

# 雷雨時のアンテナ・アース電流について

三 崎 方 郎

## On the Antenna-Earth Current during Thunderstorm

by Masao MISAKI

For the measuring of the sudden field change during thunderstorm, "Antenna-Earth Current Method" is often used because of its simplicity. In this paper, the causes which disturb this measurement are mentioned.

Antenna is a lead wire of about 10m-long, stretched horizontally at a height of a few meter. It is earthed through a galvanometer. The current measured in this way is proportional to the variability of the field, so that we can obtain the quantity of sudden field change due to lightning discharge from the ballistic throw of galvanometer.

It must be noted, however, that rapid field recovery which follows the lightning discharge decreases the ballistic throw. This decrease attains considerable amount, and in this case, the photographic record of this current takes the oscillation type. By the way, we can find another type "creeping", while the galvanometer is setting in a state of dead beat motion.

When the potential gradient increases abnormally, "point-discharge" takes place at the antenna wire, and disturbs this observation. If the potential gradient increases to such magnitude by lightning discharge, point discharging current flows through the galvanometer, superposing the current induced by the field change, and makes the galvanometer's motion "creeping"

In conclusion, photographic records of the antenna-earth current by lightning discharge take the 3 types, critical aperiodic motion, oscillation and creeping. In the first case, we can find readily the quantity of sudden field change; in the second case, we must take the decrement of ballistic throw in consideration; and in the last case, we can't deduce the field change.

緒言. 導線を地上数米の高さで水平に張り、これを電流測定器を通して接地する。斯様にして測られた電流をアンテナ・アース電流と呼んでいる。電流測定器としては、検流計が用いられることが多いので、本文では、検流計によつて記録された記象について、若干の考察をする。

アンテナ・アース電流の測定は、

- 1) 装置が極めて簡単で、その操作も容易であること。
- 2) 雷放電の際の電場の急変化量を、かなり忠実に記録すること。

のために、特に雷雨時に行われた。それで、主として、放電に伴う電場急変化の際の、アンテナ・アース電流の記象について吟味する。又、検流計を極界制動状態で使用しているのにもかかわらず、屢々、自記紙上に散見される、振動型記象、及び潜動型記象 (creeping) が、如何なる条件のもとに生じているかを述べる。

