

O-08:富士山測候所導入高圧ケーブル内接地線電流観測結果と今後の観測方法・雷対策

安本勝¹、佐々木一哉²、鴨川仁³、野村渉平⁴、向井人史⁴、高橋浩之⁵、大胡田智寿⁶、土器屋由紀子⁶

1. (株)ヤマザキ、2. 東海大学、3. 東京学芸大学、4. 国立環境研、5. 東京大学、
6. NPO 法人富士山測候所を活用する会

1. はじめに

富士山測候所(以下、測候所)は3,776 mの剣ヶ峰(緯度 35.4、経度 138.7)にある。測候所が岩盤上にあり接地抵抗を小さくできないため、山麓側に設けた多数の接地極と繋がる接地線がある。そのため、測候所への落雷電流は接地抵抗が小さい山麓側接地線を通ることになる。このことに着目し、2012年より接地線電流の測定を開始した(2013年は未測定)。最初はマニュアル測定で、直撃雷は無く観測できなかったが、周辺の落雷現象による接地線電流測定が多数観測された。しかし、測定に漏れが多くあったため、次の2014年測定からはデジタルストレージオシロスコープ(以下、DSO)の自動測定記録機能を活用した測定方法を導入した。また一般的な被測定電流の大きさをまだ掌握できていないため、2015年夏季測定は小さな値からできるだけ大きな値まで分解能を落とさず数桁の測定を可能にする方法で測定した。その結果、直撃雷用測定系による接地線電流観測を1回と周辺雷用測定系による接地線電流が多数観測された。その測定結果と得られた内容を報告する。また今後の観測で効果的な測定を実施していくための問題点を明らかにし、それを改善する具体的な提案を行う。また測定方法に不十分な点があり、今後の測定で改善すべき点、及び共同研究場所に相応しい測候所の雷対策の具体的な方法を明らかにする。

2. 山麓側接地極への接地系統

2-1 山麓側接地系統が変わっていないことの確認調査

2014年、共通接地極近くにあった南端仮設庁舎に隣接する燃料タンクが撤去されたことと2015年測候所開所前に行われた高圧ケーブル修理に伴い接地系統が変わっていないか調査した。調査方法は受電室高圧ケーブル内接地線・シールドが端末(図1)で接地線により共通接地極に接続されて作る回路の抵抗・インダクタンスを測定し2011年実施した接地線の経路調査時に行った回路定数と変わっていないか確認した。測定結果は抵抗 1.1 Ω(1 Ω)、インダクタンス 90 μH(88 μH)で前回測定値()内)とほぼ同じと考えて良く、従って回路に変化が無いことになる。回路の抵抗・インダクタンス測定は、クランプ型インピーダンス(LCR)測定器を用いて、被測定ループを切ることで無く測定した。



図1 高圧ケーブル端末処理部分
ラックには建物導電構造体と電氣的接続は無い。

2-2 山麓への接地系統が複数であることの問題点と得られる情報

測候所から山麓に繋がる接地線は複数系統(2系統)あり、そのうちの1系統である接地線内蔵高圧ケーブルのみにログスキーコイル電流検出器を設け直撃雷と周辺雷により接地線に流れる電流を測定した。測定上の問題点は、先ず①複数系統であるにも関わらず測定箇所が1系統だけであるため、全電流を測定できない。従って全電流は、他の系統に分流する割合を評価し決定する必要がある。次の問題点は、②高圧電源系統の異常時対地放電電流の問題である。接地線が高圧ケーブル内接地線だけであるならば、高圧ケーブル全体では高圧電源の異常は見かけ上現れない。実際には接地線が複数あり分流する

