

# 雷雲における電氣的構造のシミュレーション実験

池田 長康, 北村 岩雄, 富井 淳敏, 小林 満博\*

## § 1. ま え が き

送電系統や配電系統が雷雲の襲来により雷撃を受けた場合、現在も短い間の停電を回避することは出来ない。電力会社を始め、電力関係者は避雷と雷撃の予測に全力をあげている。しかし、現在の観測は地上からであり、より確度の高い予測には雷雲の内部構造や時間的な発達に関する情報を得ることは極めて重要である。にも拘らず、これらの情報は限られたもの以外、殆どないように思われる。しかも、これらを得ようとすれば大規模な地上での観測網と立体的な観測が必要となるであろう。我々はこれら雷雲の電氣的構造に関する情報を実験室内で得られないかと言うことで研究を始めた。しかし、どのように考えればこの雷雲の電氣的構造をシミュレーションする装置が出来るのか分からないが、取り敢えず、塩ビのチャンネルと発泡スチロールの粒子を用い、チャンネル各部に発生する電位で雷雲の電氣的構造のシミュレーションを行うことにした。

## § 2. 実験方法と装置

この雷雲の電氣的構造を調べるシミュレーションの装置は図1に示すように、塩ビのチャンネルの中に霰粒子を模擬した発泡スチロールの粒子を上昇させ、チャンネル各部の電位を測定可能な装置とした。

発泡スチロールの粒子は1) 下部からファンで吹き上げる場合と2) 上部から吸い上げる場合を考えた。

発泡スチロールの粒子は上昇する気流と粒子の重さである高さで平衡状態を保つと考えたが、そのような位置は極めて不安定で粒子は上部か下部に集まってしまった。

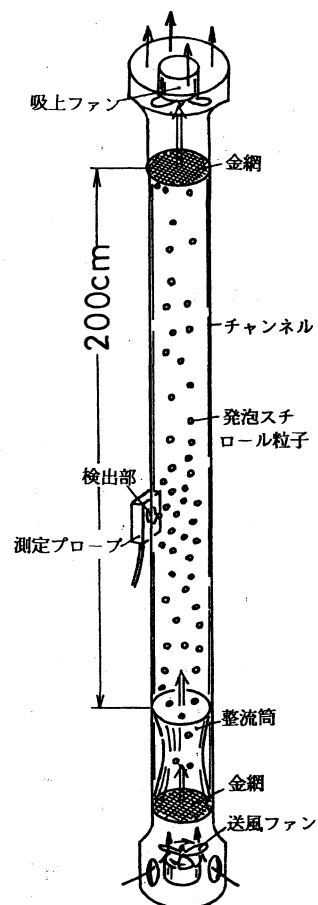


図1

\* 電源開発株式会社

### § 3. 電位の測定方法

最初、塩化ビニールのチャンネルに 3 mm ビスを 5 cm 置きに埋め込み、この電位を振動型の表面電位計で測定した。しかし、電位計が 1 台であるため各ビスの同時測定は出来ず、ある測定点とその次の測定点では測定ビスやチャンネル内側の帯電による影響があり、初期条件を揃えることは難しく、やむをえず、測定を終える毎にすべての測定ビスだけをすべて接地した。しかし、チャンネル内側の帯電によりデータの再現性が無かった。

その後、測定法を種々検討した結果、チャンネルにビスを埋め込む必要は無く、チャンネル外側を接地した濡れタオルで拭くことにより、内側の帯電の影響も無く、ポリスチロール粒子の帯電による電位を測定することが可能であることが判明した。また、これにより初期条件も揃えることが出来ることも分かった。

#### 3.1 測定原理

表面電位計は図 2 に示すように、対象物電位を電位計のプロブの電極を一つの極として、コンデンサー C1 と内蔵するコンデンサー C2 とにより容量分圧し、これを増幅することで測定している。

