

水滴落下時における絶縁破壊現象の観察と測定

南部 公孝, 北村 岩雄, 村井 忠邦, 池田 長康

Observations and measurements of discharge phenomena at falling of water drops

Kimitaka Nanbu, Iwao Kitamura, Tadakuni Murai, Nagayasu Ikeda

Observations and measurements of discharge phenomena at falling of water drops are examined for understanding of the lightning discharge at early stage. Since there is seldom investigation about the discharge phenomena, the investigation of this field is very important. The experiments are carried out with very simple apparatus which consists of a funnel with applied voltage and two needle electrodes. It is found that water drops spread like a cone shape at applying voltage and breakdown voltage with falling water drops decreases to 20 percent of that without falling them.

キーワード：絶縁破壊, 霧中放電, 落雷

1. まえがき

我々は、落雷があった後激しい降雨があることを度々経験している。しかし雷に関する成書には、落雷への進展はストリーマの先端での電離作用によるとしており、落雷と降雨の関係述べたものは見当たらない。我々はこの関係を明らかにしたいとこの研究を始めた。この研究は、より一般的には気体と液体の2相における一様非連続媒質での絶縁破壊現象ということになり、まだ未開拓の分野である。

2. 実験装置

激しい降雨時の落雷をシミュレーションするため、漏斗に正の直流高電圧を印加し、水滴を落下させながら、絶縁破壊の放電を観察した。この実験装置を図1に示す。絶縁破壊現象を観察しやすいように、電極間隔が広くとっても絶縁破壊が見られるように、電極として電圧印加側、接地側ともに長さ10cmのエナメル線(φ=0.45mm)の針電極を用いた。電圧印加側の針電極には、直流高電圧発生装置(最高電圧100kV)により正の直流高電圧を印

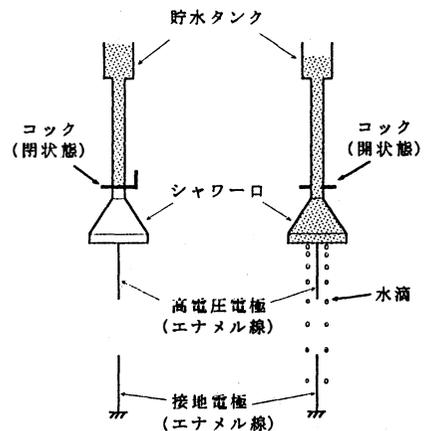


図1

加した。また水滴落下の方法は、タンクに水を貯めておき遠隔操作によりコックを開くことで、タンクに貯められた水をシャワー口より落下させる。シャワー口より落下される水滴は、正の直流電圧が印加される。電極間隔は5 cmに設定し、コックを開いてシャワーから水滴を落下させ、直流高電圧を印加して放電させる。

3. 実験観察結果

電極として電圧印加側、接地側ともに針電極を用いた実験で、水滴がない場合には図2 a) に見られるように、針電極から針電極への放電が見られる。水滴を落下させた場合でも印加電圧が低い場合は図2 b) の様に水滴は静かに落下するが、電圧を上昇するとともに水滴は互いに反発して図2 c) の様に傘状に広がる。絶縁破壊は起こるが、やや赤みを帯びた弱い光の放電が見られる。

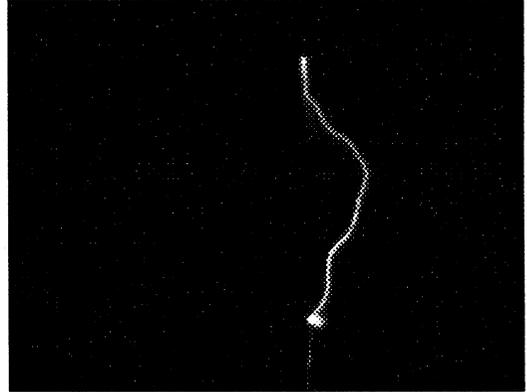


図2 a)



図2 b)



図2 c)

