

1

静岡大学 工学博士
横山 茂

雷現象

ばらつきのある大きさ



雷害問題は古くて新しい問題である。電力設備の本格的な雷害対策の歴史は1世紀以上になろうとしている。それにもかかわらず、雷による送電線の地絡による瞬時の電圧低下が、半導体工場に大きな被害を与えたり、ダイヤル式の黒電話の時代には、あまり目立たなかった、電話の被害が急増したりなど、雷害様相は大きく変化しており、これらの被害には早急に対策手法の確立が求められている。ここでは、被害原因の解明と対策のため、はじめに、敵である雷自身をよく知ること、すなわち、雷被害に関係する雷パラメータが大きくなばらつきのある現象であることを理解していただくため、最近の知見をいれながら雷現象を概説する。

図1 年間雷雨日数分布図
(1954~1963年、10年平均)

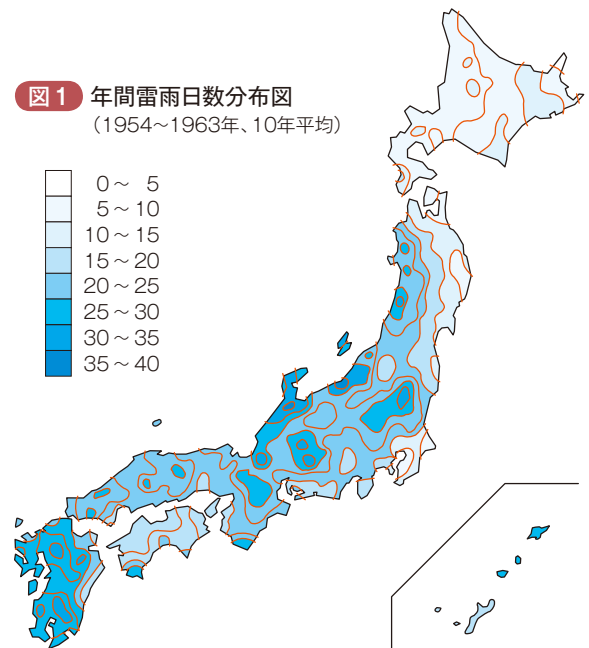
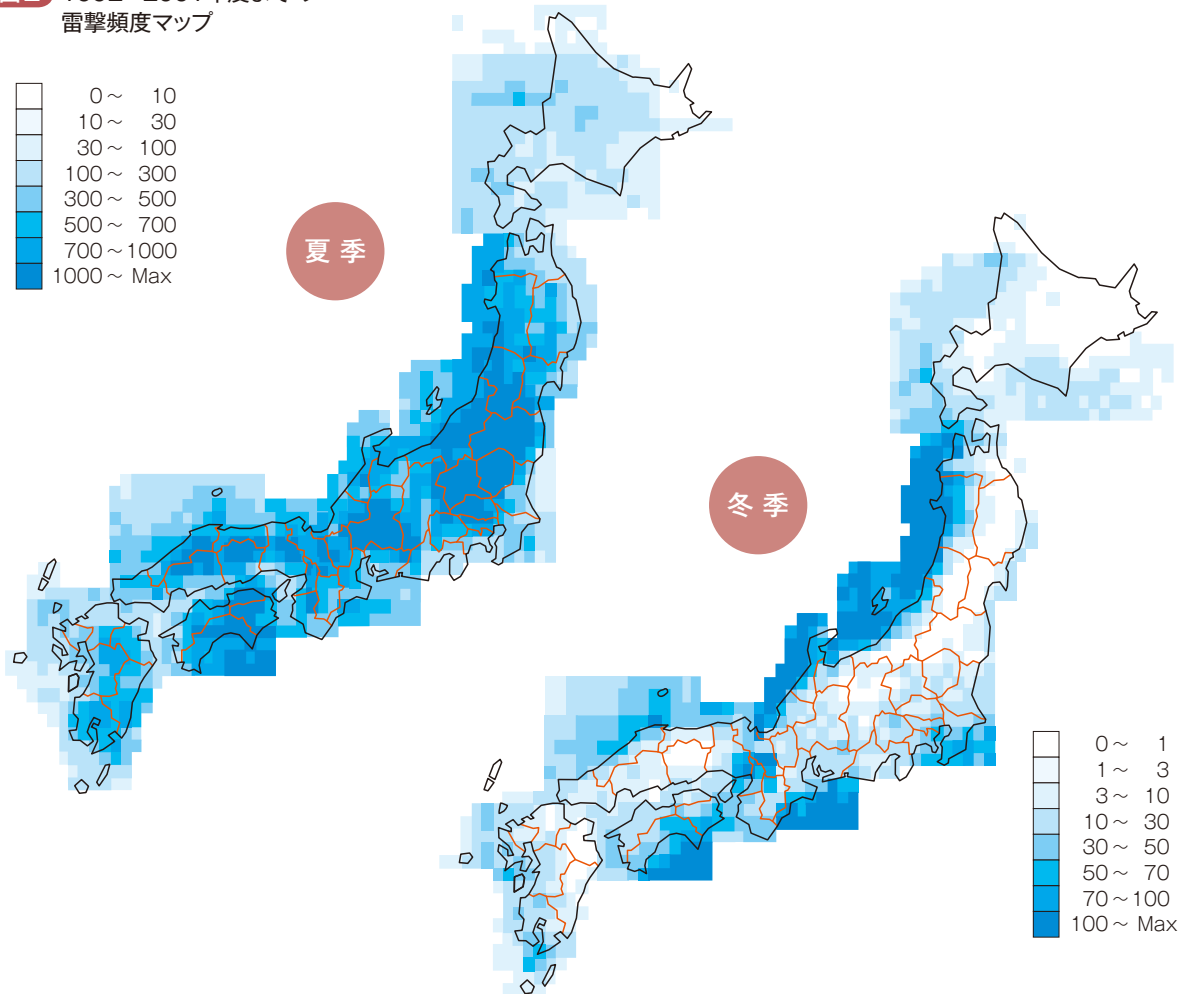