このシミュレーション実験ではチャンネル内側のポリスチロール粒子の帯電だけでなく、内側が摩擦帯電することによる電位も図 3 (a) のように測定することになる。

ここで、粒子がすべて落ちてしまった後、チャンネル外側を接地した濡れタオルで拭くと図 3 (b) のように、外側は反対電荷が帯電し、電位は現れなくなる。

このような状況で再び粒子を吹き上げると図 3 (c) のように、帯電した粒子の電荷量のみによる電位が測定可能となる。

このようにチャンネルの壁は内側と外側とで電気 2 重層をなし、電気的には遠くまで影響を及ぼさず“透明”となる。図 4 にはチャンネル壁内側における帯電電荷のみによる電位を示す。また、同図の鎖線で濡れタオルで電気 2 重層を形成した後の電位を示す。

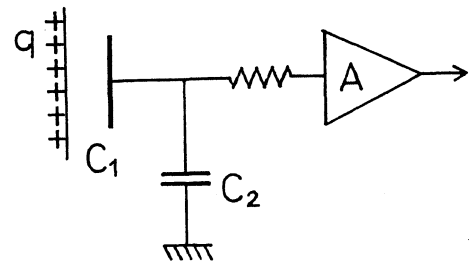


図 2

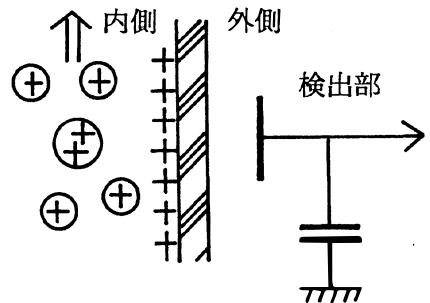


図 3 a)

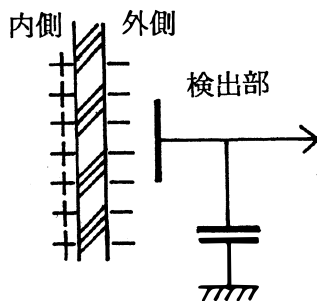


図 3 b)

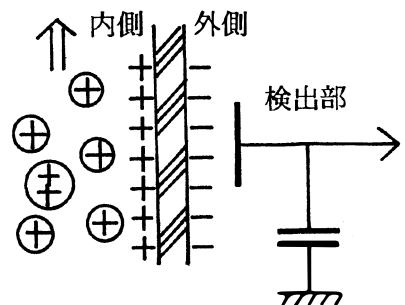


図 3 c)

### § 4. 電位測定結果

衝突摩擦により粒子を帯電させているので、チャンネル材料と粒子の材料によって結果に差異が生じることを考慮し、粒子の材料は発泡ポリスチロールを用い、チャンネル材料には塩化ビニール、アクリルと発泡ポリスチロール粒子を壁に張り付けたものを用いた。

実際の雷雲では比較的低い高度の空気層の不安定性が上昇気流を生じさせていると考えられるので、発泡ポリスチロール粒子を下部からファンで吹き上げる場合につき実験を行った。しかし、この下部からファンで吹き上げる場合、チャンネル内では空気の流は強く回転し、半径の小さなチャンネルでは発泡ポリスチロール粒子と壁とが激しく摩擦していることが観測された。現実の雷雲では上昇気流があっても、別の物質からなる壁が無いのであるから、出来るだけ壁との摩擦を避けたい、このため、上部から吸い上げる場合についても実験を行った。この場合、チャンネル内では比較的上方に流れることが観測された。行った実験は次の通りである：

- (1) アクリルチャンネルを用い、下部から吹き上げる場合
- (2) アクリルチャンネルを用い、上部から吸い上げる場合
- (3) 塩化ビニールチャンネルを用い、下部から吹き上げる場合
- (4) 塩化ビニールチャンネルを用い、上部から吸い上げる場合
- (5) 発泡ポリスチロール粒子を壁に張り付けたチャンネルを用い、下部から吹き上げる場合。

