，写真9 に於いては，山は上側に多い。これは光源の光が殆んど減衰されずに，受信側にとどく程度の雪しか降っていない事によるものと解せられる。即ち，写真7 の場合には，極く小さな雪片がほんの少

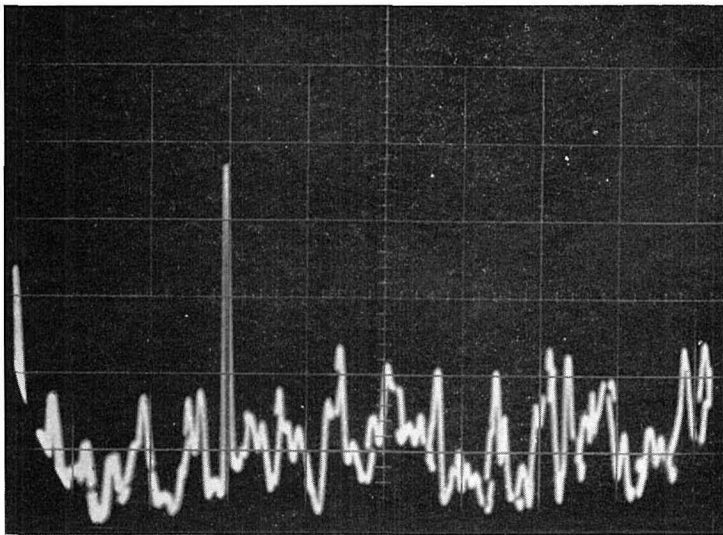


Photo. 10. 小降

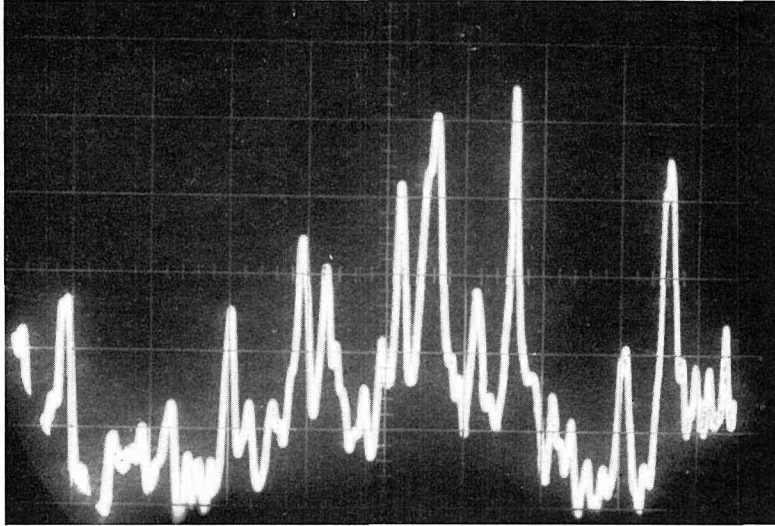


Photo. 11. 中 降

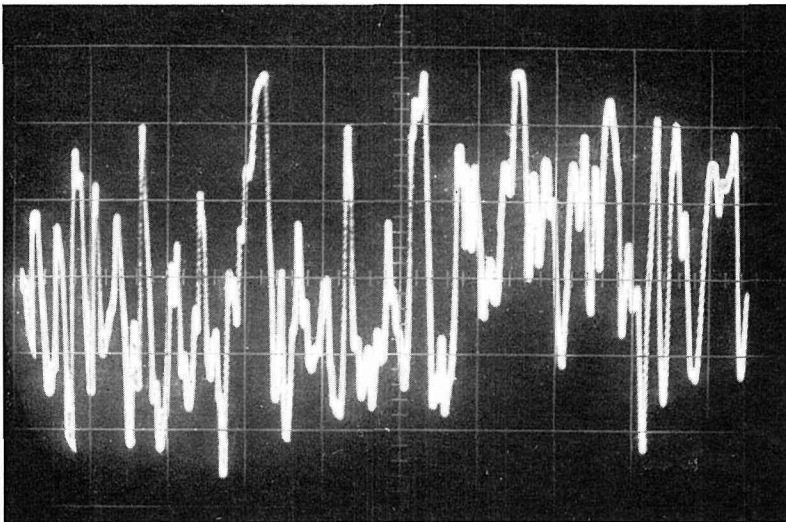


Photo. 12. 吹 雪

吹雪の時にも、殆んど減衰なく光が届く瞬間が混在している事がよく判る。

し、beamの中に入っている時間が大部分で、時々大きな雪片が一つ入ると考えられる。時々出ている大きな山が、なめらかである事から、写真3, 5の説明の時の理屈が成立しているのであろう。