図2 1992~2001年度までの
雷撃頻度マップ



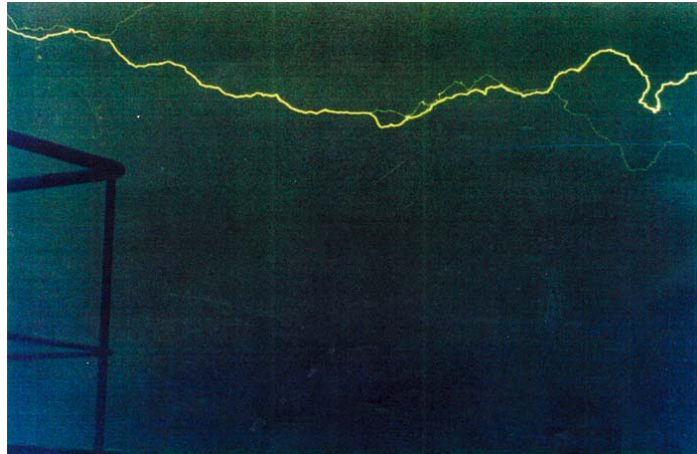
バラツキが特徴の雷現象

1 従来の雷雨日数分布と 落雷位置標定システムのデータ

雷の多い地域と少ない地域に分けることは、合理的な雷害対策を策定するため、重要である。我が国では、1954年~1963年にわたり人間の耳目により観測した雷雨日数に基づいて作成した年間雷雨日数分布図を、雷の頻度の指標にしてきた。[図1]に年間雷雨日数分布図を示すが、栃木県や群馬県など北関東が雷雨日数のもっとも多い地域の一つである。1970年代に遠方の電磁界を観測して、一つ一つの

