



Title	降雪による凝結核の荷電率の変化
Author(s)	遠藤, 辰雄; ENDOH, Tatsuo; 上野, 文男 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 32, 1-10
Issue Date	1974-12-14
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.32.1
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14041
Type	departmental bulletin paper
File Information	32_p1-10.pdf



降雪による凝結核の荷電率の変化

遠藤辰雄・上野文男*・孫野長治

北海道大学理学部地球物理学教室

(昭和49年7月11日受理)

Variations in the Charged Fraction of Condensation Nuclei during Snowfall

By Tatsuo ENDOH, Fumio UENO and Choji MAGONO

Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University, Sapporo

(Received July 11, 1974)

It is considered that a part of the atmospheric scavenging effect is caused by the electric property of falling snow crystals. To verify this, observations of time variations in the charged fraction of condensation nuclei were carried out during snowfall in January to March 1972, at Ishikari beach where aerosol concentration was strongly dependent on the wind direction, and at the campus of Hokkaido University which was located near the center of Sapporo city and it is occasionally windless in night time.

The aerosol concentration was measured by a nucleus counter of Gardner type. The outdoor air was alternatively sampled, passing through an electric precipitator with parallel plate electrodes and without passing. The charged fraction was calculated from the pair of these measuring values.

At the beach, the charged fraction of aerosols transported from sea was as large as 0.34 which is larger than that from land. However when a snowfall occurred the value decreased to 0.2. About decrease, it may be considered that charged sea spray particles in maritime air was washed out by falling snow crystals.

In the case at the city, following facts were found. When falling snow crystals were appreciably electrified the charged fraction of condensation nuclei increased in comparison with that before the snowfall. On the contrary, when not electrified, the fraction decreased. These results were qualitatively understood by considering that the capture of aerosols by falling snow crystals by Coulomb's and image attractive forces.

* 現在：北海道生活環境部

I. ま え が き

降雪による下層大気の自浄作用 (すなわち wash out) は著しく、その要因の一つとして降雪の持つ電荷の役割が考えられる。その理由として、雪結晶は雨滴に較べ一般に荷電量が大きく、形状が鋭く尖っていることのため表面の電場が強い。また落下速度が小さいため影響時間が長いので更に大気中の汚染粒子に対して雨よりも効果的に作用することが考えられる。但し固相であるため雨のような溶入については小さいと思われる。この効果を調べるため降雪時の凝結核とその荷電率の変化を他の大気電気の要素と平行して求めてみた。

II. 観 測

測定は大田 (1950) の方法に従い、Fig. 1 のようにつないだ分流器により空気をまず外から直接カウンターに引き入れ、全凝結核数密度 N を求める。次に再び外から平行平板コンデンサー内にポンプにて充分、引き入れ電圧をかけて一定時間静止させ、 $1.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec} \cdot \text{V}$ 以上の易動度の荷電核を除き、その残りの一部をカウンターに引き入れ非荷電核の数密度 N_0 を求め、これにより荷電率 F を次の式で計算した。

$$F = \frac{N - N_0}{N}$$

1972年1月から3月にかけて風の変化の激しい石狩海岸と、風の弱い都市大気として札幌において行い、夫々の降雪時の凝結核濃度とその荷電率を求めた。更に他の大気電気及び気象の要素もあわせて記録した。

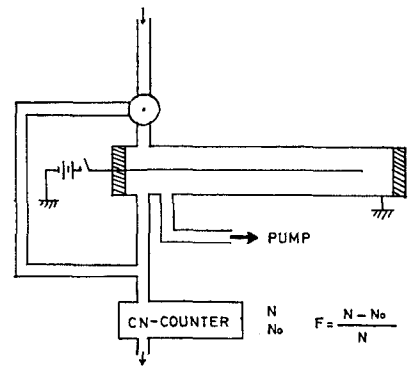


Fig. 1. Measuring system of charged fraction of condensation nuclei (CN).

