

# 富士山測候所の山麓への接地線電流観測と雷対策

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

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

一昨年度、富士山測候所から山麓側に繋がる接地線の電流を観測し、周辺の落雷現象等による電流が観測された。このときの観測は、雷現象により接地線に流れる電流がオシロスコープに観測されると、手動でそれをメモリーに移し、リセットして観測待ち状態にするという、マニュアル観測であった。興味ある観測現象が多数得られたが、マニュアルであったため、観測漏れも多かった。観測漏れは当然のごとく落雷が頻発するとき多くなっていた。今年度このマニュアルによる観測漏れを無くすため、オシロスコープのデータロギング機能を用いた自動観測を試みた。この観測結果を報告するとともに今回の測定経験をもとに今後の観測方法について提案する。また雷対策は、今年度実施した内容と今後の対策、一般性を持たせることを可能にする耐雷性能の評価方法についての提案も行う。

## 2. 富士山測候所の接地系統

### 2-1 山麓への接地系統

図1に示すように富士山測候所から出る接地線は山麓側接地極と繋がっている。埋設部分は測候所から73号柱までの点線部分で6764 mあり、途中10箇所で接地が取られている。73号柱から責任分界点の1号柱までは3930 mの架空地線があり、並行して埋設地線があり、80箇所のアース棒接地がある。東京電力側架空地線とは繋がっている。

測候所から山麓側に繋がる接地系統は、旧高圧ケーブル(接地線に流用)・接地線および図2(a)の現高圧ケーブル内接地線である。接地線電流は高圧ケーブルに流れる電流をログスキーコイルで測定するが、一つにまとめられていないため、全電流を測定していない。高周波数成分に対しては複数の接地線それぞれの電流は、それぞれの最初の接続点迄のインピーダンスの逆数に比例することになる。実質的にインダクタンスに依存することになるが、それぞれのインダクタンスは同程度になると考えている。つまり、それぞれの接地線に流れる電流は、等しく分流することになる。

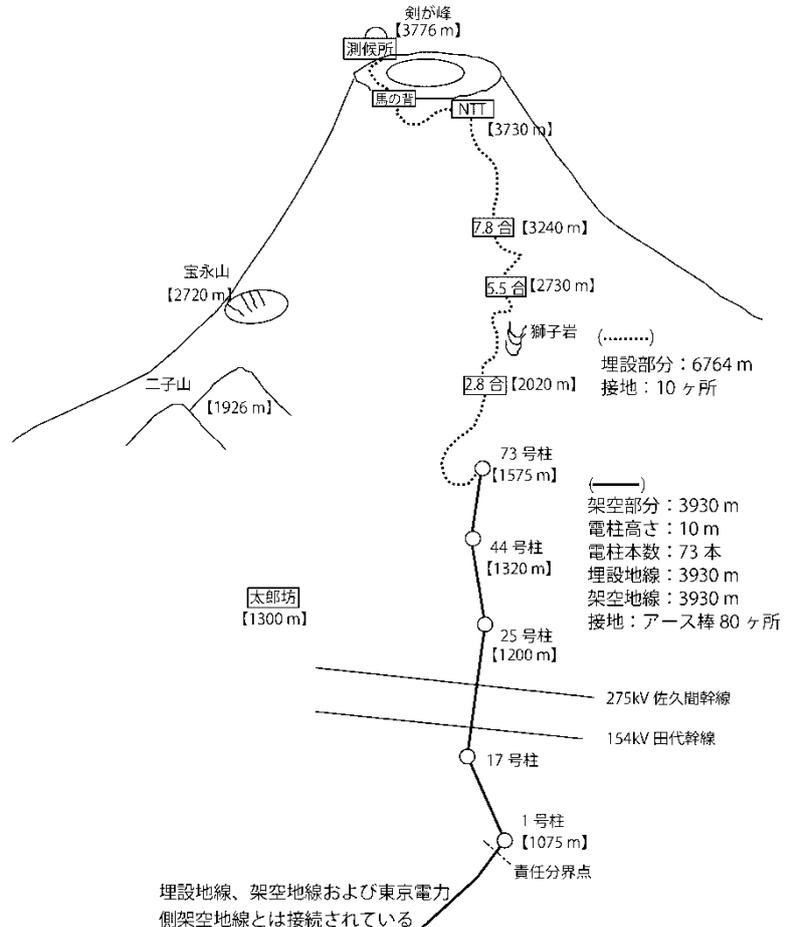


図1 富士山測候所の山麓側接地系統

## 2-2 測候所の接地系統

測候所の接地系統は図3に示すようになって  
いる。測候所は岩盤上にあり、低い接地抵抗は  
得られず、そのため、被雷電流の大半が測候  
所の接地線を通して山麓側に流れることになる。  
2号庁舎と3号庁舎は建物構造体の基礎鉄骨  
は低インピーダンスになっており接地系統に組  
み込まれている。測候所東側は観測塔から山  
麓側共通接地極までは5年以上前に100 mm<sup>2</sup>  
の避雷導線とした接地線が設けられ、また、2、  
3号庁舎基礎鉄骨にも接続することで、測候所  
の雷電流接地系統の低インピーダンス化の  
強化がされている。3号庁舎北側の水槽支持鉄  
骨構造物は、2014年度夏期に鉄骨構造物間の  
接続を確実にした上で複数箇所3号庁舎の基  
礎鉄骨に接続しインピーダンスの低減対策が  
なされた。

屋根・壁は金属製部材で覆われファラデーケ  
ージを指向した構成になっているが、部材間の  
接続は十分では無い部分があり、被雷電流が  
電圧降下を作って接地系統に流れる部分があ  
る。被雷時の等電位性を確保できるように部材間の電氣的接続を良くすることが必要であるが、満たされ  
ない部分は多くあるものと推測している。原理的に信号および電源に侵入させないように雷電流は建物  
内部に流さず、外被金属から避雷導線接地線に流す構成にすることが必要である。