典型的な測定結果として、図 5 a), b), c) に(1)の場合における下部から 5 cm, 15cm, 45cm の位置の電位推移を示す。

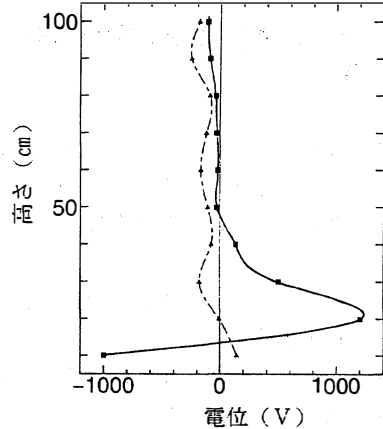


図 4

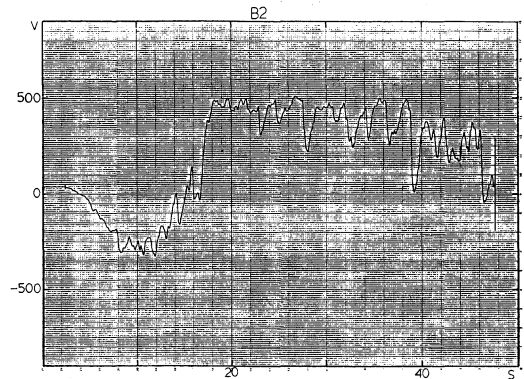


図 5 a)

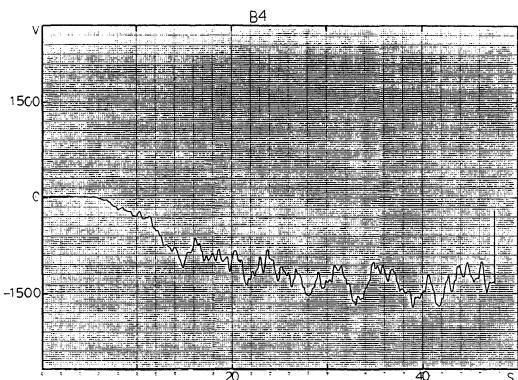


図 5 b)

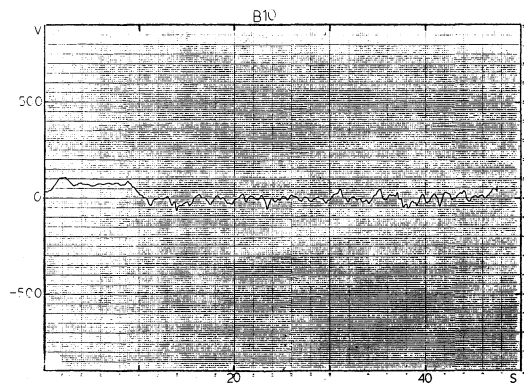


図 5 c)

## § 5. チャンネル各部の電位の時間的推移

雷雲の高さ方向各部の電位の時間的推移に相当し、相似させたチャンネル高さ方向各部の電位の時間的推移について各場合につき、調べた。

### (1) アクリルチャンネルを用い、下部から吹き上げる場合

この場合の結果を図6 a) に示す。始め、10 cm から 30cm が負に帯電し、次第に、10cm 以下が正に帯電する。この正電荷は比較的安定であるが、負電荷は 10cm から 40cm の間で上下に動揺していることが分る。しかし、大体 3 周期のモードである。

### (2) アクリルチャンネルを用い、上部から吸い上げる場合

この場合の結果を図6 b) に示す。始め、直ぐに負に帯電し、これが次第成長し、15cm から大きく負に帯電する。正電荷は(1)の吹き上げる場合に比べ小さいことが分かる。40cm 以上の位置では再び正電荷が現れている。負電荷の動揺は比較的小さく中心に集まる傾向がある。

### (3) 塩化ビニールチャンネルを用い、下部から吹き上げる場合

この場合の結果を図6 c) に示す。始めゆっくり帯電しているが、帯電し始めるとこれが急速に成長し、0 cm から 40cm までの大きい範囲に渡って負電荷が動揺する。と同時に下層に正電荷が成長する。40cm 以上の位置では負電荷が小さく残っている。