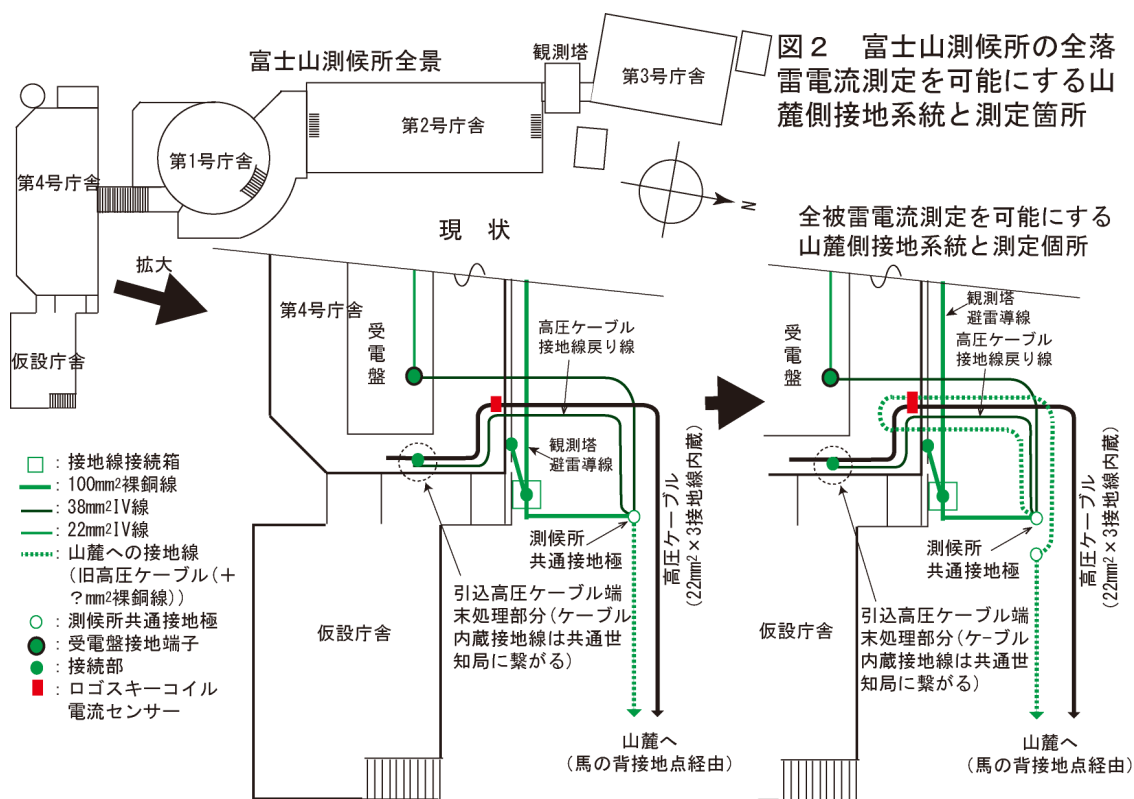


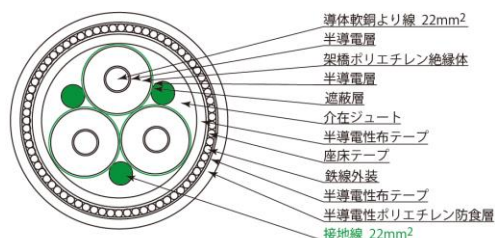
図2 富士山測候所の全落雷電流測定を可能にする山麓側接地系統と測定箇所

が、測定が高圧ケーブルのみのため、ケーブル内の接地線電流分は相殺されるが、他系統接地線に流れる電流を測定してしまうことになる。しかしこれは、高電圧ケーブルの異常や受電室高電圧部分の絶縁不良を検出可能にするというメリットもある。2012年最初に高圧ケーブル内接地線に流れる電流を観測した時に小動物(ネズミ)の侵入により地絡継電器作動による停電があったが、このとき地絡により高圧ケーブルに流れた同相電流を観測している。最後に、③複数の接地線は所々で接続された状態になるため、接地線のループが構成される。設置した高圧ケーブル内接地線電流検出器は測候所共通接地極から最初のループの鎖交磁束による循環電流も検出する。この影響は小さくとも解析には外乱因子になる。

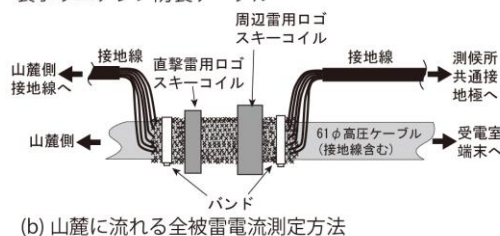
図2のように接地系統を一本化し、図3のようにまとめて測定することで、ロゴスキーコイル電流計は、②、③の影響は抑えられ、山麓側に流れる接地線の全電流を安定に測定できる。また可能であるならば、複数の接地系統それぞれに流れる電流を測定できるようにすることで被雷電流だけでなく、高電圧系統の異常で流れる電流も検出可能になる。

2-3 聴診器としての富士山測候所

測候所は、南北に約50m、東西に約25mの大きさの導電性構造体であるので、富士山頂に富士山測候所という集電電極が存在することになる。測候所からの垂れ接地線(80mm²×300m×2本、80mm²×400m×1本)の存在を考えるとこの集電極の等価面積はさらに大きくなる。この電極は、図4に示すように山麓の接地極と接地線で繋がり、途中途中の接地極が接地線と接続している。そのため、落雷電荷は測



(a) 富士山測候所引き込み高圧ケーブルの構成
架橋ポリエチレン絶縁ポリエチレンシースー重鉄線外装ポリエチレン防食ケーブル



(b) 山麓に流れる全被雷電流測定方法
図3 富士山測候所高圧ケーブル内接地線と別接地線に流れる電流を一つにまとめて被雷全電流を測定可能にする方法

候所という電極と途中の接地極に集まり、山麓の接地極に流れることになる。図4に示すような集電機能を果たすことになる。電極からの距離により集電効果は急激に低下することは予測されるが、岩盤抵抗率は大きく、注入電荷量は大きくなるため遠方までの検出が可能になるものと考えている。

この時の測候所電位は最終的に山麓接地極に集まった電流と接地極抵抗の積、 $R_E * i_E$ で決まることになる。

一方、山麓側の接地線には高压送電線の架空地線も接続されていることを考えると、架空地線被雷時の接地線電圧上昇による測候所という電極を通して大地に流れる電流も検出できることになる。このとき、負極性雷の場合、測候所ログスキーコイル電流計の検出電流は正方向に、正極性雷の場合、負方向になる。

2-4 ループアンテナになる接地線

測候所と山麓を繋ぐ接地線は測候所と山麓との接地極で高抵抗になる岩盤アースと繋がっている。落雷位置によりそのループと鎖交する磁束が生じ、それにより接地線と岩盤アースが作るループに誘導電圧が生じ、岩盤抵抗で除した電流が流れることになる。従って接地線には落雷電流の微分波形になる誘導電圧が生じ、岩盤抵抗が支配的になるため、両者の比になる接地線に流れる誘導電流は、落雷電流を微分した値に比例した電流が流れる。従って、ループアンテナによる接地線電流は落雷電流の微分波形の特徴が現れ、正負に振れる電流が観測される。

3. 落雷電流の観測

3-1 雷電流(高压ケーブル内接地線電流)測定系

(1) ログスキーコイル電流計

ログスキーコイルは軸方向の磁界には感応せず電流が流れることにより生じるケーブルの周方向の磁界にのみ感応するように構成されている。高压ケーブル内接地線とログスキーコイルとの相互インダクタンスは、大電流になる直撃雷用については0.02 μH 、100A以下の周辺雷用については0.2 μH となるように設計製作した。静電誘導ノイズの侵入を避けるため、ログスキーコイルはシールド構成にした。しかし、全体を包み込むと相殺電流が流れて接地線に流れる電流による磁場検出ができなくなるため、周方向の磁界のみに相殺電流が流れないようにシールドに周方向の切れ込みを設けた。

接地線を流れる電流を検出するログスキーコイルは被測定電流微分波形出力電圧に高抵抗を直列に接続することでログスキーコイル出力電圧に比例する電流になるようにし、これを積分することで接地線に流れる電流を求めている(図5)。