## 2-3 接地系統の問題点

### 2-3-1 山麓に繋がる接地線に流れる電流観測上の問題点

山麓に繋がる接地線は2系統で有りそのため、全電流を測定しておらず分流電流を測定している。もし、  
2系統ともインピーダンスが既知であれば、電流はインピーダンスの逆数に案分されるため、1系統の測  
定から総電流を求めることができる。もし同じインピーダンスであれば等しく分流することになり2倍が総電

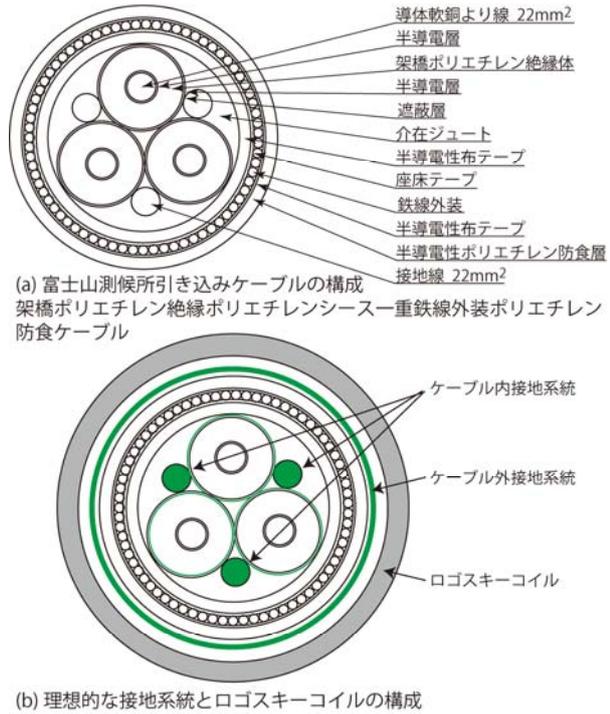


図2 富士山測候所引き込みケーブルと理想的な山麓  
に流れる接地線電流測定の構成

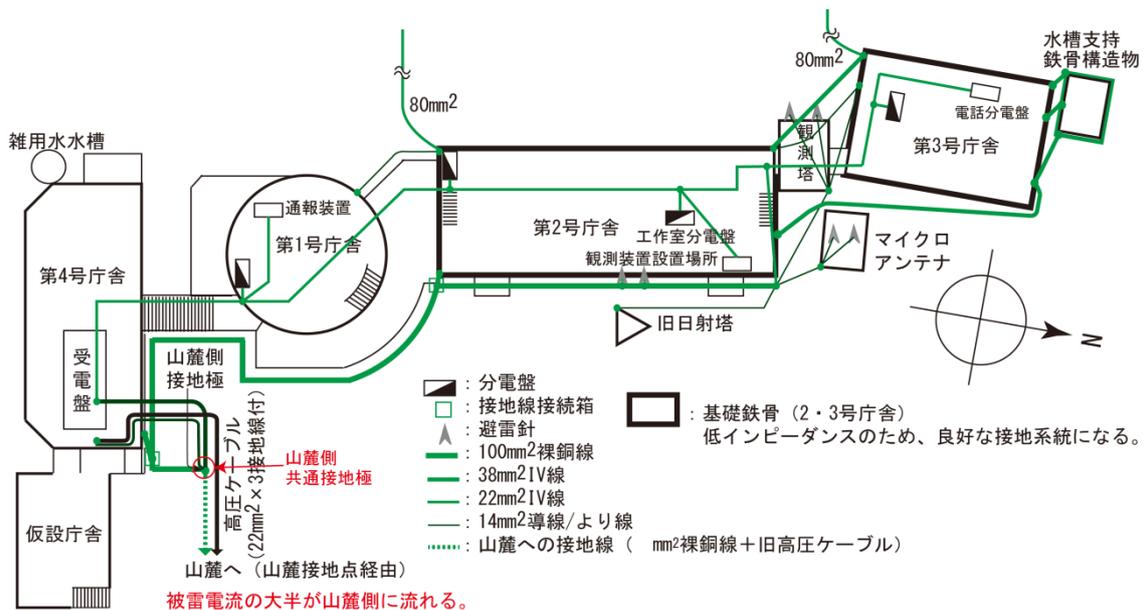


図3 富士山測候所接地系統の概要 (2014年9月)

流になる。このインピーダンスが不明で有り、測定することで分かればよいが経路が把握できない状態では困難であり、一定性が確保できるか疑問がある。

別の問題は、高圧電源の漏洩電流(以下、ゼロ相電流)は電源線と低インピーダンス接地線を一緒に測定することで大地へ逃げる電流の影響を小さくできるが、接地線が2系統であるためゼロ相電流が分流し、ゼロ相電流の影響を受けることである。逆にこのことで一昨年生じた小動物により生じた地絡による停電事故時のゼロ相電流変化を捉えることができたという長所はあったが、測候所から山麓に流れる全電流測定はできない。

電源のゼロ相電流の影響を抑え、且つ正確な全電流測定を可能にするため、図2(b)に示すように接地系統を一つにまとめた箇所を一括して接地線に流れる電流をログスキーコイル電流計で測定できるようにすることが必要である。

### 2-3-2 測候所落雷対策上の問題点

電源の接地電位は、測候所の基準電位になる共通接地極に繋がる変圧器二次側B種接地箇所電位(=共通接地極基準電位)になる。これは測候所の電源使用場所どこでもこのB種接地電位になる。一方、使用場所の接地電位は、基準電位に使用場所までの接地系統を流れる雷電流による接地系統インピーダンスの電圧降下を加えたものになる。従って、使用場所電位は、被雷点以上の場所では被雷点の電位に、以下ではインピーダンスが距離に比例するとして、使用場所迄の距離を被雷点迄の距離で除した値に被雷点の電位を掛けた電位になる。