III. 結果と考察

1. 海岸での結果

石狩海岸での凝結核数及び荷電率の時間変化の例を、Fig. 2, 3, 4 に夫々示す。図の下端は風向と天気を示す。この観測点での海岸線は北東から南西に走っている。したがって北、北西、西の風は海からの風であり、南、南東、東の風は陸からの風に相当する。

図から明らかなように、凝結核の濃度は風向によって著しく濃度が変わり、海風の場合は低く、最小値は 340 個/cc であった。また逆に陸風のときは高く最大 0.8×10^5 個/cc にまで達するのがみられる。しかし荷電率については傾向的な特徴はみられない。それは風向がたえず変化することに加え、降雪の有無が入ってくる上、発生源の変動などいくつかの条件が同時に変動するので、複雑に変化するものと思われる。

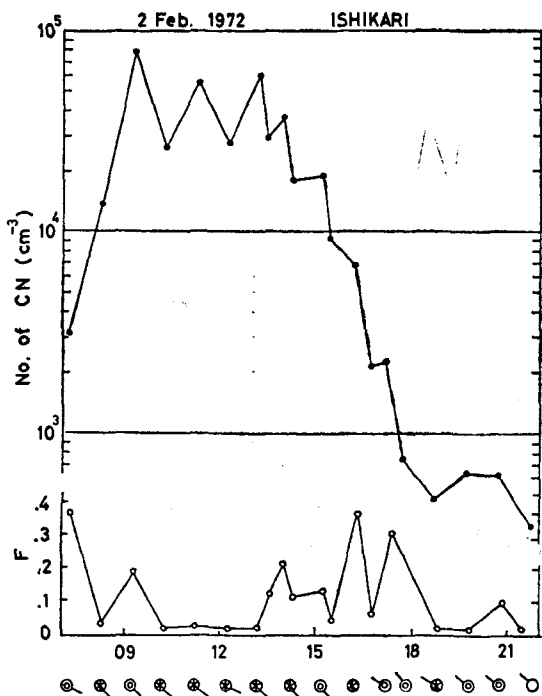


Fig. 2. Time variation of aerosol concentration and charged fraction at Ishikari beach. Lower marks indicate weather and wind direction. Feb. 2, 1972.

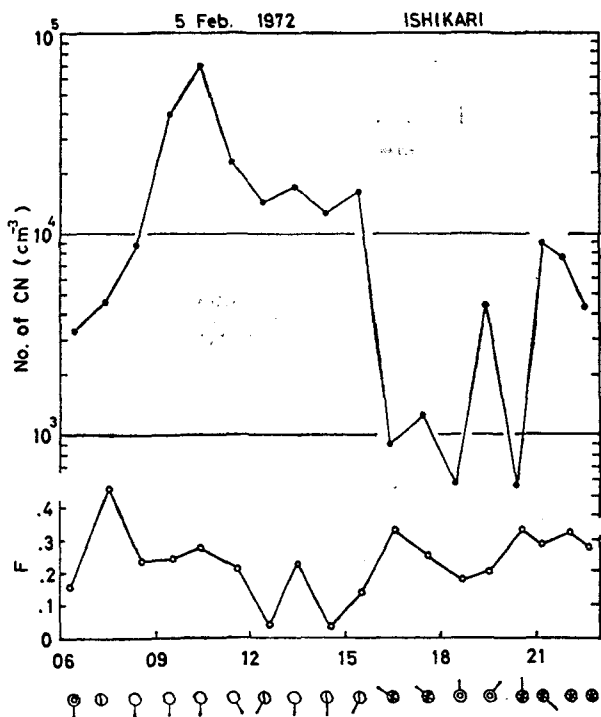


Fig. 3. Time variation of aerosol concentration and charged fraction at Ishikari beach. Lower marks indicate weather and wind direction. Feb. 5, 1972.