ログスキーコイル電流計の測定感度は、測候所直撃雷用は1 V/5 kAで、周辺雷用は1 V/100 Aの設計仕様にした。

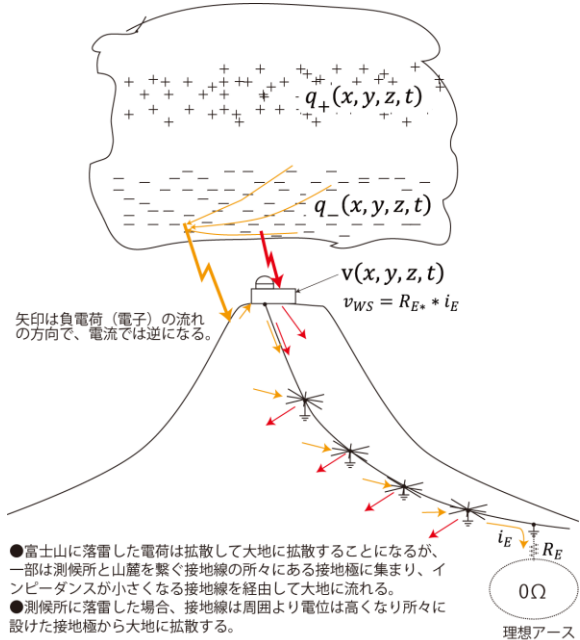
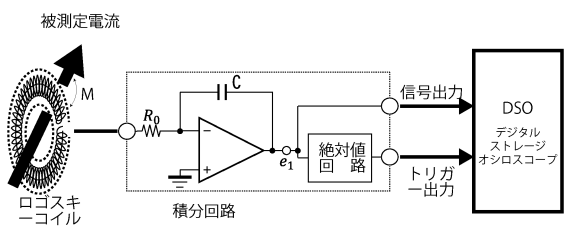


図4 富士山落雷時に接地線に流れる電流と測候所の電位



- (a) 測候所周辺雷用ログスキーコイル電流計
 主な回路定数と感度
 $M=0.2 \mu\text{H}$ $R_0=20\text{k}\Omega$ $C=1\text{nF}$

$$e_1 = \frac{M}{R_0 C} \int di = \frac{M}{R_0 C} \cdot i \quad 1\text{V}/100\text{A}$$
- (b) 測候所直撃雷用ログスキーコイル電流計
 主な回路定数と感度
 $M=0.02 \mu\text{H}$ $R_0=100\text{k}\Omega$ $C=1\text{nF}$

$$e_2 = \frac{M}{R_0 C} \int di = \frac{M}{R_0 C} \cdot i \quad 1\text{V}/5\text{kA}$$
- (c) トリガ-
 正負信号いずれにもトリガ-できるようにするため、信号の絶対値を取っている。

図5 高压ケーブル内接地線電流測定用のログスキーコイル電流計 (2015年)

(2)測定系 落雷電流の観測は、図5の測定系で高圧ケーブル内接地線電流を観測することで行った。高圧ケーブル内接地線電流測定は、測候所直撃雷用の低感度ロゴスキーコイル、および周辺雷で流れる電流用の高感度ロゴスキーコイルでそれぞれの電流を測定した。いずれの出力も測定桁数を大きく分解能を得られるようにするため、測候所直撃雷用は DSO を 2 台使用し、1 台に 5 V/div. (2.5kA/div.)、残り 1 台には 500 mV/div. (0.25kA/div.) の入力を使用した。また周辺雷用は DSO 入力 5 V/div. (500 A/div.)、500 mV/div. (50 A/div.)、及び 50mV/div. (5A/div.) の 3 チャンネルを使用し、3 桁のレンジで各桁 8 bit (使用 DSO 分解能で決まる) の分解能が得られるようにした。

観測電流の自動記録は DSO のデータロギング機能を用いて行った。使用した DSO の最大メモリー長は、一つは 2500 サンプル/レコード、もう一つは 5M サンプル/レコードであるが、前者は 2500 サンプル/レコード、後者は 1k サンプル/レコードで行った。記録時間幅はいずれの DSO も 500 μ s (50 μ s/div. \times 10div.) で観測した。

高感度のロゴスキーコイルの電流測定系は直撃雷を受けたときは破損することが予想されたが、保護を設けることにより回路の理想的条件が崩れることを避け、また直撃雷の頻度が低いことを考慮し、破損した場合は予備回路に交換することにした。

トリガーは、信号波形の正負いずれに対しても加わるようにした。そのため、被測定信号の絶対値を取ってトリガー信号とした。トリガーレベルは、直撃雷用、及び周辺雷用いずれも 16 mV にした。

電源は襲雷時自家発電に切り替わる電源を使用し、切換時瞬停も避けるため無停電電源(以下、UPS)を使用した。

(3)被測定接地線の電流 測候所と山麓を繋ぐ接地線は複数ある。山麓から測候所に引き込んである高圧ケーブル内接地線、元々あった接地線、接地線に転用されている旧高圧ケーブルである。そのため、測定している電流は、高圧ケーブル内接地線に流れた電流のみで山麓側に流れる全電流ではない。高圧ケーブル以外の元々あった接地線と接地線に流用した旧高圧ケーブルに流れる電流は測定できていない。各系統のインピーダンスを知ることで求められるが実質的に求めることは困難である。しかし、ほぼ同一寸法になると仮定できるとして同じになるとした。一方、測候所の接地抵抗も影響を与えるが測候所各接地極共 300 Ω 以上で測候所全体でも山麓側接地極抵抗よりも充分大きく無視できると考えている。

3-2 観測結果及び考察

(1) 直撃雷(大電流)用高圧ケーブル内接地線電流測定

8月13日5時6分に測候所直撃雷用ロゴスキーコイル電流計測定系2台のDSOに1.25kAが観測された。しかし、DSO画面には2台とも観測されたが、データロギング用USBメモリーには画面に対応する記録は残されなかった。図6はDSO画面に観測された波形から再現した波形である。最大電流は1.25kAである。他の系統の接地線に分流する電流を同程度で、測候所から直接岩盤に流れる電流は無視できるとすれば、被雷電流は2倍の2.5kAになる。

測定電流は測候所から山麓方向を正としている。従って観測された落雷電流は、山麓から測候所に流れており、雷雲に流れる負極性雷である。

DSO画面とデータロギングの記録が一致しない原因は、画面情報は新しい情報が優先され、データロギングは最初にUSBに書き込みされた情報が優先され、そのためUSBへの書き込み情報が終了しないうちに新しい波形のトリガーが加わると画面だけが新しい波