落雷の位置と時刻を正確に記録する落雷位置標定システムが米国で開発された。日本でも、各電力会社に1980年代から1990代にかけ順次導入され、北海道、本州、四国、九州の4大島については、落雷位置標定システムのデータが得られるようになった。これらのシステムは9電力ごとに、運用されている。[図2]に落雷位置標定システムによる落雷回数データをしめすが、おおむね年間雷雨日数分布図とよく似た傾向をしめしている。2000年代になると、民間の気象会社が、沖縄を含めた日本全土を観測範囲にいたシステムを統一して運用するようになった。

図3 水平方向に伸びる雷放電



2 雷は大気中の長い放電

雷は、長い時には10km以上にもわたるもっとも長距離の大気中の放電現象である。一般に放電は、電圧を印加している箇所から接地などへ最短距離を進むのではなく、多少なりともジグザグに進む。雷も、大気中をジグザグに方向を変えて進展し、大気状況によっては、**図3**にしめすように、大きく水平方向に延びることもある。

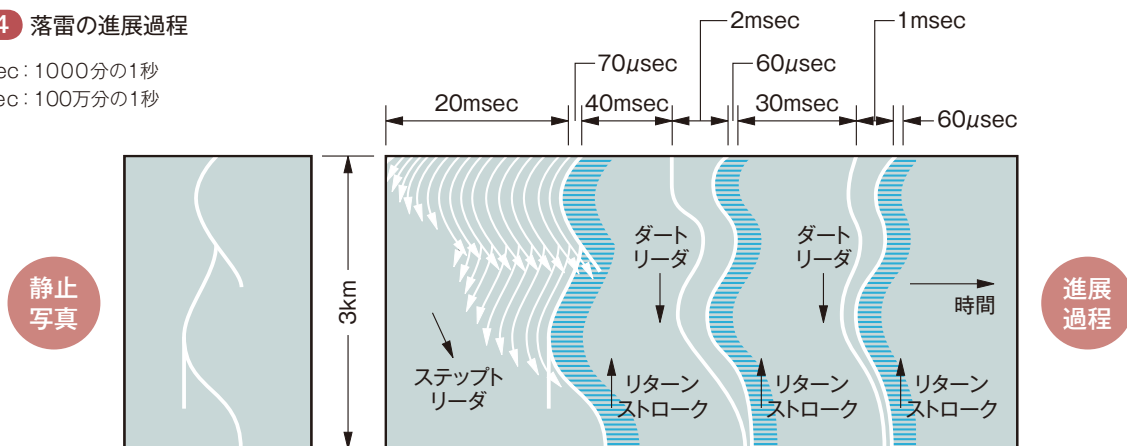
3 雷の進展様相と多重雷

人間の目には、一瞬に放電してしまう雷放電も、高速の観測装置で観察すると**図4**に示すように、雷

雲から大地に向かい、放電が階段状に進展する。これを階段状先行放電(ステップ・リーダ)と呼ぶ。先行放電が大地に接近すると、接地側に逆極性の電荷が誘導され、その電荷により作られる高電界により接地側から迎える放電が伸びだし、下向きのステップ・リーダと迎える上向きの放電がつながると、大地に誘導された電荷が、雷雲に向かい放電路を通して雷雲に流れ込む。この過程をリターンストロークと呼ぶが、大きな音や光がでるのは、この過程である。雷放電は1回でおわることは少なく、しばらく経ってから(数10ミリ秒)最初の放電路を通して、もう一度放電が生じる。雷放電は1回で終わる場合もあるが、通常数回このような放電を繰り返すことが多く、これを多重雷と呼ぶ。

