

冬季雷雲からの降雪電気量の多地点観測と雷雲の振舞いの推測

－福井・石川県境における冬季雷の集中観測結果－

加藤 正, 北村 岩雄, 池田 長康,

*若井 武夫, *酒井 勉

1. まえがき

前報に引き続いて、北陸地方の雷雲の電気的な構造の解明と雷撃予測を目的として、降雪の電気量とその時間的推移を多地点で同時に観測した。また、その結果から、上空の電荷の分布状態、雷雲の動きの推測を行った。

北陸地方において、冬季の停電の原因のほとんどは雷撃によるものである。そこで、雷撃位置を未然に予測して警戒を行うことが不可欠である。しかし、北陸地方の降雪を伴う雷のメカニズムは、夏の雷撃とは異なっており、解明が遅れている。1994年12月下旬と1995年1月上旬に、福井県三国町において、北陸電力が中心となって冬季集中観測が行われた。この報告は、そのときに行った雷雲からの降下物である雪または雨の電気量の観測とその結果から推測される冬季雷雲の電気的構造を考察したものである。

2. 測定方法

本研究の電気量の測定には、前報（富山大学工学部紀要、第46巻、p17～23、1995）¹⁾に報告した装置を使用した。降雪及び降雨の電気量 Q は、

$$Q = CV \quad (1)$$

の式(1)を用い、既知の静電容量 C と測定電圧 V によって算出する。この電気量は極めて微少であり、測定回路からの電気量の漏洩をできる限り少なくする必要がある。測定には電流をほとんど流さない高入力インピーダンスの計器を使用している。図1は雪を集める集電電極で、上部の受け皿は高絶縁となっている。集電電極部に集めた電荷によって発生した電圧をエレクトロメーターで測定している。図2に測定回路の全体を示す。ノイズを取り除くためと、電気量の変化を良く知るために、 S_c によって、5秒ごとに電気量をリセットして測定している。ここで、 C_0 は回路全体の合成静電容量であり、 R_0 は回路全体の合成漏洩抵抗である。本実験では、4台の測定器を使用した。1号器、2号器は前報と同じものであり、3号器、4号器は今回の測定のために新たに製作した。

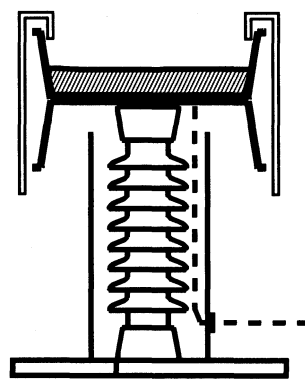


図1 集電電極部

測定した電圧から電気量を求めるためには測定装置の静電容量が既知であることが必要である。そ

*北陸電力株式会社地域総合研究所

それぞれの装置の静電容量は異なっており、測定によって得られた静電容量を表1に示す。蓄えられた電気量は、漏洩抵抗によって徐々に減っていく。しかし、時定数 $\tau = C_0 R_0$ がリセットタイムの5秒と比較して、十分に大きければ測定電圧はほとんど変化せず、測定上問題はない。

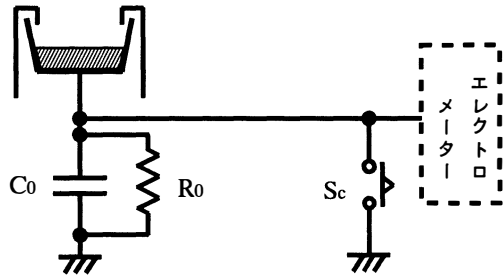


図2 測定回路

表1

	1号器	2号器	3号器	4号器
集電電極板面積 [m ²]	0.196	0.113	0.113	0.113
浮遊静電容量 [pF]	910.4	953.0	1028.9	1498.2