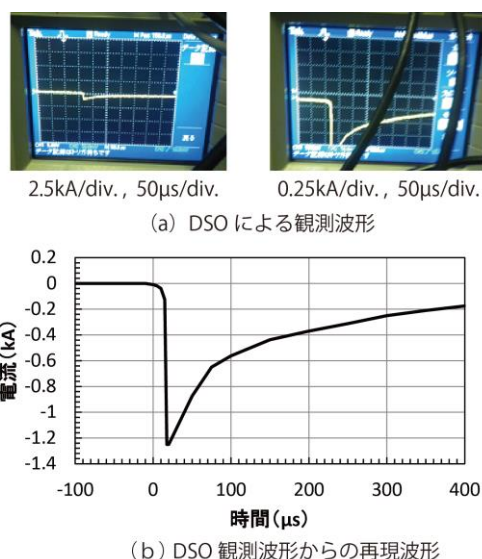


図6 2015年8月13日5時6分落雷による高圧ケーブル内接地線観測電流

形に変わるためである。

観測された雷電流は、測候所近くの岩盤に落雷しその雷撃点から測候所に放電路が伸び繋がった現象と推測している。ちょうど測候所を下側から望む「馬の背」下の公衆トイレ付近に居た登山者情報では、「落雷は測候所でないが近くである。その後の落雷はなかった。落雷時は雨が降っておらず、落雷後雨が降り始めた。」とのことであった。この情報が正しいとして、落雷電流の測定時刻に該当する NTT ドコモの落雷情報(位置 東経 138.75 北緯 35.36、ピーク電流 27 kA)も考え合わせると、雷撃点は測候所ではなく測候所近くの岩盤上で、そこから放電路が伸び最終的に測候所と確実に繋がったと推測される。観測された波形は、この放電路が測候所と確実に繋がった以降の電流のものと考えられる。図7に示すフィールドミル観測結果から雷雲の前端で生じたこと、雲が西から東に移動し富士山にぶつかることによる気流変化が正負電荷密度分布に影響を与え落雷の引き金を作ったものと考えている。

直撃雷用ログスキーコイル電流計で観測された電流変化の初期現象は周辺雷電流検出系でも検出された。これは周辺雷用 DSO の使用メモリー長を短くしたことでデータロギングの処理時間が短くなり、4つの連続した図13の初期現象を捉えたと考えている。

(2) 周辺雷(100A 以下)用高圧ケーブル内接地線電流測定

周辺雷によるものと思われる高圧ケーブル内接地線電流は、データロギングにより8月4日4点、6日6点、7日8点、及び11日6点が観測自動記録された。また13日5時6分には直撃雷用ログスキーコイル電流計で1.25 kAが観測されたときにその初期現象が4点観測記録された。いずれの測定結果もDSO電圧レンジは、接地線電流に換算し、オフセットを差し引き、図8～図13に示した。図8～図12は雷雲の動きを反映した落雷現象として落雷放電路と接地線の電磁結合により接地線に流れる電流、落雷により

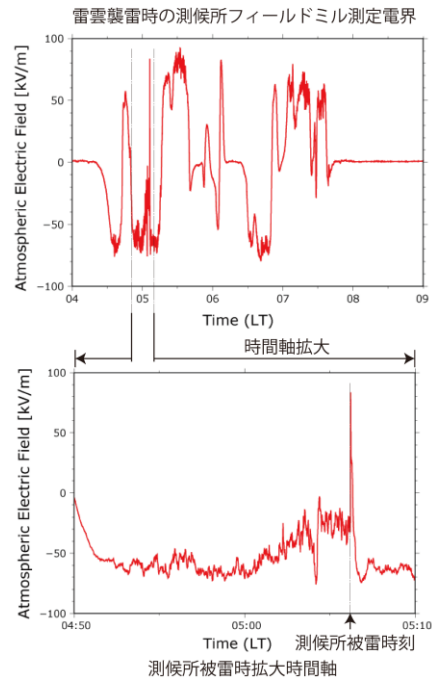


図7 雷雲襲雷時間中と被雷時時間軸拡大をしたフィールドミル電界

富士山に注入された電荷を集電したことにより流れる電流、あるいは両現象が重畳したものが観測されたと考えている。

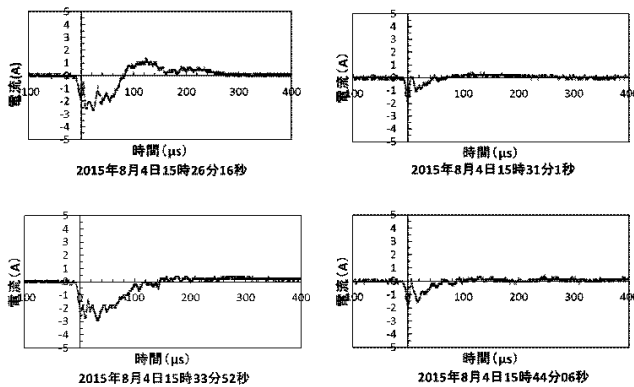


図8 2015年8月4日に観測された接地線電流

観測結果は、24例中正極性によると思われる2例を除いて他は負極性雷によるものであった。測定された電流は電磁結合、及び富士山に注入した電荷によるものであった。

それぞれが観測されたときの雷雲は、西より東に移動し富士山にぶつかり気流変化を起し、観測記録された原因になる落雷を伴い動いたと考えられる。例えば、図8の8月4日の事例では先ず、図9のように富士山西側に負極性落雷電流路と接地