4. 水滴落下時における空気絶縁破壊電圧の低下

水滴を落下させた場合における電極間距離を変化させ、接地側電極を針状、円盤状及びこれらの組み合わせた形状での絶縁破壊電圧を測定した。

図3は両極とも針電極の場合で、水滴を落下させた場合 a) とさせない場合 b) の両方の結果を示す。水滴を落下させた場合、電極間隔が8 cm以下とそれ以上とでは破壊電圧の傾向が変わっている。これら破壊電圧との比をとると図4に示すように、この比は電極間隔が8 cmまで0.2程度で一定であり、それ以上の電極間隔では次第に大きくなっている。これは前節で述べたように、電極間隔が大きくなり電圧が上がると、荷電した落下中の水滴は互いに反発し、傘状に拡がり、電極付近には水滴が無くなり、水滴の効果がなくなり水滴を落下させない場合に近づくためと考えられる。

図5は針電極と円盤接地電極の場合で、水滴を落下させた場合 a) とさせない場合 b) の両方の結果を示す。

図6, 7, 8, 9はそれぞれ針電極と、円盤電極に差し込んだ針状接地電極の場合で、円盤電極に差し込んだ針電極の長さをパラメータとし、それぞれ1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cmとしている。それぞれの図では水滴を落下させた場合 a) とさせない場合 b) の両方の結果をそれぞれ示す。円盤電極に差し込んだ針電極の長さが3 cm程度になると、針電極—針電極の場合の特徴が見られるようになる。