### (4) 発泡ポリスチロール粒子を壁に張り付けたチャンネルを用い、下部から吹き上げる場合

この場合の結果を図6 d) に示す。この場合は正負の帯電が細かく分かれており、電荷の集積が明確ではない。しかし、下層には正電荷があり、15cm から 35cm、40cm の位置に負電荷があり、1 m 以上の位置にも主として負電荷が

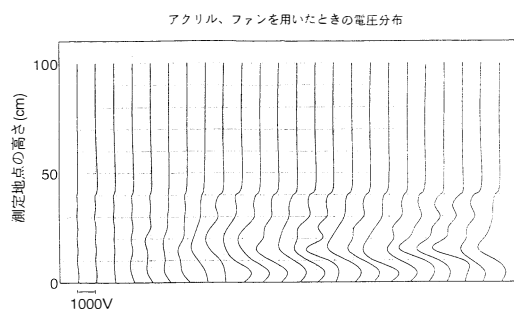


図 6 a)

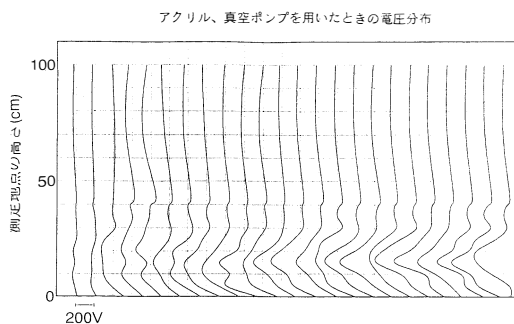


図 6 b)

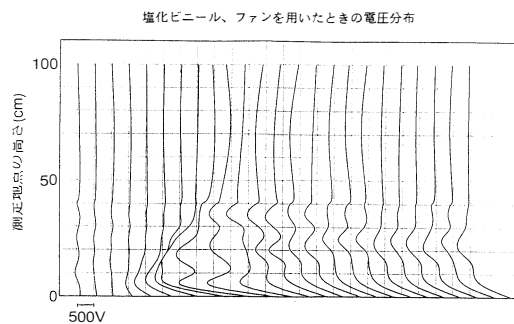


図 6 c)

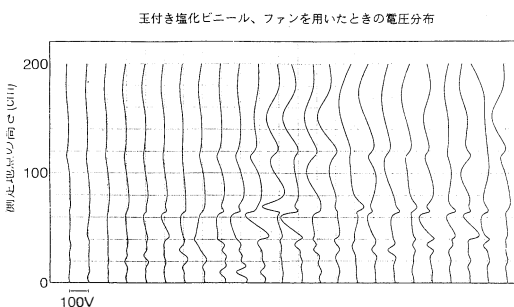


図 6 d)

存在することが分かる。

これらの結果から、共通した事柄として、

- (1) 下層から正電荷、負電荷となり、上部は正負電荷やほとんど電荷のない場合がある。
- (2) 負電荷の領域は電荷の動きが極めて活発であり、発泡ポリスチロール粒子の動きに対応している。

## § 6 . 実測値との比較検討

前章までの結果を実際の雷雲で測定された結果と比較して見る。高橋の文献<sup>1)</sup>によると、図7に再録して示すように、発達フェーズ、成熟フェーズ、衰退フェーズに大別される。しかし、電荷量の高度依存性は各フェーズによって異なり、しかも、個々の雷雲によっても違いがある。しかし、各フェーズの特徴は大体

- 1) 発達フェーズについては雲の下部と上部に負電荷を持つ部分が形成されつつある。
- 2) 成熟フェーズに入るとこれら負電荷部が相互に増大しながら雲全体に拡がり、幾つかの部分に分かれる。
- 3) 衰退フェーズにはこれら負電荷部が雲底よりも下方に降下してくる。