この雷対策方法として、変圧器を混触防止板付きにして電源を非接地回路とすることで、電源電位がB種接地箇所に固定されなくなるため接地系統電位差の影響は受けなくなる。多数の研究者が測候所内色々な場所で実験する実態とノイズカットトランスの使用を徹底できない状態を考えると、変電室の変圧器に混触防止板付きを使用する方式が好ましい。しかし、電源には多数の負荷がぶら下がるため、負荷の中に絶縁不良のものがあれば、そこでの電位になってしまう。この影響を抑制し、効果的にするためには十分な絶縁管理が要求される。一方で二次側電源回路にB種接地をしなくても済むこの対策は、サージ電流が侵入した場合の電位上昇の逃げ場が無くなり、そのときの電位上昇による絶縁破壊を防ぐため、変圧器には避雷器を設けることが必要になる。

重要箇所には、上記対策に加えて、個々にノイズカットトランスを導入してさらに絶縁を確保する方法を併用し、ノイズカットトランスのシールドを実験機器使用場所周囲の接地に接続することで観測測定機器使用場所接地電位と電源電位との間の電位差は確実に発生侵入しないようにすることができる。

## 3. 山麓に繋がる接地線に流れる電流の観測

### 3-1 測定系

自動観測系は、オシロスコープのデータロギング機能を用いることで実現した。用いたオシロスコープの仕様では入力分解能は8 bit であり、記録は1 channel のみである。一昨年観測された周辺雷により流れた観測電流から直撃雷迄を考えると観測電流は5桁以上測定可能にする必要がある。使用オシロスコープは2台のみであったため、それぞれを直撃雷用と周辺雷用として用いた。しかし、いずれも3桁以上の測定範囲が必要であることを考慮した場合、使用オシロスコープ一台では一桁の測定が限界で精度は得られない。この対策として当初ログアンプを用いることを考えたが、観測電流に正負があることを考慮すると、絶対値をとり、さらに一定以上にするため、一定バイアス電圧を加える対策等が必要になる。この対策は、かなり複雑になるため、結局採用しなかった。従って測定信号分解能は、測定信号最大値で決まることになった。桁が小さな部分は精度が悪くなる、もしくは測定できないことになる。

図4が用いた測定系である。直撃雷用測定系のオシロスコープ入力の垂直軸スケール選択は0.5 V/div.、電流換算係数は10 kA/V であり、測定範囲は±20 kA である。周辺雷用測定系の垂直軸スケール選択は、0.2 V/div.、電流換算係数は100 A/V であり、測定範囲は±80 A である。電源は停電時にも測定可能にするため無停電電源を使用した。ログスキーコイルセンサーは、電流が大きい直撃雷用と小さな周辺雷用の2種類設けた。後者は、相互インダクタンスが大きく、直撃雷の想定電流が流れた場合は入力部に過大な電圧が加わるため保護回路を加えた。

通常時、接地線を流れる微小電流を測定可能にするとも検討した。電流検出感度を高めるため、接

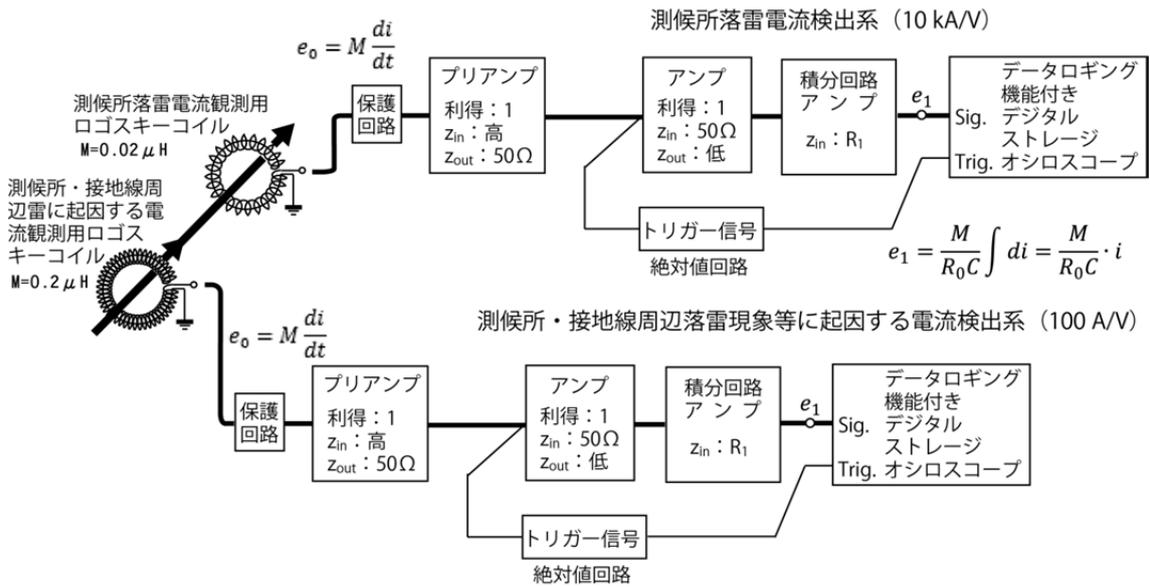


図4 ケーブルに流れる同相電流の検出系

地線内蔵高圧ケーブルに高透磁率材トロイダルコアによる磁気回路を設け、途中で2 mm ギャップを設け高感度ガウスメータで測定を試みたが 10 mA 以下の測定感度が得られなかったため測定には採用しなかった。測定可能にできれば興味ある現象が観測できる可能性もあり、別の方法で十分な感度が得られないか検討をしている。