3. 観測地点について

冬季集中観測には、主催の北陸電力の他に、電中研、防衛大などが参加して行った。我々は、図3の福井県三国町の周辺のほぼ2, 3kmづつ離れたB地点（福井気象台東尋坊レーダー観測所）、C地点（加戸小学校）、D地点（北陸電工、三国営業所）とD地点から約10km離れたG地点（福井工大研修所）の4地点観測を行った。これらの場所は、比較的穏やかな場所で、降下物の測定には適した地点である。1994年12月17日から12月21日、1995年1月24日から1月28日の間、約1週間ずつ2回行った。測定器はG地点、C地点、B地点、D地点に、それぞれ、1号器から4号器を設置し、発生した電圧を記録計で記録した。B地点、D地点では、測定データをパソコンに保存した。測定の結果から、雲の移動方向、移動速度、電荷の分布について調べた。

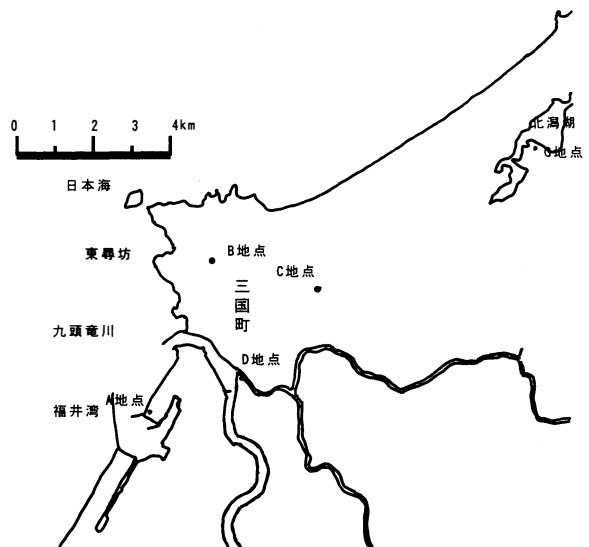


図3 福井県三国町周辺

4. 観測結果

得られた信号の一例を図4, 図5に示す。これらのデータから分かるように, 現れた信号間に何らかの対応があると思われるデータがいくつも得られている。しかも, この信号の前後には何も信号が出ていないことから, これらは, 同じ雲によってもたらされた信号であることは確実である。また, このデータだけではなく, 他のデータでも2号器で得られた信号が小さくなっているものが多い。これは, 2号器の測定用のケーブルが長く, ケーブルの持つ静電容量によって装置全体の静電容量が大きくなったために, 同じような大きさの電気量であっても現れる電圧が小さくなったためである。