ということが言えそうである。このシミュレーションではどこまでが発達フェーズであるか、成熟フェーズであるか、衰退フェーズになるか分かりにくいだが、発達フェーズの場合について、図7の実際の観測データS-6と前章の(3)の場合である塩化ビニールチャンネルを用い、下部から吹き上げた場合の図6c)の16秒後のデータと比較してみる。図8には両方のデータを高さと電荷量を無次元化したものを示すが、驚くほど傾向が一致していることが分かる。この比較に際しては雲底とシミュレーションの0位置を一致させ、雲上部を40cmとしている。電荷量は最大値を1としている。これから40cmが2kmに対応し1:5000の比となる。

この結果から、5000倍のスケールの違いを越え、何か共通の現象があり、無次元化したある量が存在するのではないかと考えられる。

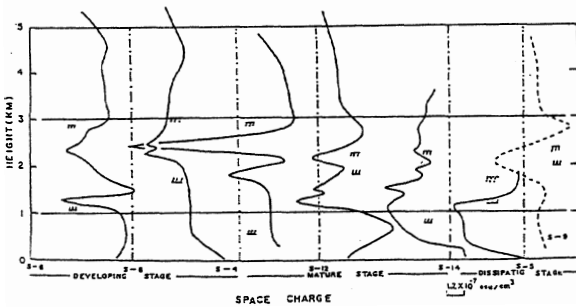


図 7

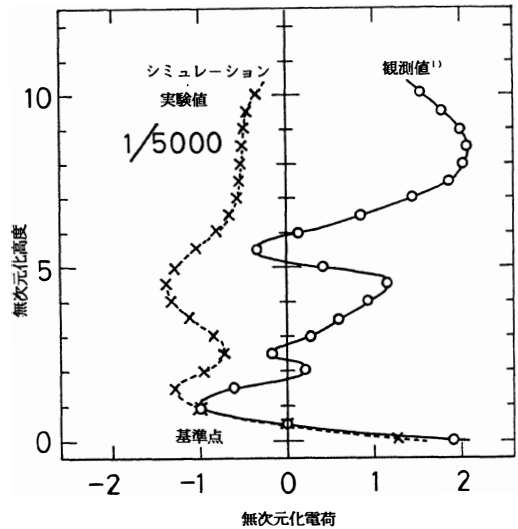


図 8

## § 7. 結 び

1. 表面電位計を用いて、チャンネル内を動く集団粒子の電荷にもとづく電位を測定することが可能である。
2. 長さ2 mのチャンネルで測定された上昇粒子の電荷による電位分布の構造と10kmに及ぶ雷雲で実際に測定された電位分布の構造が極めて良く似ていることが分かった。

このような静電的な実験は実験条件により結果が大きく変わる可能性を持っており、今後、初期条件を揃えるなどして再現性のあるデータを出し、結果の信頼性を高めて行きたいと考えている。

### 参 照 文 献

- 1) Tsutomu Takahashi, "Electric Charge Life Cycle in Warm Clouds" J. Atmospheric Science Vol. 32, p. 123, 1975.

## Simulation experiments of the electric structure in a thunder cloud

Nagayasu Ikeda, Iwao Kitamura, Atsutoshi Tomii,  
Mitsuhiro Kobayashi\*  
(\*Electric Power Development Co.)

Simulation experiments for examining the electric structure in a thunder cloud are carried. An apparatus of the experiments consists of the plastic resin channel and light vesicated beads of polystyrene. A surface potential meter is used for measurement of the charges. It is found from the simulation experiments that the potential distribution of the channel has a positive charge region at the low position of it and a negative region at the middle position and the charge distribution of the beads is very similar to that of real thunder cloud.

[英文和訳]

## 雷雲における電氣的構造のシミュレーション実験

池田 長康, 北村 岩雄, 富井 淳敏, 小林 満博\*  
(\*電源開発株式会社)

雷雲の中の電氣的構造を調べるためにシミュレーション実験を行った。この実験の装置はプラスチックのチャンネルと発泡スチロールの軽い玉からなっている。電荷の測定には表面電位計を用いた。このシミュレーション実験からこのチャンネルの電荷分布は下部が正電荷であり、中程は負電荷を持つ、そしてこのチャンネルの電荷分布は実際の雷雲の分布と非常に似ていることが分かった。