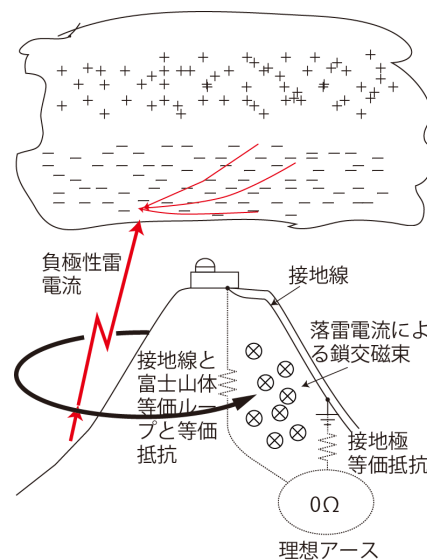


図9 落雷(負極性)による接地線への誘導電流発生メカニズム

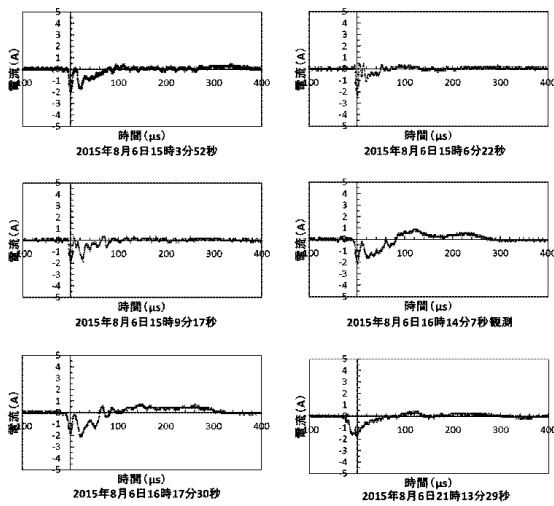


図10 2015年8月6日に観測された接地線電流線・富士山体の循環路との電磁結合による電流が観測された。続いて図4に示す負極性雷による注入負電荷を測候所という電極が集電したと思われる電流が観測された。同様に図10の8月6日観測事例も電磁結合によるものと注入負電荷によるものが観測された。

図11の8月7日の事例では10時22分に正極性落雷電流路との電磁結合によると思われる電流、続いて12時53分に正極性落雷注入電荷によると考えられる電流、その後は負極性雷による電磁結合、及び注入電荷によると思われる電流が観測された。

図12の8月11日の観測事例は現象としては正負に振れる $1\sim 2\mu\text{s}$ の正負の振動周期の約 $5\mu\text{s}$ 幅のパルス状電流になっている。今までの観測事例とは異なる現象である。高圧ケーブル内接地線に流れる電流変化を反映したのと考えられるが、発生機構は不明である。今後の観測で明確にできると考えている。

図13は、直撃雷用ログスキー電流計で測定された落雷電流に対応する時刻に周辺用ログスキー電流計に測定された初期過程である。放電路が測候所に完全に繋がる迄の放電電流を現している。自動記録が短時間であったため、リセットまでのデッドタイムを挟んで連続的に測定が記録された。

全観測の中でトリガータイミングが一致しない観測事例は、正負の信号いずれにもトリガーできるように絶対値回路を通し、外部トリガー入力でトリガーする方法にしたことによるもので、トリガー回路に遅れが生じたためである。

3-3 落雷と雷雲による測候所電界

雷雲は一般的に上層部に正電荷、下層部に負電荷になる。この雷雲電荷が地表面の電界を決めるこ

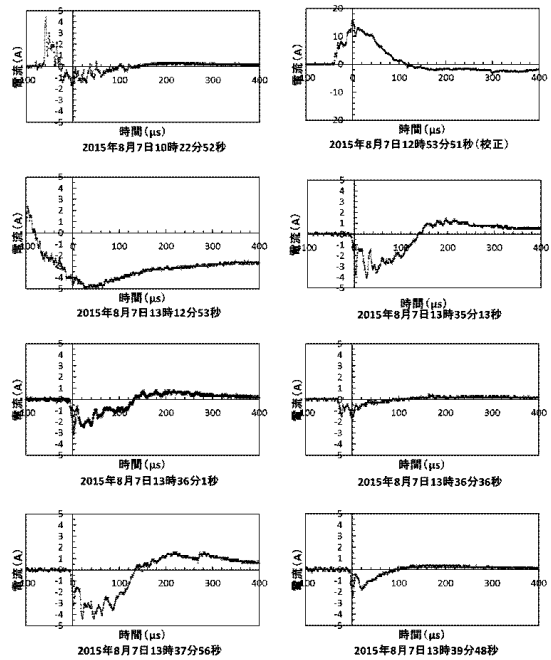


図11 2015年8月7日に観測された接地線電流

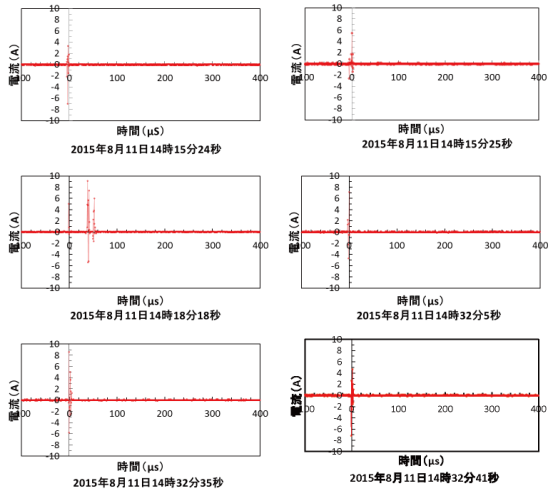


図12 2015年8月11日に観測された接地線電流

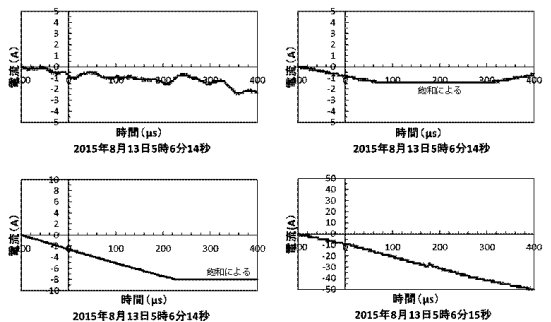


図13 2015年8月13日5時6分に観測された落雷初期の接地線電流変化

とになる。富士山の雷雲は一般的に西から東に動き、雷雲が富士山にぶつかることにより生じる気流変化が雲中の正・負電荷密度分布に複雑な変化を作り出している。さらに、負・正極性の落雷、雲中間放電、スプライト等の高層電離帯との放電等による電荷の消失、その後の拡散などによる変化が加わる。その雷雲電荷が測候所に作り出す電界は、測候所や富士山地表面形状とそれぞれの電位を反映したものと考えられる。雷雲中正負電荷が作る被測定場所電界は、雲中に分布する正負電荷が被測定場所に作る電界ベクトル和になる。フィールドミルはこのベクトル和電界の鉛直方向成分を測定することになる。