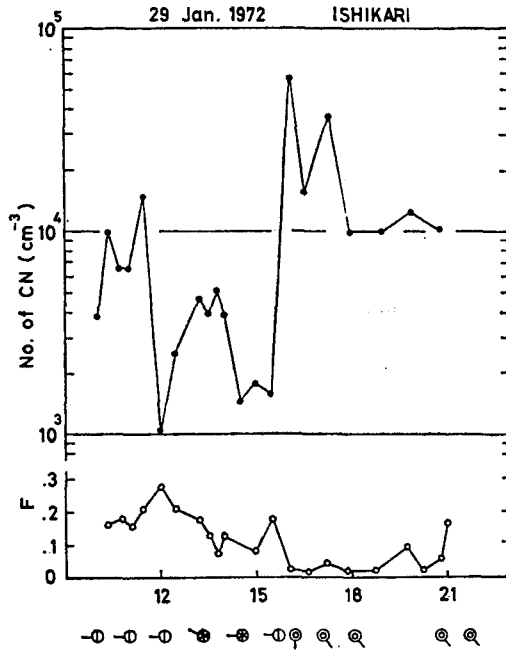


Fig. 4. Time variation of aerosol concentration and charged fraction at Ishikari beach. Lower marks indicate weather and wind direction.
Jan. 29, 1972.

ただ Fig. 4 の 1 月 29 日 1200 から 1500 にかけての降雪では風向は西風ではほぼ変わらずに降雪がある。それに伴って荷電率が下っていくのが注目される。

そこでこれら全例を統計的に扱うことにした。凝結核数密度と荷電率の関係を降雪のある場合とない場合に分け、またその風向を海風と陸風の二つに分けて比較したのが Fig. 5, 6 である。図の縦軸は凝結核数密度、横軸はそのときの荷電率を示し、○印は陸からの風、●印は海からの風の場合である。更に夫々には実際の風向きを示す尾をつけた。Fig. 5 は降雪のないときのもので、Fig. 6 は降雪を伴うときのものである。両図から陸風は明らかに凝結核数密度が高く、海風は低く分かれている。荷電率については海風のときの方が大きくなっているようである。これは SEKIKAWA and KOJIMA (1969) の観測とも一致する。降雪の有無の差はそれ程大きくはないが、これを調べるため夫々の分布を百分位により 18~82% の範囲とその中位値の 50% の値を求めると Fig. 7 のようになる。

図から、降雪のないとき荷電率は陸からの気流より海からのものの方が大きく、海からの代表値は 0.34 ほどである。降雪によるこれらの値の変化は図中矢印で示すとおりで、いずれの場合にも凝結核数密度は風向に関係なく降雪により下る。荷電率は陸からのものについては降雪により変化はないが、海からくる高い荷電率 0.34 が降雪によって 0.2 まで下るのがみられる。これは sea spray による空間電荷が降雪により wash out されるためと想像される。

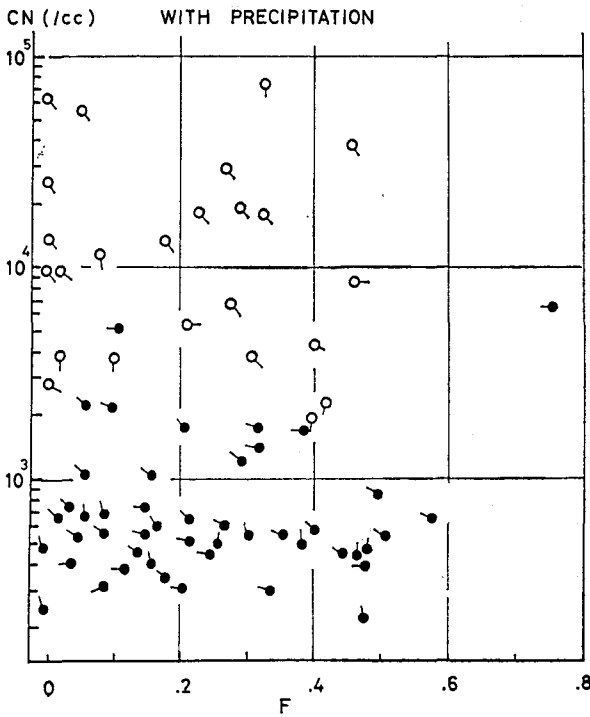


Fig. 5. Correlation between aerosol concentration and charged fraction with snowfall.
Open circles, solid circles and arrows indicate land wind, sea wind, and wind direction respectively.