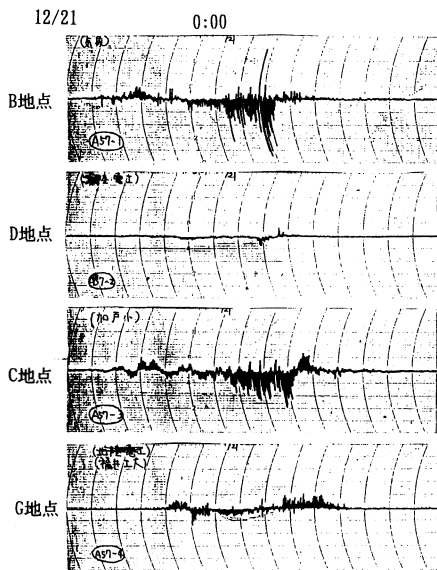


図4 1994年12月21日

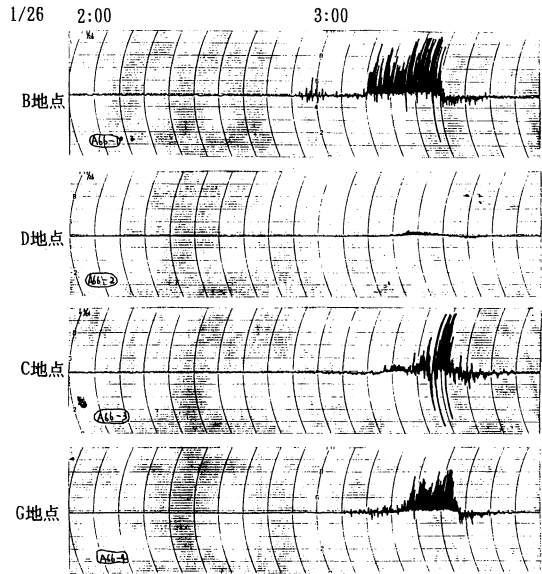


図5 1995年1月26日

5. 雷雲の移動方向, 速度と大きさ

得られた信号の中で, 対応していると思われる信号の現れる時間には, 各地点で時間差がある。単純な形をした雲が, 一定速度で一定方向に移動していれば, 対応のとれる信号の現れる時間の差は, 場所的なものであり, 一定になるはずである。実際の雲は, 複雑な形をしている。そのため, 対応していると思われるデータでさえ, 同じ形状を示していず, 時間差も一定ではない。ここで, 雲を直線状にのびた長方形に簡略化したモデルを考え, しかも, どの地点でも雲の形状が同じであるとする。このように仮定して, それ

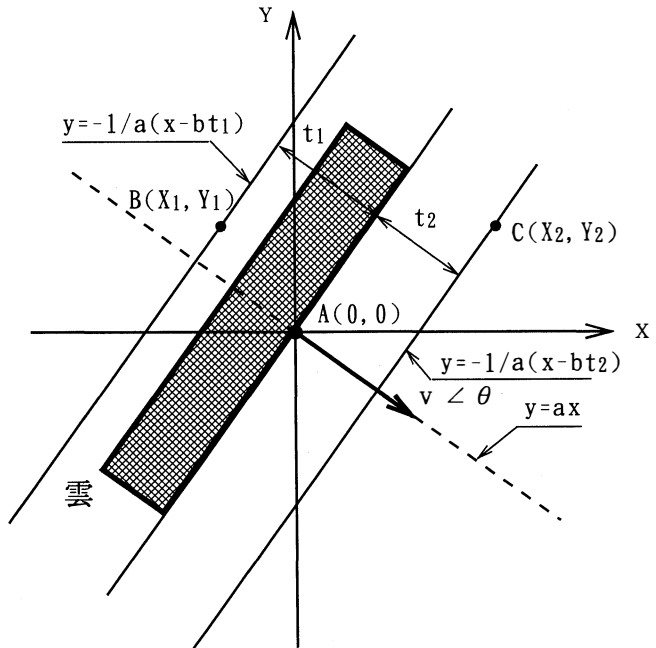


図6 簡略化した雲

それぞれの地点の対応していると思われる信号の現れている時刻を比較し、時間差を調べ、平均を求める。このことによって、雲の移動方向、移動速度を求めることができる。この結果から、雲の大きさや上空での電荷の分布を推測することができる。

5.1 算出根拠

長方形の雷雲がその一辺と進行方向が垂直になるように進むと考え、雲が上空に来たとき、信号が現れ、その時以外は信号が現れないとする。この仮定より、雲の先頭を表す直線を考え、その直線が測定点の上に来たとき信号が現れ始める。これらの仮定を簡略化した雲と共に表すと、図6のようになる。南北をy座標、東西をx座標とし、 t_1 , t_2 はD地点を基準にしたときのB地点、C地点の信号の現れた時間である。D地点より先に信号が現れれば時間は負である。また、D地点を基準にすると、B地点の座標 (x_1, y_1) は約(-800m, 3090m)、C地点の座標 (x_2, y_2) は約(1990m, 2310m)である。