電界測定では被測定場所周囲の空間大気抵抗率は非常に高くなる。従って、地表面の等電位面は、大気抵抗率に比し著しく小さくなる地表面の凹凸の形状、例えば建物、木、及び電柱等による表面形状になり、電界に影響を与える。風により変動する木が近くにあるとその変動が電界にも影響することになる。電界測定は、これらを外乱としない測定方法が必要になる。

図 14 は雷雲が安定な平面電荷、測候所と富士山表面は同一平面としたときの、①落雷前、②測候所落雷、及び③富士山表面落雷時の雷雲、測候所、及び富士山表面それぞれの電位を示している。但し、考え易くするため、直流的な変化と捉えているが、実際にはパルス状変化に対する過渡的現象として捉えることが必要になる。測候所が被雷したとき山麓側接地極抵抗と落雷電流との積の電圧降下が測候所の電位になる。富士山表面が被雷したとき注入電荷は等価容量と等価抵抗で決まる値で減衰することになる。減衰時定数は等価容量と等価抵抗の積になる。一部は測候所という電極に集電され接地線に流れ測候所の電位を決めることになる。

高圧ケーブル内接地線で測候所被雷電流を観測したときに図7のフィールドミルの電界変化も明確に現れたことを考えると、測候所電位上昇がフィールドミルの応答性による減衰を上回る電界上昇になったと考えることができる。流れた電流から集中定数で扱えとすれば 10 kV 以上の電位になる。実際には雷電流がパルス状であり、回路寸法や反射を考えると分布定数として扱わなければならないが、回路を正確に把握できていないことや分布定数が一様で無いことを考えると解析は複雑になる。この電界は雷雲中の負電荷量が落雷電荷量を失うことによる変化の影響もあると考えられるが、測候所の電位上昇がフィールドミルの検出電界変化を支配的に決めていると考えられる。

測候所が被雷したとき落雷電流は山麓側接地極に流れ、接地極抵抗の電圧降下が、測候所の電位になる。そのときの測候所の電界は、雲の正負電荷は平面電荷、測候所は平面に単純化できるとして、測候所被雷時、図 15 のモデルから測候所電界を求めることが可能である。測候所電界は、落雷電流により

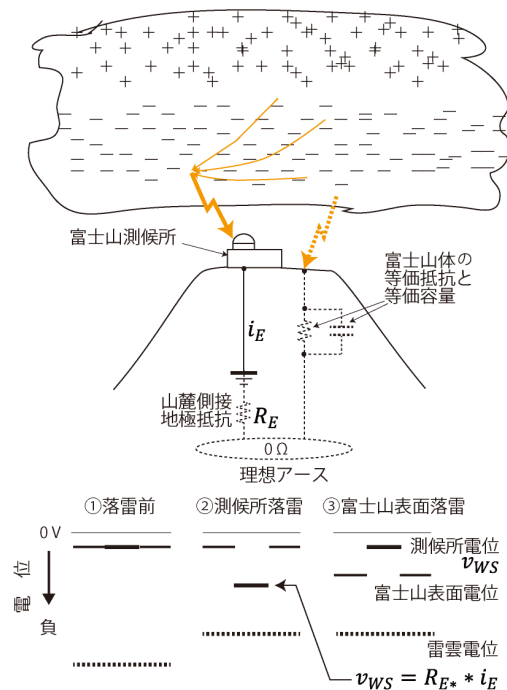


図 14 落雷時 (負極性) 測候所・富士山・雷雲の電位 (集中定数で扱えるとして)

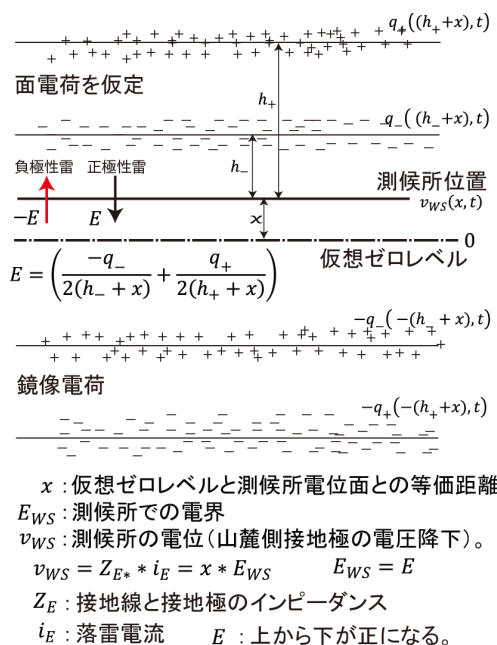


図 15 平面近似により単純化した落雷時の測候所電界決定モデル

決まる測候所電位により仮想ゼロレベルが決まり、それを対象とした位置に雲中正負平面電荷面の鏡像電荷を考え、求めた電界の和として求めることができる。

4. 今後の観測で改善すべき点

今後の測定で改善すべきは以下の点である。

(1) 容易にできる設置・撤収 観測期間は夏季に限られる。そのため、開所して速やかに設置し、閉所前に撤収することになる。この設置・撤収を容易に間違いなくできるようにする必要がある。昨年、簡略はしているがまだ十分ではなく慣れていないと対応できない。プラグイン方式の採用などさらに設置は容易にする必要がある。同時に取り扱い易い調整マニュアル化を進める必要もある。詳細な雷現象観測のためだけでなくこの煩雑さを避けるためにも、将来は通年測定を実現することが望ましい。

(2) 観測方法の改良 ①多重雷の観測も可能にする測定の実現 この対策は、電流測定系の1検出入力信号の測定時間を長くすることと(3)、記録計の記録時間を長くすることが必要である。後者は使用する DSO のメモリー長が大きいものを使用することで速い成分の必要分解能を得て長時間記録が可能になる。例えば、5M のメモリー長であれば 0.1 μ s の分解能を得て雷現象観測に最低必要な記録時間と考えられる 0.5 s の記録が可能になる。