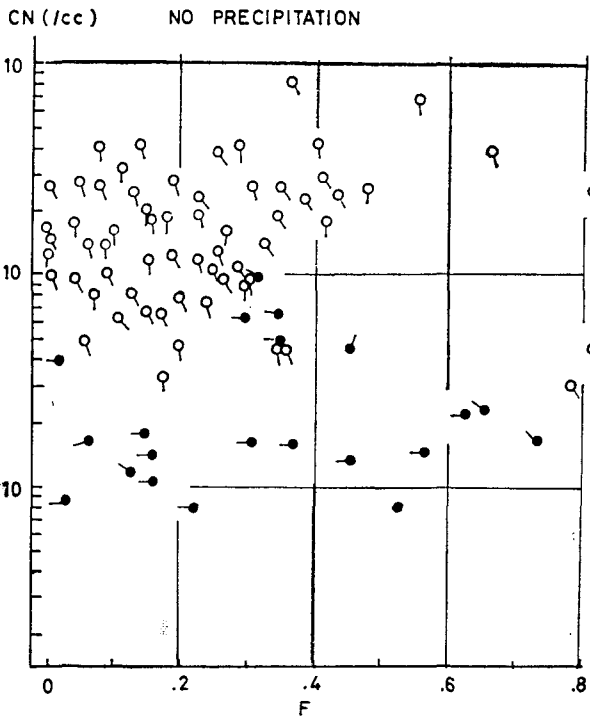


Fig. 6. Correlation between aerosol concentration and charged fraction without snowfall.
Open circles, solid circles and arrows indicate land wind, sea wind and wind direction respectively.

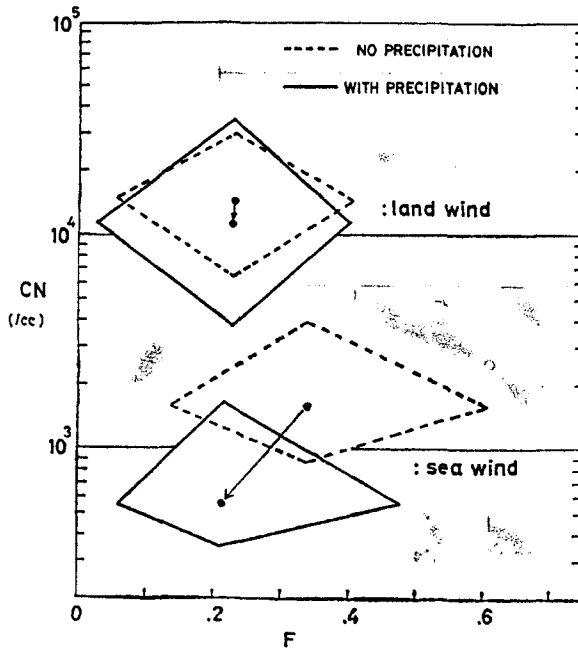


Fig. 7. Statistical description of Figs. 5, 6. Upper 18% and lower 18% were cut off. Arrows indicate the shift of medium values due to snowfall in land wind and sea wind.

2. 市街地での無風のときの結果

降雪のみの効果を調べるため、風のないエアロゾルの発生の一一定した夜半から明け方までの変化を求めた。1972年3月に札幌の北大構内にて得られた測定例を Fig. 8, 9 に示す。これらのときの風速は0~1.5 m/s であり、夜半から明け方までのエアロゾルの発生の落ち着いた時期のもので、降雪のみの効果を知るに好都合な例である。地上は無風であるが、上空の雲は弱い北西の季節風により流され、その降雪尾流が無風な観測点に周期的に落ちる絶好の条件であった。

図の横軸は時刻を示し、縦軸の Q , E , CN , F は夫々降雪電荷、地上電位傾度、凝結核数密度、荷電率を示し、図中 \longleftrightarrow 印は降雪のあった時間を示す。その降雪に伴って凝結核数密度が常にほぼ 1/2 ほどに減少しているのがみられる。荷電率はきわだった変化はみられないが、Fig. 8 では、降雪時の荷電率はその前後に較べて変化しないか、又は多少増加している。それに対して Fig. 9 では明らかに減少しているのがみられる。Fig. 8 の場合の雪雲は電氣的に比較的活性であり、Fig. 9 の方はあまり活性でないことが Q 及び E の記録からわかる。この2例をもとに次の考察を試みた。