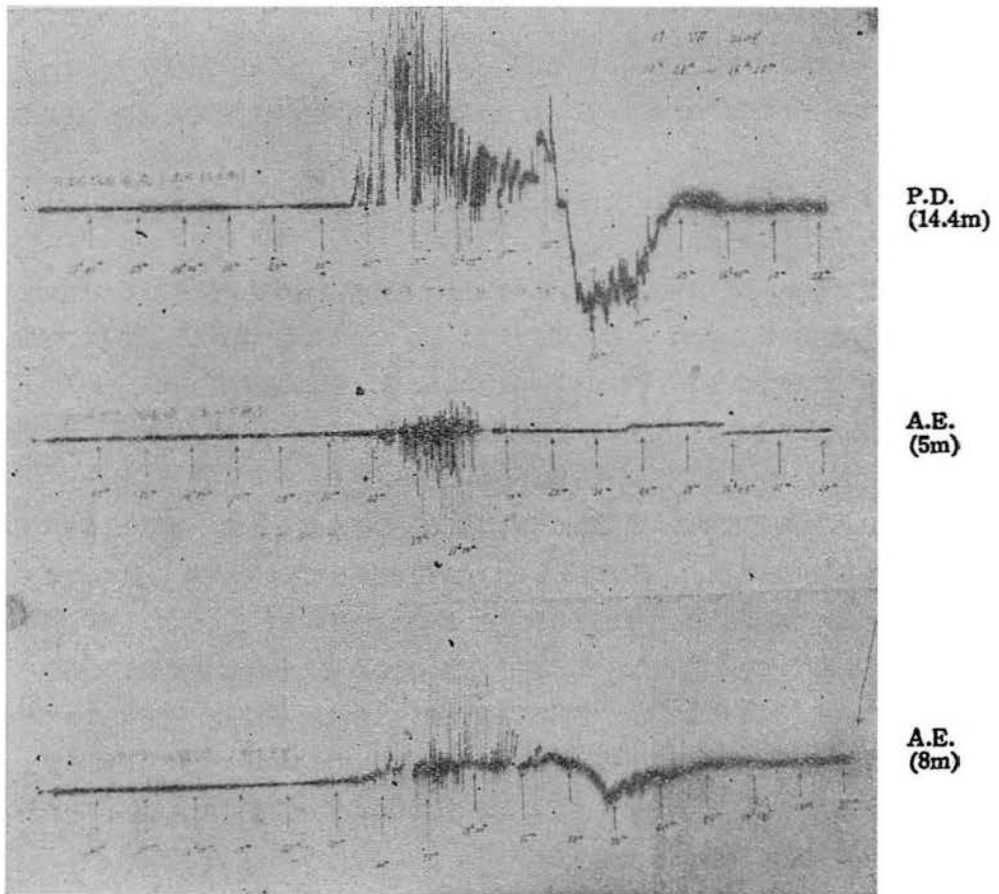
### 第一節 アンテナ・アース電流の内容

雷雨時に得た記録によると、アンテナ・アース電流には、二種類の型があることがわかる。その

一つは、電場の強さの変化に比例するものであつて、主として、雷放電に伴つて衝撃的に現われる。他の一つは、比較的緩慢な変化をしている。この種の電流は、常に生ずるものではなく、全然認められぬ事も多い。これはアンテナ線より出る尖端放電電流であることがわかつた。

回路にこの二種の電流が同時に流れると、記象を錯雑せしめるのみで、何等得るところがなく、且つ、尖端放電電流の測定の為には、又そのための装置があるので、アンテナ・アース電流測定回路中には、なるべく、この種の電流を防止した方が得策である。

昭和十九年夏に、高さの異なる二種のアンテナ(5米及び8米)を設けて、同時に記録した。(第1図)尖端放電電流の同時記録も併せて載せてある。



第 1 図

アンテナ・アース電流について、双方の記録を見ると、雷放電による振れは、初期のうちは同様に現われているが、中程の記録は全く変つたものとなつている。即ち、8米のアンテナの方は、記録が非常に複雑になり、且つ、尖端放電電流のそれとほとんど同一の記録となつている。この時刻

には、電位傾度が相当に高偏しているので、8 米のアンテナ線より尖端放電電流が現われはじめたものと思われる。5 米のアンテナ線による記録にはこの現象が認められない。このアンテナ線による記録中 下方のふれは、すべて雷放電による ballistic throw で、上方のふれは、その振動の尾である。

室内で行った人工電場による模型実験の結果でも、電場の強さが或程度を超えると、検流計がふれはじめ、これが尖端放電電流であることがわかつた。

アンテナ線よりの尖端放電電流を防止するには、その高さを低くすればよい。その代りに、アンテナ線の長さを長くしておけば、後述する  $K$  の値を減少せしめずすむことになる。

## 第二節 振動型記象

電場（地面上での）の強さを  $E$ 、検流計を流れる電流を  $i$  とする。回路のインピーダンスが小さければ、アンテナ表面の電場と  $E$  とは比例するから<sup>4</sup>、尖端放電電流を完全に防止し得た状態では

$$i = K \frac{dE}{dt} \quad (1)$$

と考へて差支えない。 $K$  は常数であつて、アンテナ線の高さ、半径、長さによつて決まる。雷放電によつて、電場の強さが  $E_0$  だけ急変すれば、(1) により、 $Q = KE_0$  なる電荷が衝激的に流れ、検流計を弾動的に動作せしめ、その ballistic throw と、器械的電器で測定された  $E_0$  との比較から、 $K$  を決定することが出来る。大略の値は  $10^{-8}$  ファラッド・種であるが、この節の終りに述べるような誤差が伴うため、正確な値はわからない。

ところで、器械的電器による記録によれば雷放電の盛んなときは、放電と同時に電位傾度は急減(増)し、比較的短時間に、再び略々もとの大きさに戻ることがわかる。且つ、この回復の状態は指数曲線的である。今、この回復の状態を  $E_0 e^{-\beta t}$  で表わすことにする。

この電場の回復が十分に緩慢ならば、さきに述べたように、検流計は弾動的に働き、そのふれ巾は  $Q$  に比例することになるが、電場の回復の速いときは、検流計が放電によつて始動したとき、既に回路には逆の電流が流れているので、その Ballistic throw は減少される筈である。したがつて、これから  $E_0$  を求めようとするときには、この減少を無視できない。それがどの程度のものであるか調べてみよう。

