

## 160 「雷の不思議」

建設会社で設計部門に所属し、電気関係の仕事を行ってきた。

さまざまな建物の電気設備の設計をし、工事の監理を行い完成させる。

建物の電気設備は電力会社から電気を受電し、建物内に配電、配電盤から電気の必要な機器（空調や照明など）に供給し、それらを機能させることで安全で快適な環境をつくる。

建物の種類は多く工場、物販、事務所、病院、データセンター、集合住宅など様々で、規模の違いにより電力会社から受ける電気の電圧が異なる。契約電力50kWまでは小規模建物：低圧（100Vや200V）、50～2000kWは中規模建物：高圧（6000V）、2000kWを超えると特別高圧（20000V、場合によって60000V）である。

建物内で使用する電気機器の電圧は通常100Vまたは200Vなので、高圧や特別高圧で受電する建物の場合、建物内で電圧を変換する必要がある、それを自家用受変電設備と呼んでいる。

通常最も多いのが高圧受電で、低圧受電や特別高圧受電は少ない。高圧で受電した電気は変圧器で低圧（100/200V）に変換し、配電盤からケーブルで建物各所・各階の分電盤等に送電、分電盤から照明などに電気を供給することで、初めて照明が点灯しエアコンが動く。

一方、建物にとって電話や通信機器、加えて防災設備も必須アイテムであり、建物の安全性や快適性に深く関係する。建物が稼働するためには、それらを支えるコンピュータの機能が必要不可欠であることは言うまでもない。建物に限らず、社会全体がコンピュータに支えられているといっても過言ではない。建物を含む社会インフラは災害に弱く台風、地震、火災、雷によって機能が失われ混乱を引き起こす。電気設備は特に台風などの水害に弱いので、水没する可能性のある地下などに受変電設備や配電盤、防災センターや監視センターを配置しないことは常識である。

そして、電子機器であるコンピュータが最も弱いのは雷である。建物の屋上に取り付けられる避雷針は「雷を避ける」と書くので、避雷針が付いていれば雷の被害を受けないと思いがちであるがそれは間違いである。

建築基準法では、高さ20mを超える建物には避雷針の設置が義務付けられている。20mに十分な科学的な根拠があるわけではないが、高い建物には雷が落ちやすいことは誰でも知っている。

避雷針がなければ、雷は屋根や建物の角など尖った部分に落ちる可能性が高く、その部分が破壊されたり火災になったりする。避雷針があれば、避雷針に落ちる可能性が最も高く、避雷導線を通して雷電流が地中に流され、建物が被害を受けることはない。

昔はこれで良かったが、情報時代となった現代は違う。避雷針があっても建物内の電子機器は被害を受ける。むしろ避雷針があることで建物内に雷を呼び込むことになり、電子機器の被害を増やすことに繋がることは余り知られていない。そのメカニズムは次のように説明できる。

ビルは通常、鉄筋か鉄骨などの金属体で造られる。避雷針は建物の最上部に設置され、避雷針を取り付けた太い金属パイプは鉄筋や鉄骨にボルトなどで堅固に固定される。避雷針には避雷導線が繋がれ、地中に埋設された接地板に接続される。

避雷針に落ちた雷の大部分は、避雷導線を経由し地中の接地板から大地に放流されるが、その一部は鉄筋や鉄骨に流れ込んでしまう。それは、上記のように避雷針が鉄筋や鉄骨にボルトなどで固定されているので、電氣的に繋がっているためである。対策としては電気を通さない絶縁物（プラスチックやセ

ラミックなど)を介して建物に固定すればよいが、それらは避雷針を取り付けた太い金属パイプを固定するには強度的に適さないのが、必然的に雷電流が流れることを防ぐのは難しい。

鉄筋や鉄骨は建物全体に張り巡らされているので、流れ込んだ雷電流の一部は建物全体に流れてしまう。電気機器は感電防止のため接地(アース)が必要であり、漏電した場合人が触ると危険な金属製外箱は接地線を通して地中に埋設された接地極に接続される。避雷針の接地と電気機器の接地は目的が異なり全く別物であり、それらは電氣的に繋がっていないはずであるが、実際はそうになっていない。

電気機器は一般的に金属製の箱に収められ、建物内で支持・固定されずに置かれることは少なく、通常は床・壁の鉄筋や鉄骨に溶接した金物にボルトなどで支持・固定される。このことで、地震による転倒が防止される反面、意図せずに電氣的には繋がってしまうのである。そのため、鉄筋や鉄骨に流れ込んだ雷電流の一部は電気機器の外箱にも流れ、感電防止を目的とした接地極にも流れてしまう。

防災センターや監視センターなどの機器類の多くは電子機器によって機能する。それらの電子機器は、感電防止のための接地の他に、安定稼働のため一定電圧を維持する目的で別の接地が必要とされる。

以上の接地(雷用、安全用、安定稼働用)はそれぞれ目的が異なるため、接地極や接地線は全て独立していなければならないが、上記の理由により建物構造体(鉄筋や鉄骨)に電氣的には繋がってしまうのである。

万一、建物に雷が落ちた瞬間に人が鉄骨や鉄筋、あるいは電気機器に触れていた場合はどうなのか?これはあまり心配する必要はない。避雷針に落ちた雷電流の大部分は、避雷針の接地抵抗が非常に小さいため、避雷針→避雷導線→接地極を経由し速やかに大地に放流される。

そのため鉄筋や鉄骨、電気機器に流れ込むのはごく少量、しかも鉄筋や鉄骨は建物全体に張り巡らされているので、少量の電流がさらに分流することで、人体が危険となるような電流が流れる心配はほとんどないと考えて良い。しかし、人体に危険が及ばない程度の雷電流であるが、それでも電子機器にとっては大敵である。電子機器はICで造られ、非常に高電圧に弱い。高電圧といっても数十から数百ボルトで機器によって異なる。ごく少量の雷電流でなぜ高電圧が発生するのか?