雲が速度 v [m/s]、角度 θ [rad]で移動しているとき、雲の代わりに傾きが $-1/a$ の直線が移動してくる。正の定数を b として、B地点で信号が現れたときの時間差が t_1 であれば、B地点で信号が現れ始めたときの、つまり、B地点を通過する直線の式は次のようになる。

$$y_1 = -\frac{1}{a}(x_1 - bt_1)$$

C地点で時間差が t_2 であれば、同様にC地点を通過する直線の式は次のようになる。

$$y_2 = -\frac{1}{a}(x_2 - bt_2)$$

この2式から、 a , b を求めると

$$a = -\frac{x_1 t_2 - x_2 t_1}{y_1 t_2 - y_2 t_1}$$

$$b = -\frac{y_1 x_2 - y_2 x_1}{y_1 t_2 - y_2 t_1}$$

になる。角度 θ は次の式で求められる。

$$\theta = \tan^{-1}(a)$$

B地点で信号が現れてから、D地点で信号が現れる時間 t_1 の間に進んだ距離 l は、

$$l = \frac{bt_1}{\sqrt{1+a^2}}$$

であり、速度 v は、

$$v = \frac{l}{t_1} = \frac{b}{\sqrt{1+a^2}}$$

になる。

5.2 移動方向と移動速度の推測

実際に得られた信号の対応している部分の時間差から雲の移動方向、移動速度を求め、図に表したものが、図7である。同図から分かるように、西を中心とした方向か

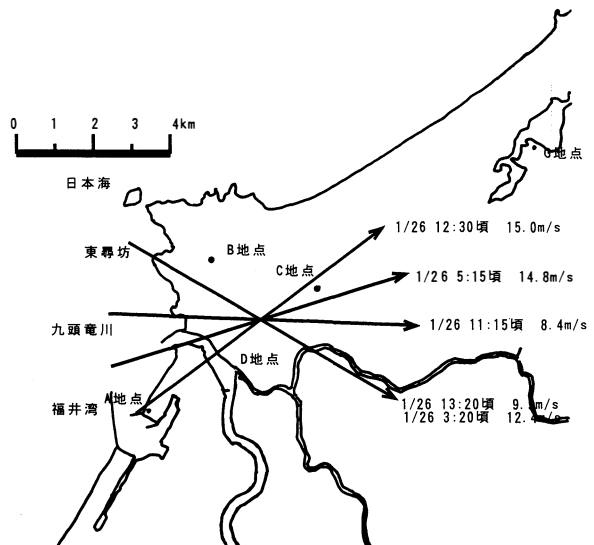


図7 雲の移動方向と速度

ら、1秒間に約10m前後の速度で移動している。一つの雲で対応のととれる点が少なく、誤差があると思われるが、おおよその傾向をつかむことができると思われる。また、測定点を増やすことによって、精度を上げることができ、雲の切れ目を見つけることによって雲の幅も求められると思われる。

5.3 雷雲の電荷分布の推測

信号の現れた時間の差から、雲の移動速度、移動方向が得られた。移動方向と移動速度から雲の電氣的な分布を推測することができる。雲の持つ電荷の極性と現れる信号の極性ととの関係は分かっているが、同じであると仮定する。基準の時間を決め、この時間を測定点での時間とする。雲の移動方向から測定点を通過する雲の軌跡を描く。基準の時間より前に信号がでていれば、すでに測定点を通過した雲の位置に電荷を分布させる。後にでていればこれから通過する雲の位置に電荷を分布させる。図8に示すように、速度が10m/sで5分間信号がでていれば、雲の長さ l は、

$$l = 10(\text{m/s}) \times 300(\text{s}) = 3000(\text{m})$$

である。信号が基準の時間より10分前から5分前の間に現れたものであれば、雲の軌跡上で10分前の雲の位置を示す6000m離れた地点から、5分前の位置を示す3000m離れた地点に電荷は分布する。

比較的近いB地点、C地点、D地点について推測を行った。基準の時間を決め、基準の時間周辺での雲の移動速度と方向と信号の現れている時間と極性から、正の電荷、負の電荷、電荷なしの3つの部分に分けた。各地点について行い、お互いに対応していると思われる部分をつないだ。その推測した結果の例が、図9、図10である。