②適切なトリガー位置 ログスキーコイル電流計は、オフセットとノイズを小さくし、それぞれの分担電流の大きさに合わせて安定な適切なトリガーレベルにすることが必要である。

③適切な積分コンデンサー容量と放電時定数 積分コンデンサーには連続測定を可能にするため、積分電荷を放電させるための抵抗を並列に接続する必要がある。メモリー長を満足する測定時間にするため、コンデンサー容量、 C は測定時間中飽和せず、コンデンサー容量、 C と抵抗、 R_1 の積で決まる放電時定数は充分大きくとる必要がある。

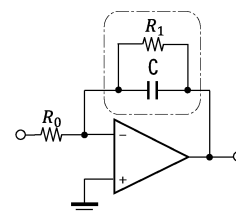


図 16 ログスキーコイル電流計積分回路

(3) 山麓に流れる全電流測定 現在は高圧ケーブル内接地線に流れる電流のみの測定である。他の接地線もまとめて測定可能にすることで、全電流を測定可能にする必要がある。そのため、共通接地極から山麓に行っている接地線を一旦高圧ケーブル内接地線電流測定個所に戻し図3のように高圧ケーブルとまとめ、山麓側に戻すことが必要である。

(4) 周囲の磁場と電界の影響を受け難い設置 測定場所は大きな雷電流が流れる高圧ケーブル内接地線の高圧ケーブル近くであり、その電磁場の影響は無視できない。その磁界の影響や、結果として生じる電界の影響を受け難くするため、閉じた接地系にまとめられるように、ケーブルは電磁シールドを、測定器類は相殺電流が流れ影響を受けにくくする閉じた筐体に収める方法を用いて設置する。

(5) 高感度型ログスキーコイルのサージ電圧保護 測候所に直撃雷があった場合、大きな電流が山麓側への接地線に流れる。この電流が流れると高感度型ログスキーコイルには大きな電圧が発生し回路を破損させてしまう。これを防止するため高感度ログスキーコイル出力に避雷器を設けることで回路破損を防止したいが、回路特性に影響を与えずに低電圧で作動させることが必要になる。満足する避雷器は低静電容量で、且つ動作電圧はできるだけ低くできることが必要である。

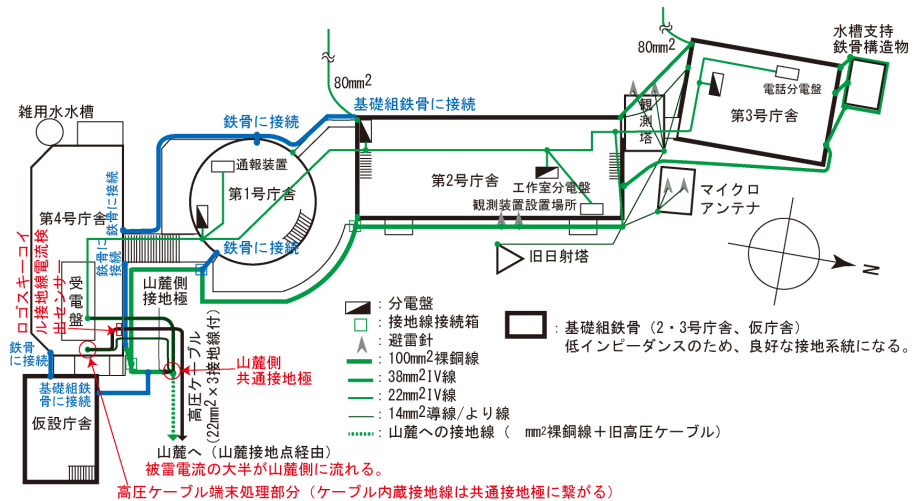
(6) 実証試験用避雷針 鉄塔の上部に絶縁された避雷針を設け被供試機器・ケーブルを避雷針と測候所避雷導線間に落雷電流を測定できるようにして接続することで耐雷実証試験を可能にする。避雷針は高くすることで被雷頻度を高められるが、富士山の気象条件に耐えることと設置が夏季開所期間に限られるために設置・撤収の容易性が求められる。実現できれば被雷電流と高圧ケーブル内接地線電流とを同時測定することで高圧ケーブル内接地線電流測定から測候所被雷電流への校正も可能になる。

5. 測候所の雷対策方法

測候所は多数の研究グループで利用され、実験手法も色々であり、一律した対策を適用するには無理がある。雷サージの影響をできるだけ意識せずに実験できるようにすることが必要である。その受容性確保のため、測候所が直撃雷を被雷したとしてもそのサージ電圧が内部に侵入させない対策が測候所に必要である。この実現は、(1) 測候所の等電位性を高める、(2) 電源の対地電位対策、及び(3) 外部使用観測機器導入ケーブルからの侵入対策、の3つの対策が必要である。

(1)等電位性を高める。

測候所の接地は、測候所と山麓側接地極で行われている。前者の接地抵抗は測候所が岩盤上にあるために小さくできず、山麓側接地極抵抗で決まっている。従って測候所の被雷電流の大半は、南側にある測候所共通接地極から山麓側に繋がる接地線を通して山麓側接地極に流れることになる。そのため、測候所の落雷電流は落雷点から南側共通接地極に流れる。従って、落雷点より北側上流は落雷点電位になるが、落雷点から共通接地極までは共通接地極電位に電流経路の電圧降下を加えたものになる。この電圧降下を小さくするため、日射塔、マイクロアンテナ、および観測塔の100mm²避雷導線は、図16に示すように測候所東側を通して共通接地極に繋がっている。この抵抗値は小さく0.18mΩ/mである。また、第2、3号庁舎の基礎組鉄骨は良好な低インピーダンス導電体であり、避雷導線とも繋がり基礎組鉄骨同士、また北端にある水槽支持鉄骨構造物共複数導線で接続され低インピーダンス化が実施されている。一方で、基礎がコンクリート打ち込み鉄骨である第1、4号庁舎、及び基礎組鉄骨の仮設庁舎の電気的接続は雷対策としてはなされておらず、図16の青線に示す100mm²線による接続対策強化が必要である。