図4 落雷の進展過程

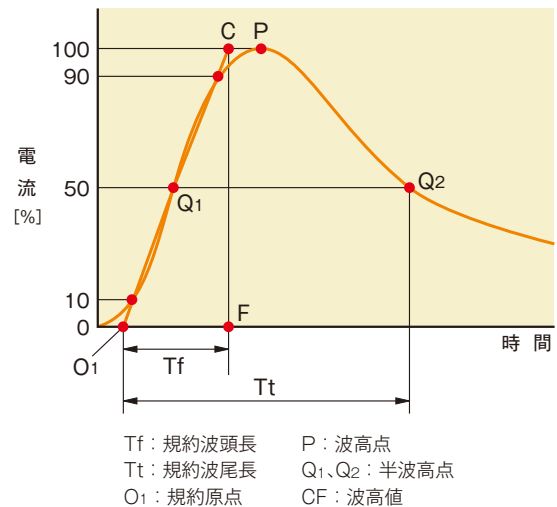
msec : 1000分の1秒
μsec : 100万分の1秒



4 雷電流の特徴

雷の電流は[図5]に示すように、波高値、波頭長、波尾長で表す。波高値は電流の最大値で、小さいものでは、1000アンペアぐらいから、大きいものでは30万アンペアぐらいまであり、3万アンペア付近を中心に分布している。波頭長は、電流が流れ始めてから、波高値に至るまでの時間で、1マイクロ秒(100万分の1秒)から10マイクロ秒(10万分の1秒)程度である。波高値が大きいほど、波頭長が短いほど送電線や配電線に生じる過電圧の大きさは大きくなり、危険な雷電流である。一方、波尾長は雷のもつエネルギーに関係しており、波尾長の長いほど避雷器や避雷素子(SPD)を破損、焼損させる可能性が増える。

図5 インパルス電流の表示



雷パラメータと雷害原因

電気は、碍子という絶縁物で、電線を地面から絶縁して送電している。送電線や配電線に雷が落ちると、電線と地面の間に高電圧が発生して碍子の位置で放電がおこる。これをスパークオーバ(閃絡)と呼ぶ。いったん碍子の絶縁が破れると、雷の高電圧が消滅した後も電力会社の送る電気が雷による放電の経路を通り流れ続ける。このときには、電力会社は変電所でいったん電気の供給を止め、碍子での放電を切り、再度送電を開始する。この雷による絶縁破壊から送電を止めるまでの間に、電力会社が送る電気が大地に流れるときに碍子や電線に大きな熱を発生させる。送電線や配電線における雷被害は、最終的には電力会社の送る電気のエネルギーで起こることが多

い。雷は絶縁を破壊して、電力会社の電気を地面に流して被害をおこすきっかけを作る役割をする。

雷電流の波高値が大きい時に高い電圧が発生する。また、波頭長が短いほど高い電圧が発生する。逆に、避雷針をはずして建物の壁面を破壊する被害は、雷電流の波高値が小さい雷ほど、生じやすい。

さらに、避雷器が焼損する事故は、波頭長の長さにはあまり影響されず、雷電流の継続時間(電荷量)に大きく影響される。

このように、被害の種類により、雷のパラメータの影響の度合いが変わるので、雷害対策には様々な雷のデータが必要になる。

冬季雷の発生とその多発地域

日本海沿岸では晩秋から冬に雷が頻繁に発生する。これを冬季雷と呼ぶが、夏季の雷とは発生機構が異なる。相対的に暖かい対馬暖流が北上するところに、シ

ベリアから冷たい北西風が吹き、上昇気流により雷雲が洋上で発生し、日本海沿岸に雷雲が上陸する。

一方、夏は、日射により地表面が急激に暖められ、

激しい上昇気流が発生することでの雷雲が成長する。おおまかにいうと、夏の雷は内陸性で、冬の雷は海洋性である。雷の電荷の分離は-10度から-20度の層で起こる説が有力であるが、その説から、日本海沿岸の冬季には、夏に比べてかなり低い層で電荷の分離が起こる。すなわち冬季雷は夏に比べて低いところに行ける。

冬季の雷の多発地域は、日本では、青森県から島根県あたりまでの日本海沿岸地域である。相対的に暖かい海や湖の上空を冷たい風が渡る条件のあるところでは、夏でなくとも雷は発生すると考えられる。