7~12までの写真の横軸は全て同一で、one section 50 m secである。そこで視覚によれば、同じ中降りである写真8と写真11とを較べてみる。写真8の方が周波数が高く、又、平均値からのばらつきが小さくみえる。この様に二葉の写真の間には、明らかな差があるにもかかわらず、視覚的には同じ中降りと感づるわけである。この事情は次の様に説明出来るのではな

いか。

即ち、視覚による小降り・中降り・吹雪と云った判断は、結局、見通し（視界の良し、悪し）の程度によってなされるが、その点では写真8の時と写真11の時とて同じ位であった。写真8に於いて、平均値の上下でのばらつきが小さい事は、beamの中に入っている雪片の数が多く、その粒が小さい事によるのだろう。なぜなら、粒が小さければ（即ち、1個当りの減衰係数が小さければ）数の上で、多少のばらつきがあったとしても、減衰量には差したる違いがあらわれないであろうから。一方、写真11の様な中降りには、beamを横切る雪片の数は余り多くないが、1個当りの減衰係数が大きいわけである。だから、時にはbeamの中に雪が無いような場合も容易に生じるわけであり、又その反対に、光を殆んど完全に遮断してしまうに充分な数の雪が入る事も、写真8の場合よりもずっとしばしば起るわけである。この事から、短い瞬間だけを考えれば、写真11の場合の方が、ずっと遠くまで見とおせてよいはずのわけである。然るに実際には、どちらの場合にも、視界は同程度にしかきかないのである。これは余談であるかもしれないが、人間の眼は、一定時間中の一定時間以上の間、その部分が見えていなければ、たまにその部分が見えても、結局見えないと判定してしまう事を示めているのであろう。同様な事が、小降りや、吹雪きの時についても云える。当然の事ながら、人間の視界を決めるものは、雪の密度と、その1個当りの減衰係数との両方である事が判かる。このあたりの事情を数量的にもっとはつきりしたかたちでつかむ事も今後の課題の一つにしたい。更に又、周波数の違いは、雪の密度や減衰係数の違いによる事もさる事ながら、雪の落下速度にもよ

るであろう。なぜならば、落下速度が速い事はbeamを横切る雪片の出入りが激げしい事に繋がり、diceの例で云えば、単位時間当たりの試みの回数が多い事に相当するであろうから。

さて、色々な降り具合の時のphoto-tubeの入力とその頻度との観測結果を第6図に示めてある。小降り・中降り・吹雪きと降り方が激げしくなるに従って、最大頻度のAの値が、だんだん低い方に移動してゆく様子がきれいにわかる。この図に於ける吹雪きの時の、Aの値とその頻度を $A(k) = A_0 e^{-0.23k}$ によってkとその頻度の関係になおしたのが、第7図に示めてある。但し、 α の値としては、予備実験で得たところの0.17と0.23の間の値をえらん

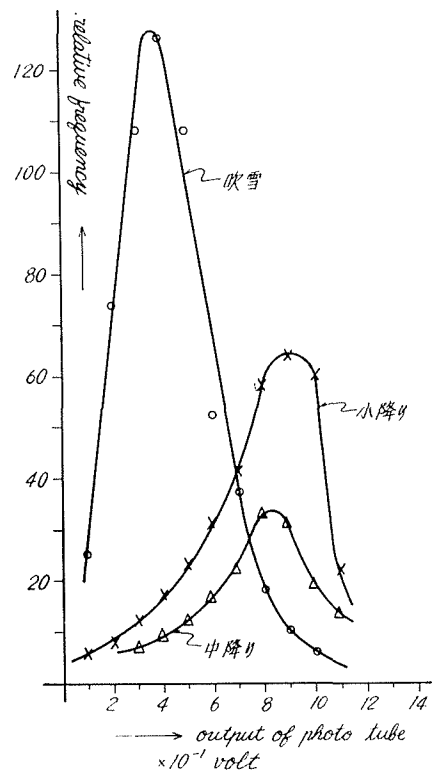


Fig. 6. Relative frequency of input attenuated by snow particles in light beam.