更に、検流計には、分流器を並列に入れることによつて、極界制動状態にしておいても、その記象が振動型になることが、次のようにして分る。

このアンテナ・アース回路は、容量  $C$ 、抵抗  $R$ 、起電力  $V$  の直列回路と考えることができる。この場合、 $C$  の値は  $K$  と等しくすればよい。(電場は放電点において一応不連続に変わるものとする。そのために電流が無限大にならぬように、抵抗を考へておく。これはアンテナ・アース間の抵



抗に相当する。) そうすれば、

$$\begin{cases} \frac{di}{dt} + \frac{1}{CR}i = \frac{1}{R} \frac{dV}{dt} \\ V = V_0 e^{-\beta t} \quad (\text{但し, } V_0 = \frac{K}{C} E_0) \end{cases}$$

$t=0$  で  $i = V_0/R$  とすれば、

$$i(t) = V_0 [a e^{-\beta t} + (b-a) e^{-\gamma t}] \quad (2)$$

$$a = \frac{-\beta}{\frac{1}{C} - \beta R}, \quad b = \frac{1}{R}, \quad \gamma = \frac{1}{CR}$$

となる。検流計の線輪の動きは、

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2\varepsilon \frac{d\theta}{dt} + n^2\theta = A i(t) \quad (A: \text{検流計の常数})$$

$i(t)$  は (2) で与えられている。検流計は極界制動状態にしてあるから  $\varepsilon = n$  となる。

又  $n = \frac{2\pi}{T_0} = \frac{2\sqrt{\pi^2 + \lambda^2}}{T}$  で、 $T$  は回路を開いたときの周期、 $\lambda$  は対数減衰率で、ともに測定できる。したがって、 $n$  も求められる。

上式の解は、

$$\theta = AV_0 \left[ c_1 t e^{-nt} + c_2 e^{-nt} + \frac{a}{(n-\beta)^2} e^{-\beta t} - \frac{a-b}{(n-\gamma)^2} e^{-\gamma t} \right] \quad (3)$$

$t=0$  で  $\theta=0$ ,  $\frac{d\theta}{dt}=0$  とすれば、

$$\begin{cases} C_1 = \frac{a-b}{n-\gamma} - \frac{a}{n-\beta} \\ C_2 = \frac{a-b}{(n-\gamma)^2} - \frac{a}{(n-\beta)^2} \end{cases}$$