太平洋側では、冬季の雷が頻繁に発生する地域はないが、八丈島など伊豆の島や、紀伊半島の先端などでは、冬季にも雷が発生する。西からの風が山をこえて海に入り再び上陸すると、日本海沿岸と同様な状況になり、雷が発生する。

ノルウエーやスウェーデンなどスカンジナビア半島や北米の五大湖東岸などでも冬季の雷のあることが知られているが、日本海沿岸のように、厳しい被害を伴うことは、あまり報告されない。冬季雷の発生地域で雷被害が目立つのは、人口密度が比較的高い日本海沿岸部だけかもしれない。

冬季雷の特徴

冬季の雷の性状は、以下のように夏季の雷とは大きく異なる。

- (1) 昼夜の別なく1日中いつでも発生する。夏は大地面が十分暖まる昼過ぎから夕刻にかけて雷が発生するが、日射と直接関係ない冬季雷はいつでも発生する。
- (2) 夏季の雷に比べて発生数は少ない。(一発雷)
- (3) 夏季はふつう雷雲から大地方向に下向きに放電するが、冬季雷では放電が上向きになる。**[図6]**に、夏季雷と冬季雷の写真を示す。
- (4) 1回の雷放電で流れ出す(中和される)電荷量が異常に大きいものがある。通常の夏季雷の30倍以上にもなることがある。
- (5) 正極性の放電が多くなる。夏季の雷電流の極性(雷雲から大地方向に測る)は、90%が負極性であるが、冬季雷では、30%から50%が正極性になる。

冬季雷は電力設備などに、きわめて重大な被害を及ぼすことが多いが、関東地方でも、山岳地域で発生する雷には、冬季雷に似た性状をもつと考えられる雷が発生して、かなり厳しい被害を与えることがある。

図6 冬季雷と夏季雷の放電様相



冬季雷(上向き枝分かれ放電)



夏季雷(下向き枝分かれ放電)

建築物の雷被害 — 雷撃はどこに飛びつくか —

コンクリートの建物に雷撃すると、簡単にコンクリートが破損する。これを防ぐために避雷針で雷を捕捉することが重要である。避雷針で雷撃を捕捉すれば、安全に雷電流を接地まで流すことができるし、一方、建物の壁面に雷撃すれば壁のコンクリートが破損、落下する。避雷針の設計は、従来、建物の頂部から見る角度で保護範囲を決めていたが、国際的な指針に従い、雷撃距離の考え方をもとにした回転球体法が用いられるようになってきている。

時代の移り変わりとともに、人々の電気供給の信頼性に対する要求が変化し、また、高度情報化の進展とともに、使用される電気製品や情報通信機器の回路も大きく変化している。この変化は雷害対策に大きく影響し、求められる要求も厳しくなる。落雷頻

雷撃距離とは、雷が先行放電で雷雲から地面に近づくとき、**[図4]**に示すように、ステップ状に進んではとまり、さらに進むことを繰り返すが、対象物に最後に雷撃する直前の、先行放電の先端の位置と、雷撃した点の距離のことである。一般に雷電流の波高値の小さい雷ほど、雷撃距離が小さくなり、避雷針で捕捉することが難しくなる。送電線の架空地線も同様で、雷電流の波高値の小さい雷ほど捕捉できない場合が増える。

度や雷電流の性質を十分に理解して、必要とされる対策手段を適正な費用で実施することが重要である。雷は、いつどこで起きるか分からないことや、高電圧で大電流が流れるため、安全対策が厳しく要求されるなど、観測することは、従来はかなり難しいものであった。最近では、光ファイバーケーブルやデジタル・オシロスコープの発達により、比較的簡単に測定できるようになってきている。雷害対策の更なる効率化のためには、もう一度雷の性状を地域ごと、季節ごとに明らかにして、合理的な雷害対策指針を打ち出すことが重要である。