### 3-2 測定結果

接地線を通じた観測電流は、自動で有り多く観測できると予想していたが、一昨年のマニュアル測定から比較すると少ない。自動測定はうまく機能したが、観測できた接地線を通じた電流は、多くなかった。この原因は下記(1)～(4)にあると考えている。次年度の観測では以上の点を改善した観測方法にし精度の高い測定を可能にする必要がある。

(1) 一昨年度はマニュアル測定であったが、3 channel の測定が可能であったため、3 桁それぞれの桁に 8 bit の測定分解能が得られた。今回は自動測定は可能になったが記録できる channel 数が 1 channel

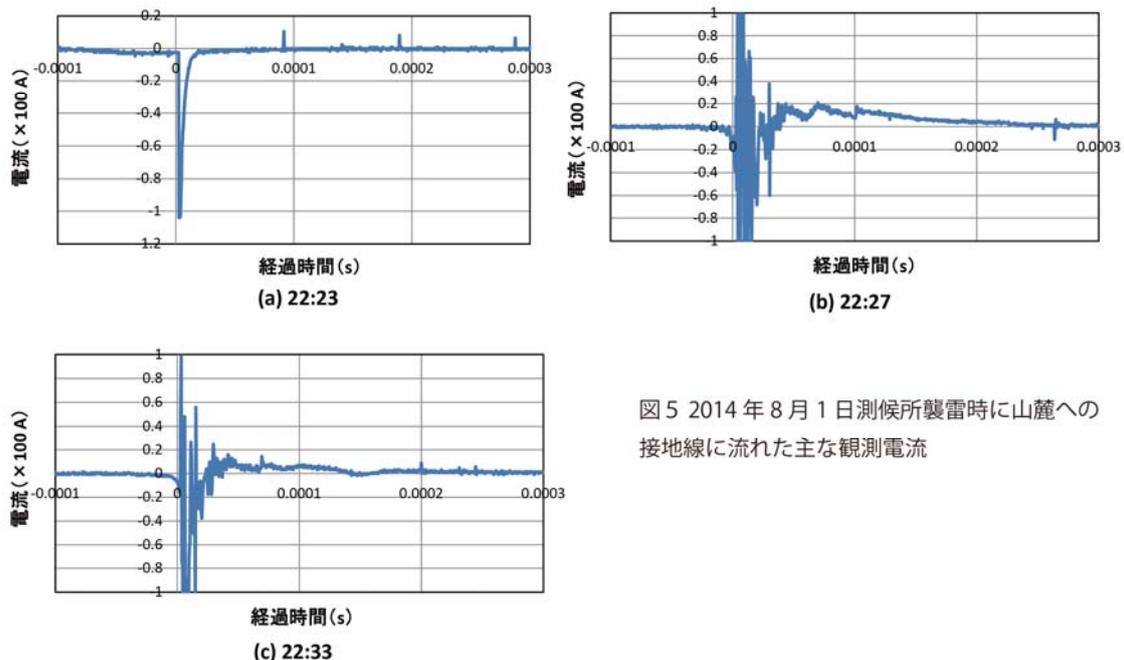


図5 2014年8月1日測候所襲雷時に山麓への接地線に流れた主な観測電流

のみであったため検出感度最大値で決まる分解能が小さくなった。その結果、感度は悪くなり検出数は小さくなった。

(2) SN 比が悪かったことで、ノイズでトリガーしてしまい観測できなかった。

(3) トリガーレベルを高めにしたことで、測定レベルが小さいものが測定できなかった。

(4) 襲雷日数が少なかった。

測定された接地線に流れた明確な観測電流を、図5に示した。電流測定の実現性は正確であるとする、(a) はノイズの重畳が無い接地線電流を観測している。-80  $\mu$ s 付近から数 A 徐々に増加しトリガーが掛かった時間 0 の時から 100 A のピークパルス電流になって 20  $\mu$ s 以内に終わっている。観測電流の極性は負で有り電流は山麓から測候所に流れていることを示している。負極雷放電電流が流れたことによるものである。先行放電があることとノイズの発生が小さくシャープな点も考慮すると、測候所への小さな直撃雷ではないかと推測している。直撃雷とすると放電電荷量は  $\sim 10^{-3}$  C になる。この雷電流は小さいので、発光は小さくなる。従って、このような雷放電は、高感度カメラで無ければ観測できないのではないかと推測している。

(b),(c) は、図6 に示すように観測接地線電流にノイズが重畳している。ノイズを取り除くといずれも図に示す信号波形の形状の信号になると考えている。波形の形状が負から正に跨ることから落雷放電電流の微分波形になっている。当初、落雷放電回路電流と山麓への接地線との結合が支配的であると考えたが、負極雷の放電を考えた場合には観測波形の極性は一致せず、図7に示すように雷放電回路と岩盤電路との結合による誘導雷電流になると推測している。このため放電回路は、山麓への接地系統がある山腹と反対側にあつたことになる。重畳しているノイズは誘導雷により発生しやすく、それが測定回路に侵入し重畳したものと推測している。

他に考えられる原因として、山麓への接地系統が複数系統あることで、両者の作るループに誘導磁束の鎖交の仕方によって先行パルスの極性を満足するようになる。しかし、この場合、ループに流れる電流はインダクタンスが支配的になるため、落雷電流と同じ電流波形に近い形になるはずであるが観測波形は微分波形であり一致せず、接地線循環回路の観測電流とは異なることになる。