降雪粒子とエアロゾル粒子の間の電氣的な力はクーロン力とイメージ力が働くと考え、これらを以下の3つにわけて比較した。

Fig. 10 で (a) は双方が電荷を持っている場合で異符号のクーロン引力が働く。(b) は降雪の

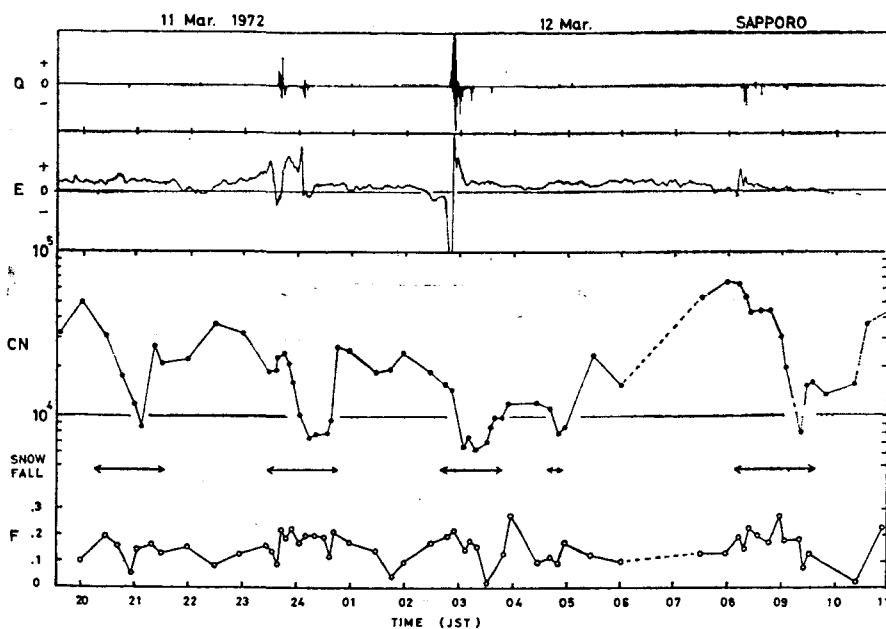


Fig. 8. Time variations of electric charge of falling snow crystals Q , surface electric potential gradient E , aerosol concentration CN , and charged fraction F . Arrows indicate the duration of snowfall. Observations were carried out at the campus of Hokkaido University in Sapporo. March 11-12, 1972.

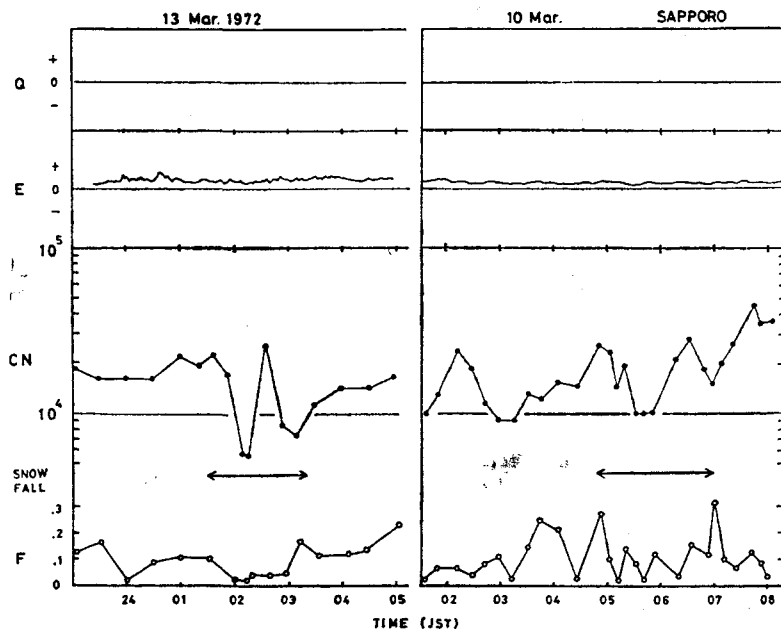


Fig. 9. Time variations of electric charge of falling snow crystals Q , surface electric potential gradient E , aerosol concentration CN , and charged fraction F . Arrows indicate the duration of snowfall. Observations were carried out at the campus of Hokkaido University in Sapporo. March 10, 13, 1972.