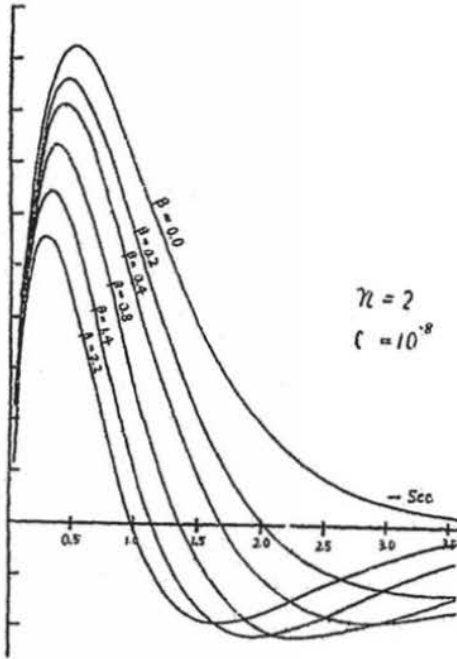
となり、これで電場回復を伴った放電のときの検流計の動きが決まる。

(3) において、 $\beta=0$  即ち、放電後電場の回復がなかつたとすれば  $\frac{I}{C} \gg nR$  なる限り、

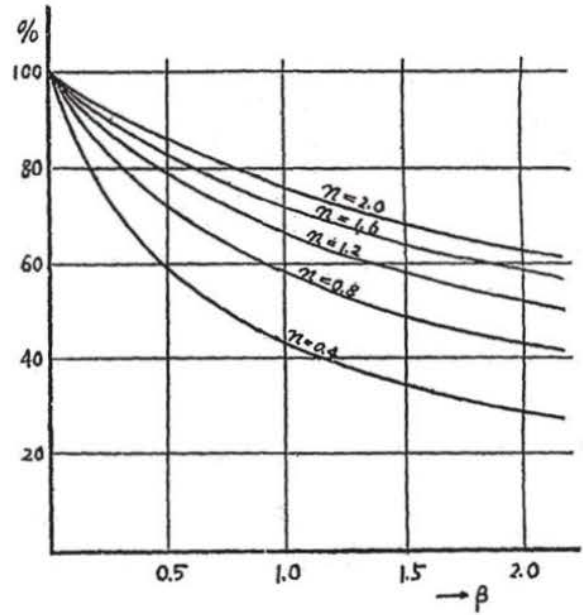
$$\theta_{max} \propto CV_0 = Q$$

即ち、弾動電流計として働いたことになる。通常の回路の数値例では、 $C=10^{-8}$  ファラッド、検流計は多く 3~4 秒程度の周期のものを使用しているから  $n=2$  前後である。したがって  $\frac{I}{C} \gg nR$  なる条件は充分満足される。又、 $R$  は接地抵抗を含めても、100  $\Omega$  程度であるが、数メガオーム程度になつても、検流計のふれ巾にはほとんど影響がないことがわかる。

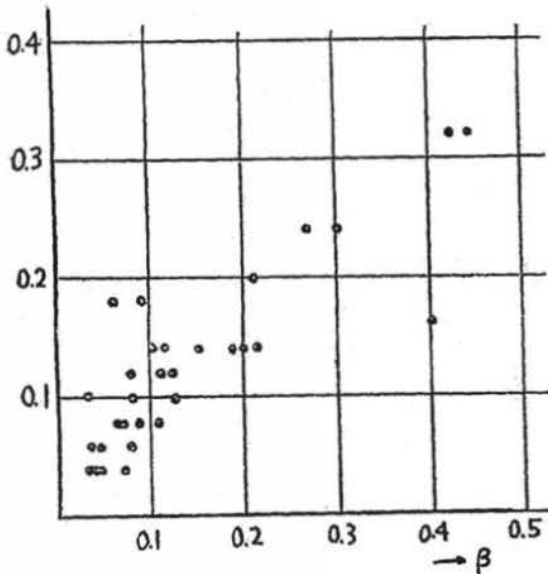
数値計算の一例を第2図に示す。これは放電による電場の急変化量を一定として、 $\beta$  に種々の値を入れて求めたものである。図にも明らかなように、 $\beta$  の増加に従つて、ballistic throw は減少している。アンテナ・アース電流の主目的が放電に依る電場急変化量を求めることにあつて、



第 2 図



第 3 図



第 4 図

この誤差は補正せねばならぬ。しかし、これは自記紙を相当に早廻しにしないと困難な問題である。

尚、この減少量は  $n$  にも関係するので、第 3 図に、減少の割合(百分率)を、数種の  $n$  の値について示す。即ち、弾動検流計としての前述の条件の許す範囲内では、寧ろ、周期の短い検流計を用いた方が誤差が少い。

次に、電場回復の速さと、振動の尾との関係を、実際の記録について比較したのが第 4 図である。縦軸の値は、振動の尾と、最初のふれとの比である。上記の計算値と大体一致していることがわかる。

第三節 潜動型記録

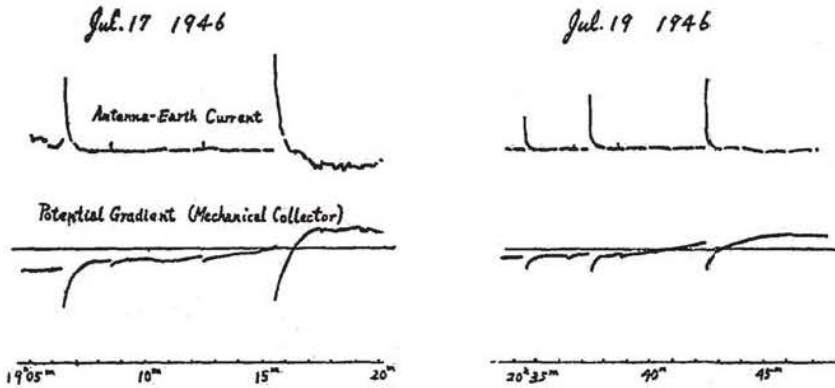
放電の記録中、振動型のものが非常に多く現われるのに反して、この節で述べる潜動型記録