#### 4. 山麓への接地線に流れる電流とフィールドミルの測定電場との相関から見えるもの

##### 4-1 フィールドミルの動作原理

外部電界に接する電極面のシールド窓を開閉することで生じる誘導電荷変化による電位変化を高入力インピーダンス電圧計で

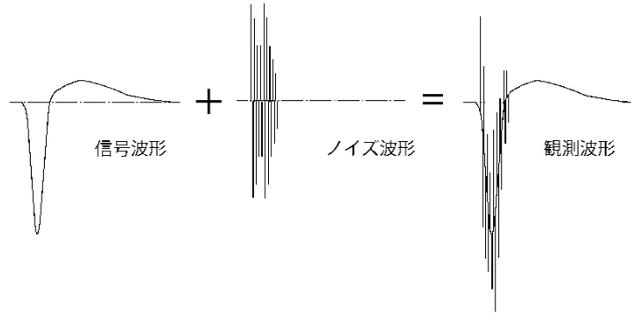


図6 信号にノイズが重畳した観測波形

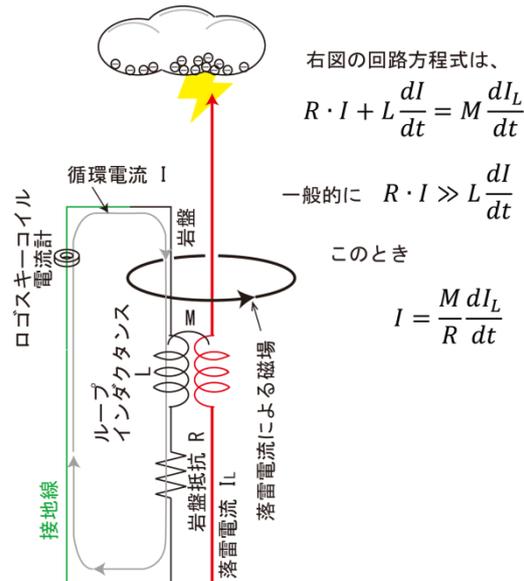


図7 誘導雷で接地線に流れる電流の特徴

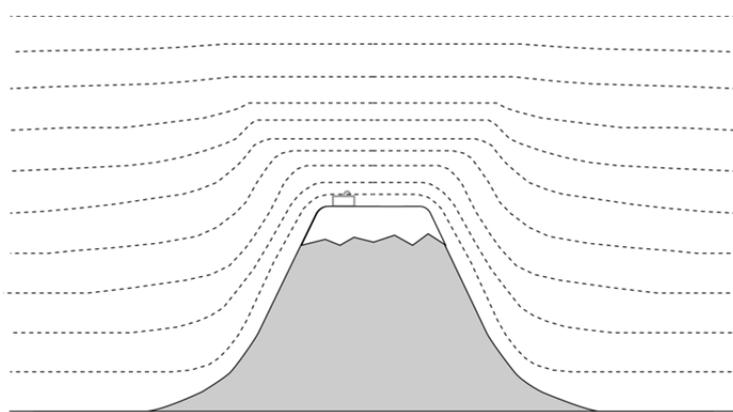
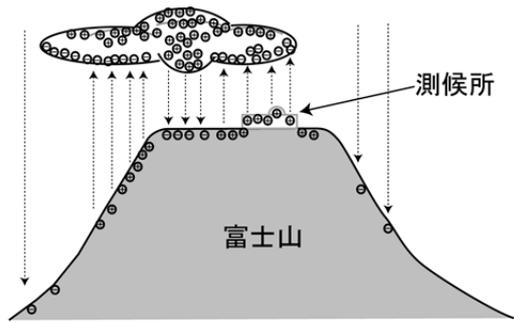
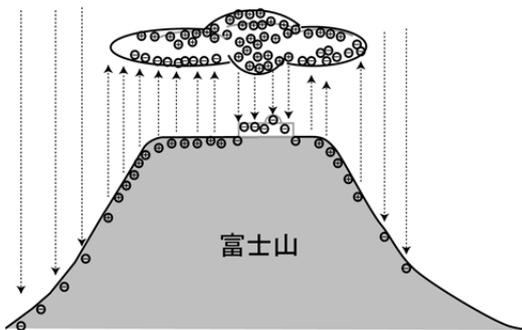


図8 富士山が存在することによる等電位面 (-----) 変化



(a) 測候所に正電荷が誘導される雷雲の状態



(b) 測候所に負電荷が誘導される雷雲の状態

図9 雷雲下面電荷極性によって測候所に誘導される電荷と電界（下向きが正）

洋岸では一般的である負極性雷雲、即ち雷雲下面が負電荷の雷雲が襲雷した場合、検出電界は負になる。正極性雷雲の電界は正になる。

フィールドミルの電場測定は雷雲下面の電荷極性の影響を受け負極性の場合には負に、正極性の場合には正になる。従って、図10 に示す測定電場は、22:38~22:50 の間が正極性、その他は負極性の雷雲であったことを示していることになる。

山麓への接地線に流れる電流を観測するときは雷雲があるときであり、マクロに見た場合フィールドミルの電場観測結果と接地線に流れる電流観測とは相関がある。また、マイクロに見た場合、接地線に流れる電流の観測事例は、フィールドミルの観測結果に重なるパルス状変化が見られた。図5(a)(b)(c) のそれぞれ観測波形は、観測時間の一致から図10のフィールドミル測定電場のパルス状変化の(a)(b)(c)に対応している。落雷による電界変化は、負極性の場合には上向きのパルスに、正極性の場合には下向きのパルス状の変化になる。フィールドミルの(a)(b)(c) の変化はこれに対応している。

#### 4-3 フィールドミルが応答できるメカニズム

フィールドミルの山頂での観測結果は、平地に現れない観測結果が現れたと推測される。

フィールドミルの応答性は接地線に流れた電流時間変化よりも周波数にして2桁以上悪くなる。それでも観測可能になるメカニズムは、以下の理由が考えられる。

① フィールドミルの応答性による減衰を上回る電位上昇が基準電位になる測候所にあった。被雷電流が山麓への接地線および接地極インピーダンスに流れることにより生じた電圧降下が測候