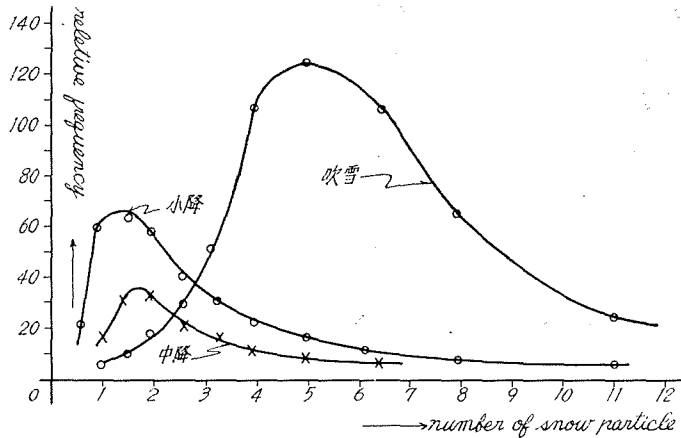


Fig. 7. Relation between snow particles number in the beam and it's appearance frequency.

だし、 A_0 の値としては、受信側での beam の断面積と光源の出力を用いての概算並びに、降雪時でない時の受信側での実際の入力記録及び、第 7 図等を参考にして、1.25 ボルト なる値を用いた。

更に又、この時の A の各値と、その頻度とを記憶させ、誤差 10% 以内で、(7) 式の様な連立方程式を満足する α , λ , A_0 等の値を電子計算機に概算させた結果、 $(A_0, \lambda, \alpha) = (1.24, 4.2, 0.28)$ or $(1.27, 5.8, 0.20)$ or $(1.30, 5.0, 0.23)$ が等が出た。この結果は、もっと詳しく追込みたかったが、時間の制約から果たせなかった。しかし、予備実験で得た平均減衰定数 $\alpha = 0.1 \sim 1.0$ の値や、第 5 図での雪片の数に照らし合わせる時、上の計算結果は満足するのに充分なものと思える。

写真 9 及び 12 から判る通り、吹雪の時でも、殆んど或いは全く減衰されないで光が通る瞬間が存在する事が判り、(7) 式をもとにした第 7 図によりその確率が判かる。この確率は、beam の横断面が同じならば、長さによって異なるであろう。なぜなら、長くなれば beam を横切る雪片の平均が多くなり、dice 投げの例で云えば、1 時に投げる dice の数が増える事につながり all ace の出る確率が小さくなる事を意味するからである。又、長さが一定ならば、横断面を横に増す事は、試みの回数を増やす事に当たり、確率を考慮しつつ横断面を適当に増してやれば、それらの何処か一部は、常に殆んど減衰する事なく通る事になるであろう。

5. あとがき

今冬は、光波の大気伝播と雪の関係と云う長期的な実験計画に対する全体的な見通しを得る事を主要な目的とした。それゆえ、数量的に細い dete を収集する事によりも、存在する現象をおおまかにつかみ訓れる事に重きを置いた。そして次の様な事が判かった。

主要な大きさの雪片の数は、吹雪の時でも 1 m^3 当り数百個と云う order である事。但し、

ここで主要なと云うのは、光の伝播に対する影響の上から云っての事である。雪片1個当りの平均的な減衰量は凡そ0.1~1.0と云う範囲であろうと云う事。小降りとは別としても、中降りと吹雪の時とで、密度の差は案外対した事はない(せいぜい数倍程度である)。即ち、密度がある点から一寸増えるだけで、人間の視界は急激に悪くなると云う事。更に、本実験程度の伝播では、吹雪の時でも1秒間に数ミリsecの割合で殆んど減衰しないで光が通って来る事も判かった。従って、場合により適当な横断面を持たせて伝播させてやれば、その何処か一部は常に殆んど減衰する事なく届かせる事が出来るであろうと推定される。雪の平均的減衰係数・密度・落下速度等と、それに対応する波形(写真8~12参照, Aの値と頻度の関係及び単位時間当りの頻度総数等)との間にある関係を考えられる関係の存在。

これらの現象の存在が、今冬の実験により見いだされた。これら各現象の数量化を目的とする実験計画を立て、今後に備えたいと思う。

参 考 文 献

- 1) Л. Ландау, Е. Лифшиц: 《статистическая физика》 1951.
- 2) W. Feller: "An Introduction to Probability Theory and its Application" 1965.
- 3) 榑原・児玉・金谷・藤木・鈴木: "光パルス位置測定装置". 北海道大学工学部研究報告, 41号, 昭和41年8月.