みが荷電しエアロゾルが非荷電の場合、(c)は降雪は荷電していないがエアロゾル粒子が荷電している場合を考えた。後の(b),(c)はイメージ力が働く。ここで与えた D, d, Q, q は夫々降雪の直径、エアロゾルの直径、降雪の電荷、エアロゾルの電荷を示し、形は球とみなす。それらには現実にあるような値として、 $1\text{ mm}, 10^{-5}\text{ cm}, 10^{-3}\text{ esu}, 10^{-8}\text{ esu}$ を与え、双方の粒子の距離 R に対して及ぼす力を図の縦軸にとり比較した。なお R は(a),(b)については双方の中心間距離を、(c)についてはエアロゾル粒子の中心から降雪粒子表面まで距離の2倍をとった。図中一点鎖線は、夫々の場合にエアロゾルが雪粒表面に接したときの R を示している。これらからわかることは、 R が 7 mm 以上離れているところではクーロン力が最も強いが、その値は小さく有意な効果を示さない。

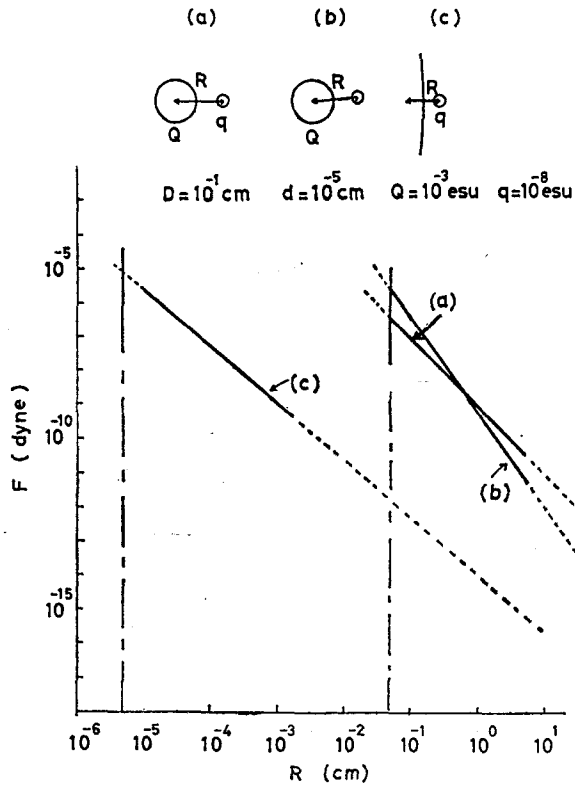


Fig. 10. Comparison of the electrical attractive force in three cases; (a) Coulomb's force between a charged snow crystal and a charged particle in opposite sign (b) image force between a charged snow crystal and an uncharged particle (c) image force between an uncharged snow crystal and a charged particle.

エアロゾルが雪粒のごく表面に近づくと引力は大きくなり、(a), (b), (c)のいずれの場合もその値はほぼ同じオーダーになる。つまり雪かエアロゾルのどちらかに電気があれば、ごく接近した場合には降雪の電気の有無に関係なく吸着してしまうものと考えられる。