検出することで電界強度を知る方法になる。基準電位になるシールド電位は測候所電位になる。

応答性は、シールドシャッターによる窓の開閉周波数で決まり、速くても10 ms程度である。一方、接地線電流の測定に使用したロゴスキーコイル電流系の応答性は1  $\mu$ s以下である。それによって観測された接地線に流れた電流パルス時間幅は  $\sim$ 200  $\mu$ sである。

#### 4-2 山麓への接地線に流れる電流と測候所電位フィールドミルの測定電場との相関

空地電流は天空から大地に向かって流れている。その値は小さく  $1 \times 10^{-12} \sim 4 \times 10^{-12}$  A/m<sup>2</sup> である。岩盤地帯の抵抗率は  $\sim$ 10000  $\Omega \cdot$ m であることを考慮すると3776 mの高低差を考慮しても空地電流による電圧降下は小さい。従って、3776 mの山頂電位は静穏時空地電流に乱されることなく平地表面電位と同じと見なすことができ、この電位分布は、図8 に示すようになる。しかし、山頂の電界は、富士山が平地から突出した形状になることで等電位線は密になり、高くなる。

観測電場の極性は、天空から大地へ方向の電界が正である。従って、図9 に示すように夏季太平洋

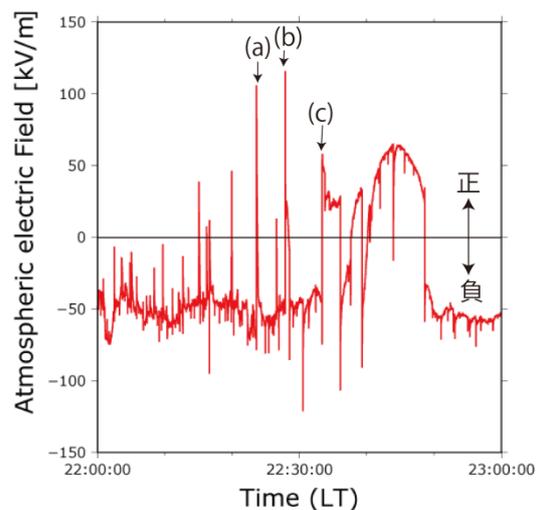


図10 山麓への接地線に流れる電流観測位置付近に対応するフィールドミルの電場

所電位になるため、フィールドミルによる測定結果はその電圧降下を反映したものになる。

② 放電により電荷の一部が消失するが、これが雷雲下面に影響し、この電荷分布が一様になるまでの回復時間がかかる。雷雲との距離が小さく、この変化が観測されるようになる。

③ 残り一つのメカニズムは、落雷放電により富士山頂に大量の電荷を注入することになる。この放電は短時間に終わるが、岩盤への帯電と岩盤が高抵抗であることで富士山頂の電位が上昇し、一方時定数も大きくなるため、減衰して定常状態になるまでの応答が長くなり、測候所に集まる電流もこの影響を受け接地極抵抗の電圧降下も遅い変化になる。この結果、フィールドミルが応答できることになり、観測可能になる。

いずれのメカニズムが支配的になるかは測定の積み重ねで明らかになると考えている。例えば、②の影響がある場合、雲間での放電による影響が現れると考えられる。

#### 4-4 落雷点による接地線電流と測候所電位

落雷箇所と観測される測候所の山麓への接地線に流れる電流は、図11のように落雷箇所の影響を受けるものと考えている。①測候所への直撃雷の場合の電流は、雷雲中の集電が滑らかで電流路のインピーダンスは接地極インピーダンスが支配的で安定していると考えられる。このとき、誘導ノイズは小さく図5(a)のようにノイズの影響が小さなシャープな波形になると推測される。②測候所近くが落雷点になる(b)の微視の場合、測候所に集まる電荷は放電経路の水平的な樹枝状放電の広がりがあると推測される。等価的な電流路のインピーダンスは不連続的に変化し、不連続的な電流変化になると考えられる。③測候所から遠方になる(c)の場合、全体的な電位上昇があり、連続的な滑らかな変化になると考えられる。このような放電電流は、測候所での観測を進めていくことで見えてくるものと考えている。②③の接地線に流れる電流は、誘導電流の影響も加わると考えている。

富士山頂に被雷した場合、山を形成する岩石抵抗率は大きく、注入電荷が大きい場合を考えると、雷撃点の広い範囲に電圧上昇をもたらすことは容易に推測される。山頂全体にもおよぶ電位上昇もあるのではないかと推測している。また岩石内部および表面の抵抗率は大きいことを考慮すると放電により帯電も生じ、減衰時定数も大きくなることが推測される。

測候所は山麓側の接地極に繋がり、通常は山麓の電位である。しかし、落雷により山頂に電荷が注入拡散する過程で電荷が測候所に集まり接地線に電流が流れると、接地線および接地極のインピーダンスによる電圧降下が測候所の電位を決める。この電位変化がフィールドミルの基準電位になるため、フィールドミルの観測結果に影響を与える。