また、針電極の長さが4 cmの場合の水滴を落下させた場合とさせない場合のこれら破壊電圧との比をとると図10に示すようになる。

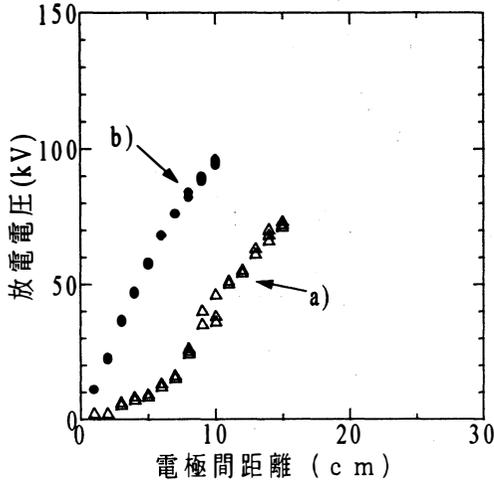


図3 電極が針—針の場合の放電電圧

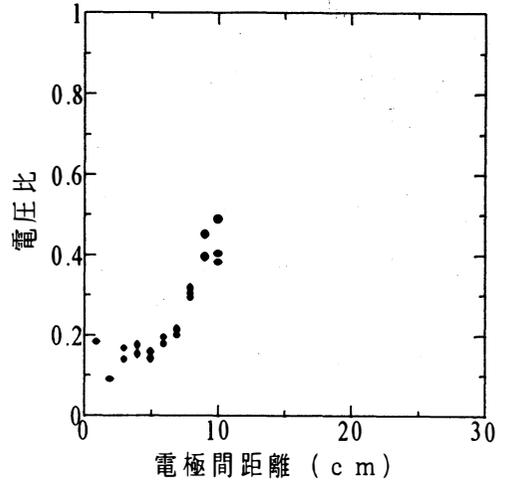


図4 水滴落下時の放電電圧比

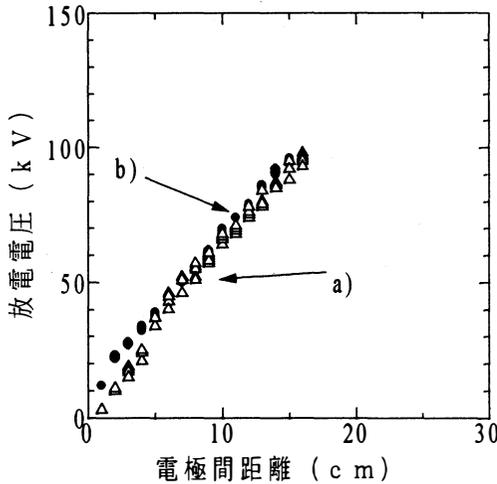


図5 針—平板電極の放電電圧

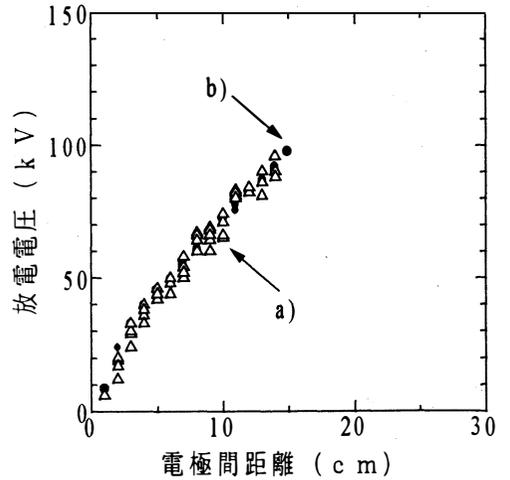


図6 平板電極から針電極を1 cm 伸ばした場合の放電電圧

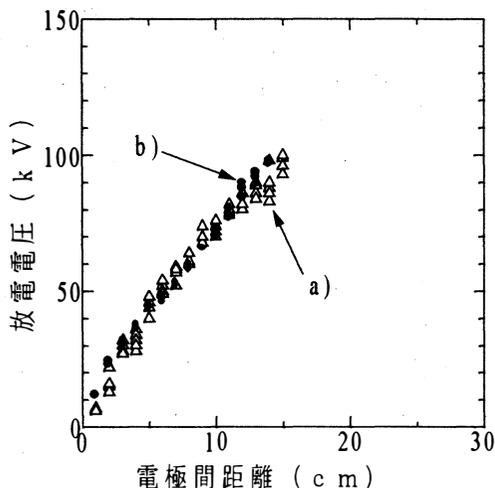


図7 平板電極から針電極を2 cm 伸ばした場合の放電電圧

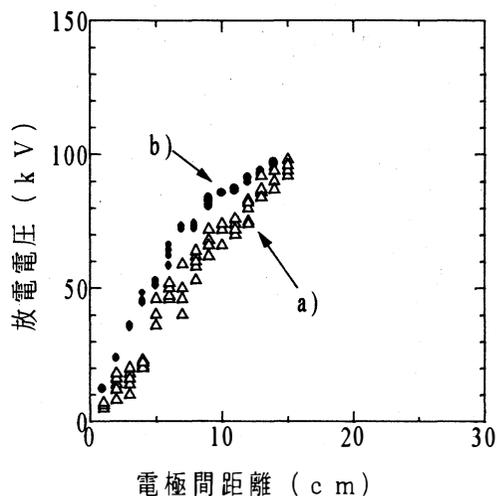


図8 平板電極から針電極を3 cm 伸ばした場合の放電電圧

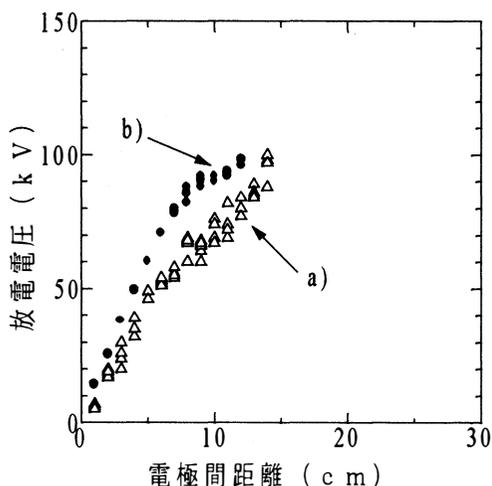


図9 平板電極から針電極を4 cm 伸ばした場合の放電電圧

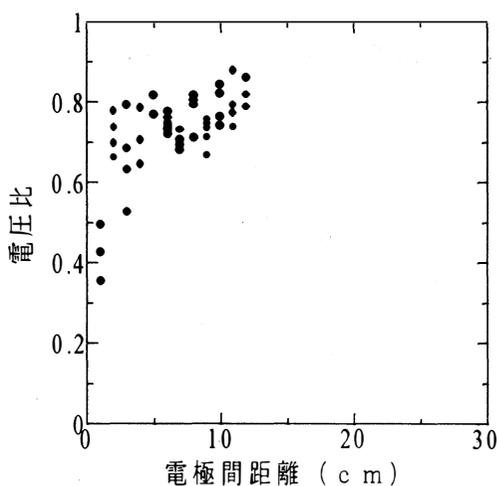


図10 平板電極から針電極を4 cm 伸ばした場合の電圧比

5. 実験結果の考察

水滴を落下させた場合とさせない場合とで、顕著な差異が図3の場合に見られた。電圧は0.2まで下がっている。しかし、電極間距離とともに、印加電圧が上がり、落下水滴の持つ電荷量は増加する。そして、互いに反発し、針電極の中心から水滴は遠ざかり、水滴のない場合と同じ破壊傾向を持つようになると考えられる。まず電極間距離8 cm程度までの現象は図11に模式的に示すように、水滴を通して絶縁破壊が起こり、水滴が大きくこれに寄与していると考えられる。すなわち絶縁破壊は電極間のある特徴的な半径 r_0 (これを特性半径と呼ぶことにする) の領域に水滴が入るとこれを介して絶縁破壊に至ると考えられる。従って、絶縁破壊電圧は極めて小さい。