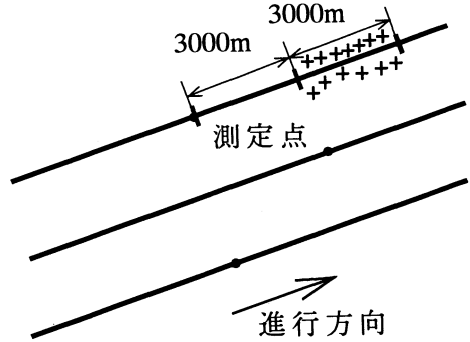


図8 電荷の分布の考え方

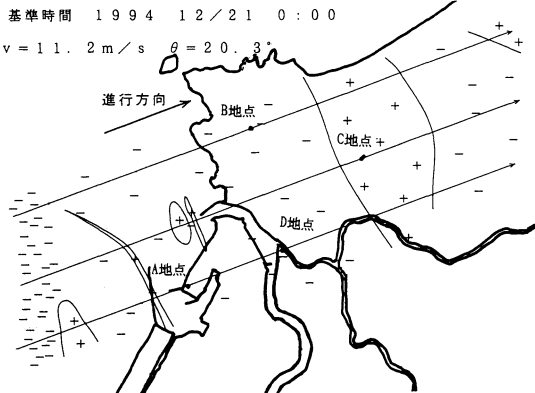


図9

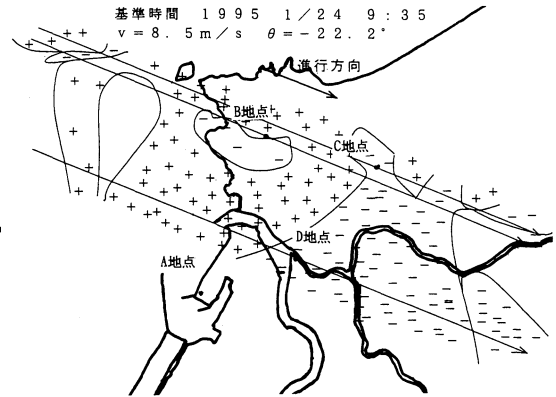


図10

6. ま と め

多地点観測によっていくつかの結果が得られた。

- 1) 異なる測定点で対応のとれる信号を得ることができた。
- 2) 得られた信号の前後では、いずれも全く信号が現れていず、多地点で信号の対応がとれていることから雲の降下物による信号であることが分かった。
- 3) 得られた信号の現れた時間の差から、雲の移動方向、移動速度を求めることができた。
- 4) 雲の移動速度、移動方向から、上空の雲の電氣的分布を推測することができた。

参 考 文 献

- 1) 北村 岩雄ら, 富山大学紀要, 第46巻, p.17~23, 1995

Electric charges observation of snow fragments from thunderclouds in winter at several points and presumption of the cloud behaviour

Tadashi Kato, Iwao Kitamura, Nagayasu Ikeda

*Takeo Wakai, *Tsutomu Sakai

In order to analyze the structure of thundercloud and to estimate a thunderbolt position in Hokuriku district, total observation of thunderbolts and their thunderclouds that is sponsored by Hokuriku Electric Power Co. was carried out in Mikuni area, Fukui prefecture in the latter part of December 1994 and the latter part of January 1995. We participated in this observation and observed electric charge of snow fragments at four points with the same kind of device. The signals which were gotten from several points with the respective delay times were corresponded with one another. It is certain that the all signals were brought by the snow fragments from the same cloud. From the observation the speed and the direction of cloud and the distribution of electric charge in the wide and lumped clouds were also estimated successfully.

〔英文和訳〕

冬季雷雲からの降雪電気量の多地点観測と雷雲の振舞いの推測

加藤 正, 北村 岩雄, 池田 長康,

*若井 武夫, *酒井 勉

(*北陸電力株式会社)

昨冬に引き続き、北陸地方の冬季の雷雲構造の解明と落雷位置の予測を目的とした冬季集中観測が、1994年12月下旬と1995年下旬に福井県三国町で北陸電力が主催して行われた。我々は、この集中観測に参加し、測定器4台を用いて、降雪電気量の4地点同時観測を行った。得られた信号の間に対応がみられ、雲の降下物による信号であると分かった。また、この結果から、雲の移動方向、移動速度を求め、上空の電気量の分布を首尾よく推測できた。