まだメカニズムは明確にできないが、観測を進めることで明確にできるものと考えている。さらに正確度と精度を高めた測定を可能にすることが必要である。

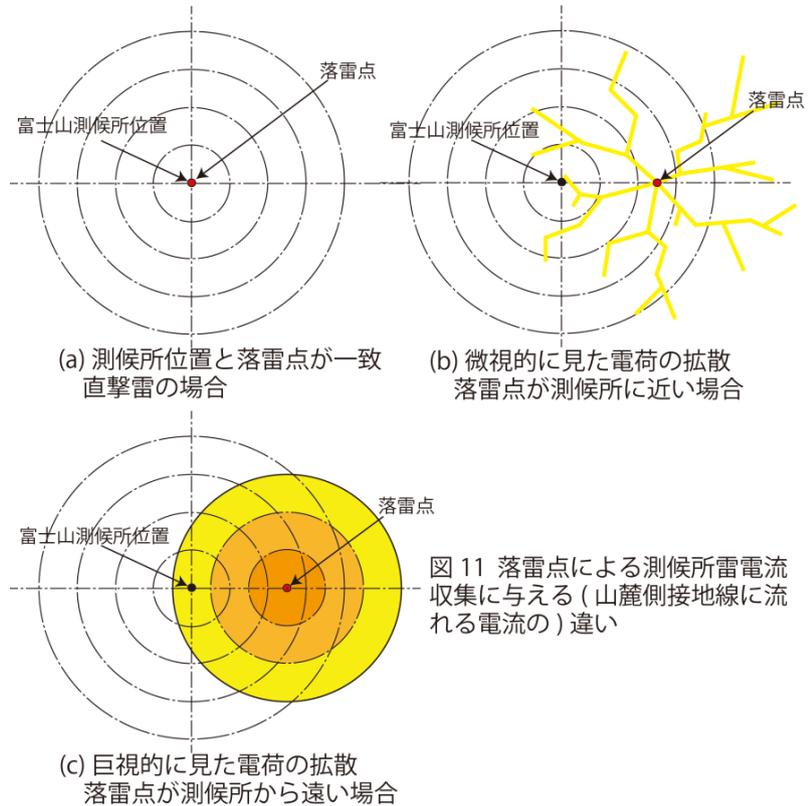


図 11 落雷点による測候所雷電流収集に与える(山麓側接地線に流れる電流の)違い

## 5. 雷対策の評価方法

### 5-1 サージ電流注入装置

サージ電圧の侵入メカニズムは色々と考えられるが、多くあるものとして伝送路にサージ電流が流れ、それが伝送路サージ電

圧に変換され侵入するものがある。これを簡易に評価する方法として、観測用ログスキーコイル電流計の動作確認テスト用インパルス電流発生装置(図12)を改造することで流用することができる。評価対象箇所はインピーダンスが小さくなるため、大きなサージ電圧でなくても大きなサージ電流を注入できる。従って、注入装置はコンパクトな可搬形にまとめることができる。注入方法には工夫が必要で実態を反映した測定方法にする必要があり、図13(a)(b)に示すように注入回路を構成するサージ電流注入線は被評価ケーブルの実態の自己インダクタンスに影響を与えないように結線することが必要である。サージ電流が流れることで侵入するサージ電圧は、被評価ケーブル一端の線・シールドを短絡させ、そこにサージ電流を注入して被評価ケーブルにサージ電流を流し、もう一端からシールドと各線との間および各線それぞれの間の侵入電圧を測定することになる。測定場所は図13(a)の棟間、及び(b)の電気機器間のケーブルが考えられ、侵入するサージ電圧を測定することができる。

簡易のサージ電流注入装置は、被測定部になる部分、例えば雷対策ケーブル導入部のインピーダンスが一般的に小さく、従って、装置で加える電圧は小さくて済むため、コンパクトにすることが可能である。例えば、図12は、接地線に流れる電流検出用ログスキーコイルの校正用に開発したものであるが、改造しサージ電流注入用に洗練したものにすることで雷対策評価用サージ電流注入装置として充分使用可能である。

但し、被試験回路のインピーダンスは小さくなるが、抵抗、インダクタンスは一定では無く条件により変わる。その対策として、一般的になる評価指標を決める必要がある。それには、回路定数を変えることで一定の注入電流波形にして、評価することが必要になる。

竣工後の評価にも広く一般的に適用できる方法であり、雷対策ケーブルによる色々な雷対策場所の定量的評価が可能になる。

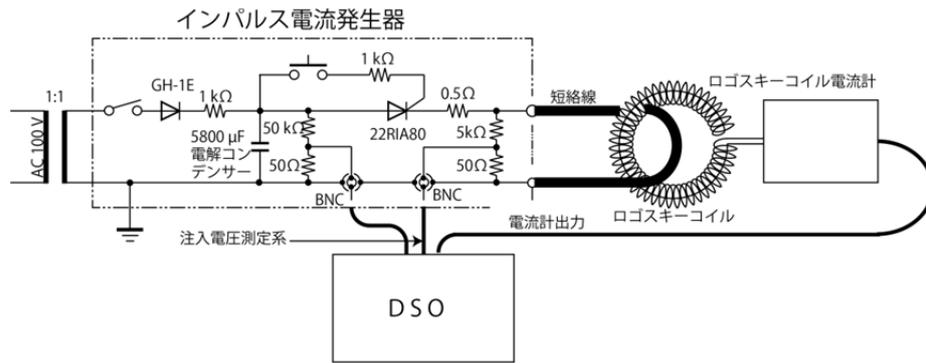
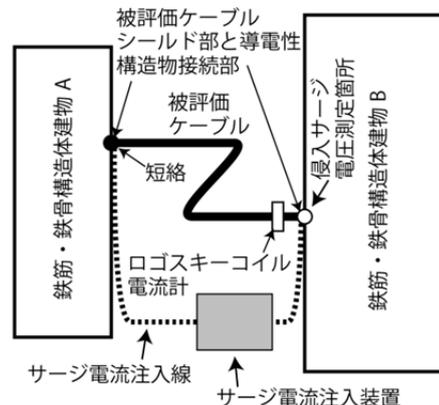
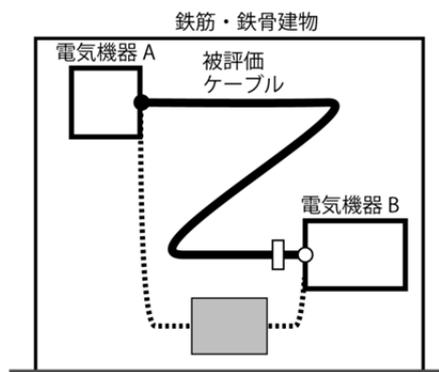