次に、荷電水滴が電極間に仮想的に考えた特性半径 r_0 の外側を通る場合について考える。図3を模式的に書き直すと図13のようになる。ここでA点からB点までの特性について考える。同じ電極間隔 d について考えると水滴のない場合は P_1 の電圧 V_{B1} で破壊し、荷電水滴のある場合は P_2 の電圧 V_{B2} で破壊している。これらの状況を模式的に表すとそれぞれ図14a), b) のように表され、水滴のある場合は同図 b) のように負極を円錐状に正電荷が覆うことになる。このため負極からのコロナ放電は同図 a) の水滴なしの場合に比べ、対極までの距離が近くなり、電界が大きくなり、コロナ放電電流も大きくなることが予想される。従って水滴がない場合に比べ電極間隔が等価的に図13に示す d' と短くなり V_{B2} の低い電圧で絶縁破壊すると考えられる。AからBまでの絶縁破壊はあくまで水滴を介しない放電であるので水滴のない場合の絶縁破壊と相似の放電特性を持つものと考えられる。

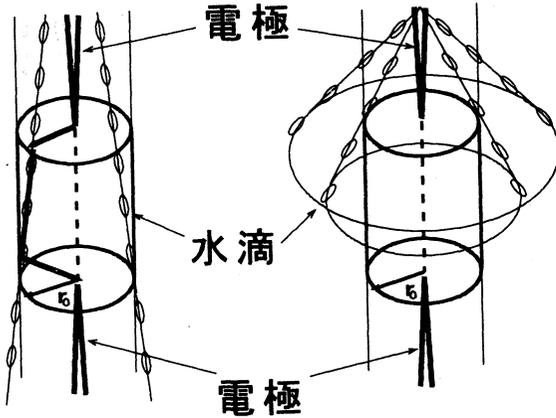


図11

図12

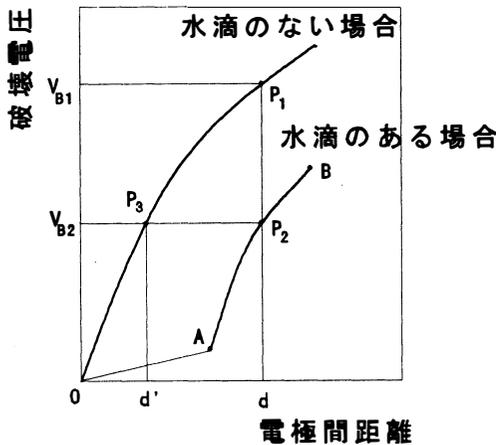


図13

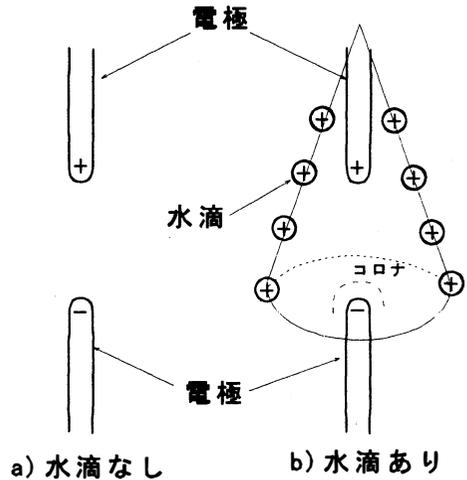


図14

6. あとがき

このような水滴落下時における放電現象は自然界には数多く見られるにもかかわらず、実験室内での実験はほとんど見られない。荷電水滴にはクーロン力や影像力が働く。そのうえ電界のもとでは静電誘導で分極するため、回転力、グレーディエント力などが働く。これらが強く相互作用を行い現象を複雑にしている。従って同じような条件をそろえることは極めて難しい。しかし、この実験では簡単な装置を用いて行ったにもかかわらず、新しい知見が得られた。今後より詳細に実験を重ね、水滴落下時における放電現象について調べ、最終的には落雷時における落下水滴の役割、効果について解析を進めたい。