(creeping) は数が少い。

器械的電位器との同時記録によると、この型の放電に対して、次の著しい特徴があることがわかる。

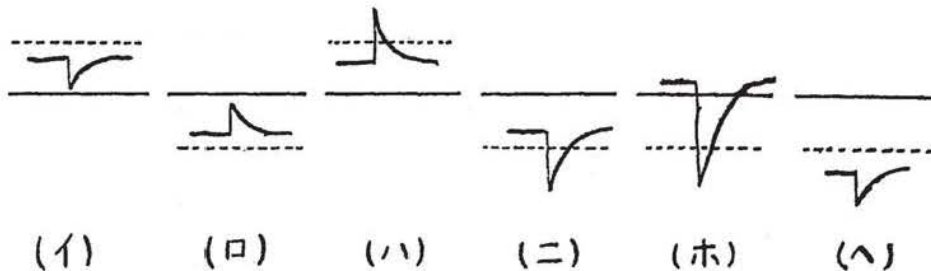
「多くの放電は、電位傾度の絶対値が減少する方向に起るが、この場合は、放電後の電位傾度の絶対値が増大している」

この型の観測例を第5図に示す。



第 5 図

第一節に、電位傾度が高偏して、ある限界を超えると、アンテナ線から尖端放電が起ることを述べたが、この場合も、この現象が生じているものと思われる。即ち、放電前の電位傾度はアンテナ線に尖端放電を生ずる程大きくなくても、放電後、及び、電場が回復してもとの大いさに戻る途中では、電位傾度が、尖端放電を生ぜしめるのに充分な程大きい値を示している。したがって、アンテナ・アース電流中には、第二節で述べた「電場の変化に比例する電流」の他に、尖端放電電流がつけ加わっていることになり、しかも、電場回復によつて誘導される電流と、この尖端放電電流とは、向きが逆であることがわかる。そして、後者が前者よりも大きければ、記録が見掛け上潜動的になることが説明される。



第 6 図

尙、模型的に図示すれば、第6図において、(イ) (ロ) (ハ) (ニ) (ホ) (ヘ) を電場変化の型とし、点線をアンテナ線よりの尖端放電開始の電位傾度とすれば、(イ)、(ロ)は通常の速指的、或いは振動型記象となり、(ハ)、(ニ)、(ホ)、(ヘ)、はいづれも潜動型記象になるわけである。特に、(ヘ)は放電前から、記象中に、尖端放電電流の存在することが一目してわかるが、(ハ)、(ニ)(ホ)は、アンテナ・アース電流の記象のみ見ただけでは分らない。

第一節で述べたように、アンテナ線に尖端放電現象が生ずると、その記象が非常に複雑になり、その解析をすることはほとんど不可能である。これは、衆知のように、尖端放電電流の大いさは、電場の強さのみによるものではない、ということが根本的理由である。極く短時間、例えば、5分とか、10分とかの間では、アンテナ線から出る尖端放電電流は、電場の強さと対応するが、数時間にわたつてこの関係を求めると一義的にきまらないことがわかる。したがつて、潜動型記象をしている場合に、これから電場急変化量を求めることは出来ない。

結 語. 装置が簡単で、比較的有効であるという理由から、雷観測によく用いられるアンテナ・アース電流の記象について、次のことを述べた。

- 1) アンテナ・アース電流は、一般に、「電場の変化に比例する電流」と、「アンテナ線よりの尖端放電による電流」とが混在している。後者はなるべく防止した方が、本来の目的に適う。
- 2) 雷放電の場合、放電後の電場回復の速度が大きいと、記象が見掛け上振動型になる。
- 3) 検流計の ballistic throw は、電場回復が速いと、減少する。したがつて、ballistic throw のみから電場急変化量を求めることは相当の誤差を伴う。
- 4) 潜動型記象は、放電によつて、電位傾度が異常に高偏した時に、アンテナ線より尖端放電が生じているものとして説明される。

放電の記象が振動的、乃至潜動的である場合、常に(2)、及び(4)で説明されると結論するわけではない。器械的電器による記録の上にも、電場そのものが振動していることも、屢々ある。しかし、検流計を用いて記録されたアンテナ・アース電流の振動型、或いは、潜動型記象の大部分は、上述の理由により生じたものであると云つて差支えない。

終りに、終始御指導を賜はつた今道所長、並びに、観測に協力して下さつた仁井田一郎氏はじめ、所員の皆様に厚く御礼を申し上げる。

---

\* 石川業六：研究時報 Vol. I, No. 8. P 238—239.