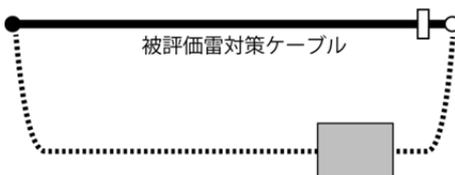
図12 ログスキーコイル電流計動作確認テスト用インパルス電流発生装置



(a) 棟間のケーブル  
サージ電流注入線は被評価ケーブルのインダクタンスを乱さない用に間隔を設ける。



(b) 電気機器間のケーブル



(c) 雷対策ケーブルの評価方法  
被評価雷対策ケーブルのインダクタンスは、サージ電流注入線との構成ループにより一定値が得られるようにする。  
例えば、同軸リターン構成、あるいは自由空間に近づけた中で被評価雷対策ケーブルをループ構成にし短絡箇所と侵入サージ電圧測定箇所を近づける構成がある。

図13 雷対策施工箇所ケーブルの評価方法

雷対策ケーブルのみの一般的な評価をする場合には、図13(c)のように雷対策ケーブルの外側シールドの相互インダクタンス(=自己インダクタンス)がサージ電圧侵入抑制効果に与える影響が大きいため、雷対策ケーブルには一定のインダクタンスが加わる状態にして評価するなど、評価に一般性を持たせるようにすることが必要である。

## 5-2 雷対策評価用誘雷設備の提案

誘雷設備は、図14に示すように①高い誘雷針にすることおよび②山腹に裸金属導線を垂らし等価的な被雷面積を大きくすることで誘雷頻度を高めることができる。

被試験機器は誘雷設備と山麓側共通接地極との間に置いて試験することになる。流れる電流も測定できるので耐雷特性の定量評価が可能になる。

雷電流路に測候所を置くことは電流路に沿って雷サージ電流による電圧降下を作ることになるので充分インピーダンスが小さくなければ避け、独立に山麓側共通接地極に持って行く必要がある。

避雷針は高くすることで誘雷効果を高めることができる。通年使用することを考えた場合、冬季の風雪に耐えられる、鉄骨構造など頑丈な構成にする必要がある。夏季期間だけを考えるならば、簡易構成で費用を節減できる方法にすることで導入可能ではないかと考えている。

誘雷線は、現在山腹に這わし垂らしている接地線を測候所から切り離し誘雷設備に切り換えることで流用できる(現在は切断されたままになっているようである)。一方、このことで、測候所への垂れ線を介しての被雷を少なくすることができる。

本提案の耐雷試験は、試験用雷サージの発生を自然に任せる方法であるが、実際の落雷で試験でき、貴重なデータが得られる方法になると考えている。

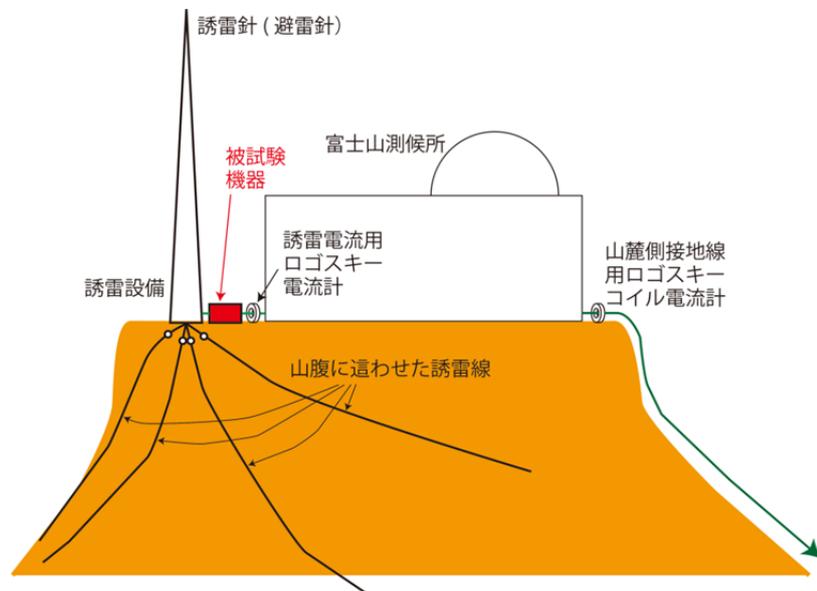


図14 落雷頻度が高いことを利用した誘雷設備

## 6. おわりに

次年度に使用する雷電流観測系は、今年度の測定で分かった問題点を改良した測定系で観測することを検討している。また、山麓への接地線に流れる電流の観測は、まだ恒久的に設置するようになっていないため、夏期の観測期間のみ設置し、終了すれば撤去することになる。今年度までのセンサーのセットは容易でなく熟知しているものが実施しなければならなくなっている。次年度は容易に設置できるものに改良した測定系で実現する予定である。

精度の高い測定を積み重ねることで富士山での雷の特徴を捉えることができ、また測候所での雷対策評価が実施できれば広く一般的な雷対策に生かすことができると考えている。観測機器設置場所で接地抵抗が得にくい場所は多くあり、そのような現場に類似した条件で評価でき、有効な雷対策方法を提供できることになる。

## 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。

なお、この研究の一部は2014年度 年賀寄附金配分事業「日本の自然環境・生活環境を保全するための富士山頂を利用した越境酸性雨観測」および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, 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).

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).

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)

安本勝:「低い接地インピーダンスが得にくい場所での避雷方法」, H21年度高エネルギー加速器研究機構技術研究会報告集, 計測・制御・回路技術研究会, 3-006(2010).

関電工:富士山測候所送電線接地調査報告書(H19.9.11).

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](mailto:myasumoto_2013@yahoo.co.jp)