(2)電源の対地電位対策

電源はノイズカットランスを用いて使用する。測候所の電源は変電室でB種接地がなされ共通接地極に接続され、そのため電源電位は共通接地極電位に固定される。そのため、電源電位と電源使用場所の接地電位との間に電位差が生じ観測機器内に侵入する。これを防止するため、電源はノイズカットランスを介して使用することが必要である。電源室より遠方(北)になるほどこの電位差は大きくなる。

電源系統接地線は共通接地極に接続され庁舎内各分電盤に電源とともに配線され、建物導電性構造体と絶縁されていれば、共通接地極電位になる。実際は、接続状態になっている場合が一般的であり、被雷時の接続部庁舎電位を導入し接地線に案分比された電位分布を導入していると考えられる。

(3)外部使用観測機器

雷対策の確保が必要である。対策方法としては容易性も考慮して簡易避雷針で保護し、被雷電流は避雷導線で測候所基礎組鉄骨・東面100mm²避雷導線に接続し逃がすようにする必要がある。避雷針が設けられず観測機器筐体に被雷した場合、被雷電流は十分な電流容量の接地線で逃がし、それでも生じる観測機器と測候所間電位差は、光、絶縁変圧器等による電気的絶縁をはかる、あるいは雷対策ケーブルを導入し影響を受けないようにする。

6. 終わりに

今年度測定は1ヶ月に満たない測定期間であったにも拘わらず、測候所被雷、及び周囲の落雷現象により高圧ケーブル内接地線に流れた電流は、直撃雷用測定系で1例、周辺落雷用で5日28例が観測記録された。自動記録はDSOのデータロギングで行われ、改善の余地はあるものの上手く機能した。次年度はさらに発展させ改善した方法を採用する予定である。

山麓への複数の接地線に流れる電流全てを測定しておらず、高圧ケーブル内接地線電流のみである。1箇所ですべての電流を測定できるようにすることが必要である。データは格段に取り扱い易くなる。

接地線電流観測は、他の測定結果、フィールドミル測定、及び落雷情報などと合わせ総合的に捉えることで相互に一層正確な雷現象が理解できることになり、落雷現象を知る有効な測定手段であることが示さ

れた。

今後の接地線電流測定系の改善すべき点は、多くあるができるところから実施する予定である。

共同研究場所に相応しい測候所の雷対策、①等電位化、②電源へのNCTの導入、③外部観測機器の保護、について明らかにした。より信頼できる観測のため、実現が望ましい。

7. 謝辞

資料や情報提供等で調査にご協力頂いた鈴木寿久・東京管区気象台技術専門官、雷観測にご協力頂いた NPO 法人富士山測候所を活用する会・岩崎洋および越生正文・山頂班長、および山頂班員の方々、および事務局員の方々の各位に感謝する。また岩通からは高性能 DSO のデモ器の借用を受け測定を実施したことで貴重な成果を得ることができたことを記して感謝する。

なお、この研究の一部は三井物産環境基金活動助成(K13-0040)「地球大気環境保全に向けた富士山測候所の戦略的活用計画『その2“世界に開かれた日本一ハイレベルな研究・教育拠点”』としての富士山測候所の再生」の援助を受けた。記して感謝申し上げる。

参考文献

安本勝, 佐々木一哉, 高橋浩之, 中村安良, 大胡田智寿, 土器屋由紀子:「富士山測候所雷対策適用上の調査と対策方法」,第 5 回(平成 23 年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集,26-35,2012 年 1 月.

安本勝,佐々木一哉,高橋浩之,中村安良,大胡田智寿,土器屋由紀子:「富士山測候所のための落雷対策」,電気学会 A 部門,Vol.132,No.11,984-992(2012).

安本勝,佐々木一哉,高橋浩之,中村安良,大胡田智寿,土器屋由紀子,鴨川仁:「富士山測候所の山麓からのケーブルに流れる雷観測電流」,第 6 回(平成 24 年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集,14-27,2013 年 1 月.

安本勝,佐々木一哉,高橋浩之,鴨川仁,野村渉平,向井人史,大胡田智寿,土器屋由紀子:「富士山環境下での測候所雷対策と山麓への接地線電流測定の準備」,第 7 回(平成 25 年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集,4-11,2014 年 1 月.

安本勝,佐々木一哉,鴨川仁,野村渉平,向井人史,高橋浩之,大胡田智寿,土器屋由紀子:「富士山候所の山麓への接地線電流観測と雷対策」,第 8 回(平成 26 年度)富士山測候所利活用に関する成果報告会講演予稿集,19-27,2015 年 3 月.

安本勝,佐々木一哉,高橋浩之,土器屋由紀子,野村渉平,向井人史:「富士山測候所観測システムへの雷対策案」,第 31 回電気設備学会全国大会講演論文,405-408(2013).

安本勝,佐々木一哉,高橋浩之,土器屋由紀子:「超低特性インピーダンスケーブルの検討」,電気学会全国大会講演論文,電磁環境 ESD,1-154(2014 年 3 月).

安本勝,佐々木一哉,高橋浩之,鴨川仁,土器屋由紀子,野村渉平,向井人史:「超低特性インピーダンスケーブルの接地適用の検討」,第 32 回電気設備学会全国大会講演論文,111-114(2014).

安本勝, 佐々木一哉, 鴨川仁, 野村渉平, 向井人史, 高橋浩之, 土器屋由紀子:「ケーブルへの侵入サージ電圧抑制効果評価方法」,第 33 回電気設備学会全国大会講演論文,343-346(2015).

北川信一郎, 河崎善一郎, 三浦和彦, 道本光一郎:「大気電気学」, 東海大学出版会 (1996).

北川信一郎:「雷と雷雲の科学」, 森北出版 (2001 年).

電気・電子機器の雷保護検討委員会 (委員長横山茂):「電気・電子機器の雷保護」, 電気設備学会 (2011-8)

高橋健彦:「接地・等電位ボンディング設計の実務知識」, オーム社(2003)

土器屋由紀子,佐々木一哉:「よみがえる富士山測候所」,成山堂書店(2012-6).

志崎大策:「富士山測候所物語」,成山堂書店(2002-9).

*連絡先: 安本 勝(Masaru YASUMOTO)、myasumoto_2013@yahoo.co.jp