これらは重ね合わせられるので現実には降雪に電気のある方がはるかに有効である。

さて、このことに基づいて先の観測結果を以下のように考えてみた。

Fig. 11 に示すように単純なモデルを考えてみた。初めに存在するエアロゾル 4 個の荷電率は 0.5 とする。また正負の平衡がなりたっているとする、4 個のうち荷電しているものは 2 個で、そのうち 1 個は正、他の 1 個は負であり、残りは非荷電核である。そこへ荷電した雪粒と非荷電の雪粒とがきた場合を考えてみる。荷電している場合は 4 個のエアロゾルのうち、非荷電のもの 2 個をイメージ力で引きつけ、同符号の 1 個を残す。つまり 3/4 を引きつけ 1/4 を残す。しかも残ったものは荷電しているので荷電率は 1.0 であり、また降雪電荷と同符号である。荷電しない雪の場合は、非荷電核は引きつけず、荷電核のみがイメージ力で着くので残った荷電率は 0 となる。つまり降雪が荷電していると、エアロゾルの荷電率は 0.5 から 1.0 の方向へ増加し、荷電していないと 0.5 から 0 の方向へ減少する。現実にはこの引力下に入る粒子の割合によりその程度は弱まるので、前者では荷電率が初めより増加し、後者では減少することが考えられる。この考え方は、先の観測事実を説明するのに好都合である。また著者による降雪電荷とその雰囲気の空間電荷の符号が正相関であるという結果は、このモデルの二次の結果とも一致する。更にモデルから電気的な自浄の効果をみると、荷電している雪はイメージ力とクーロン力の和によって最も強い吸引力を持つと共に、吸着の割合も先の荷電率 0.5 のモデルでは、荷電している場合は最大 3/4 まで浄化し、荷電していない場合は最大 1/2 まで浄化するということになり、このことから荷電が自浄に関して有効であることがいえる。

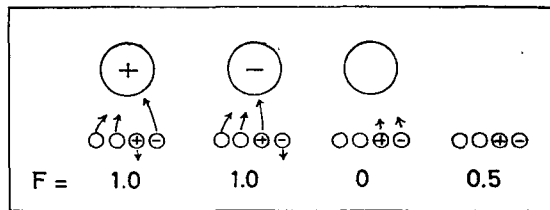


Fig. 11. Schematic model of electrical capture. Large and small sphere correspond to a snow crystal and aerosol particle, respectively. F is resulting charged fraction.

しかし、一方では荷電率そのものは、非平衡である時間が非常に短く不安定なものであることから、測定結果がかなり散漫的で指標としては適当でないという考えもあり、今後再吟味を要する。

また一方では荷電率の変化は平均易動度の変化に対応し、それらは粒径分布の変化に相当する。即ち、荷電率が大きく（小さく）なることは平均粒径が大きく（小さく）なることに相当する。電荷のない雪粒は、流体力学的な捕捉のみで粒径が小さいものより大きいものを捕える。その傾向はエアロゾルの粒径分布を小の方へシフトする。その結果荷電率は小さくなる。電荷の大きい雪はエアロゾルの粒径の小さいものに対して特に効果的に捕捉し、BERG *et al.* (1970) によれば、捕捉率は 1 以上になるとさえいっている。従ってこの場合は、粒径は大の方へシフト

し、その結果荷電率は大きくなる。

このように考えても観測事実を説明することができる。しかし今の資料からはどちらであるか見積することはできず、今後の問題である。いずれにしろ降雪の電氣的効果が粒径の小さいエアロゾルに対して有効であることは、大気自浄の立場では有望である。粒径の大きいエアロゾルは life time (寿命) は短いからである。

IV. 結 論

降雪に伴う荷電率の変化を測定した結果次のことがわかった。

1) 海岸での測定では海からの気流の荷電率は陸からのそれよりも大きく 0.34 ほどであるが降雪によって、それらの差はなくなり 0.2 ほどに下る。sea spray が雪で wash out されると考えた。

2) 降雪のみの効果が現われると考えられる結果から、電荷の大きい降雪に伴って荷電率は増加し、電荷の小さい降雪では荷電率は減少した。これらには電氣的吸引力としてクーロン力の他にイメージ力を考えることにより荷電率の変化を説明することが出来るが、一方、粒径分布の変化が荷電率に反映したとも考えられ、今後の問題として残した。

文 献

- BERG, T. G. OWE, T. A. GAUKLER and U. VAUGHAN, 1970. Collisions in washout. *Jour. Atmos. Sci.*, **27**, 435-442.
- 大田正次, 1950. 太平洋及び日本海における大気凝結核及び非電荷核の測定. 気象集誌, **28**, 357-366.
- SEKIKAWA T. and H. KOJIMA, 1969. Charged fraction and charged equilibrium on the sub-micron aerosol particles in the atmosphere. *Jour. Meteor. Soc. Japan.*, **47**, 329-334.