これは少し難しく専門的な知識が必要となる。電子機器には接地線を通して雷電流が流れ込むが、電線に瞬間的に電流が流れ込む時に高電圧が発生する。これは電磁誘導現象による電圧で、発生する電圧の大きさは「電流の変化する速さ」と「電線のインダクタンス」によって決まる。

雷の電流は瞬間的に変化し数 $\mu$ 秒( $10^{-6}$ 秒)で0になるので電流の変化は非常に大きい。またインダクタンスとは、電線に電流が流れる時、電線の周りに磁界が発生するが、その磁界は流れる電流を阻止する方向の電圧を発生し、その電圧の大きさは電線のインダクタンスによって決まる。

つまり【インダクタンス】×【電流変化速度】=【発生電圧】であり、インダクタンスは電流変化を電圧に置き換える比例定数である。そして、電線のインダクタンスは細い電線ほど大きい。従って、電子機器にとって流れ込む雷電流はごく小さくても、その電流変化と接地線のインダクタンスによって、電子機器にとって耐えられない電圧を発生することになるのである。

雷による電子機器の被害が表面化したころ、雷の勉強を始めた。

雷の研究についてはドイツが最も進んでおり、ドイツを中心にIEC:国際電気標準会議(International Electrotechnical Commission)においてまとめられた、雷に対する国際規格を中心に新しい知識を蓄積することに務めた。

社外委員会にも積極的に参加し、それらの知見をもとに、社内において雷対策に関する技術相談等を

行った。雷に対する I E C 規格は定量的に解析できることが特徴である。

「38 現在の仕事」に書いたように、

「高層ビルの外壁側面に対する落雷確率計算プログラム」

「I E C 規格に基づく雷リスク解析計算プログラム」などを作り、雷対策に関する社内の技術レベルアップに務めた。

雷に関しさまざまな知識を得て、雷の振る舞いを検討しているとき不思議なことに気付いた。それは“雷は落ちた後の自分の行き先を落ちる前から知っているのではないか”ということだ。

そこで思いだしたのが「41 最小作用の原理」である。

#### ① 電気

「不均質な物質中を電流が流れるとき、発生する熱が最小となるように電流が分布する」

電流は金属中にある自由電子の流れで、その電子が金属を構成する原子に衝突するときに発熱するのであるから、電子は最も衝突の少ないルートを選んで物質中を流れていく。それは、電子が最もエネルギーを失わないために、あたかも自分の進む道を事前に知っているかのように思える。

#### ② 物体の運動

物体の運動軌道に沿って、各瞬間の運動エネルギーと位置エネルギーの差をとり、初めから終わりまで合計（積分）したものを“作用 S”とする。この作用とは、物体が運動するときの“大変さ”のようなものだと考えればわかりやすい。

この作用【運動エネルギー】－【位置エネルギー】の各瞬間の合計が最小になる軌道がニュートンの運動法則を満たすのである。その意味することは、速度の時間的変化（加速度）と位置エネルギーの時間的変化（力）の和は、各瞬間で常に 0 になるということを示している。

このことは、最小作用の原理が成り立つと、微分法則（各瞬間で常に 0）が成り立つことを示している。軌道全体で最小ということは、軌道の無限小（各瞬間）の部分も最小でなければならないことになり、従って微分方程式が成り立つことになるのである。物体は最も“大変さ”のないように動く。

#### ③ 光

「電気」「物体の運動」でみてきたように、光についても最もロスが少ない経路を選んで進むと考えるとどうなるか？

光は粒子と波動の二面性を持つ。粒子ととらえると光は直進し、また境界面では屈折や反射するが、これは光が最も早く到達するように最短経路を選んで進むためだ。速く通過すれば光の粒子が水の分子に衝突する時間が短くなりエネルギーロスが少なくなる。これがフェルマーの原理である。

一方、波動ととらえると光はあらゆる経路をとるが、観測される波はいろいろな経路を辿った波の和である。経路によって波はいろいろな位相をとることになり、加えられる波の位相差が大きすぎると互いに消しあってしまう。結局残る波は同じ位相で強められた波であり、この波が最もエネルギーを保持し遠くに到達する。これが光の進む方向でホイヘンスの原理といっている。

「電気」「物体の運動」「光」で共通しているのは、最もエネルギーロスが少なくなるように振る舞うということである。この中で、雷に対する前述の疑問に対し、最も納得しやすいのが「物体の運動」で

ある。雷電流は、各瞬間において微分法則（全ての瞬間においてエネルギーロスが最小）が成り立つような経路（枝分かれした複数の経路すべて）を選んで流れると考えると、“雷は落ちた後の自分の行き先を落ちる前から知っているのではないか”ということが本当に思えてくる。

つまり、流れていく先にギャップなどがあり通れなくなることが、そこに到達して初めてわかるのではなく、通れないことは予め分かっているとしか考えられない。

そう考えると、あたかも頭脳を持っているかのような振る舞いが理解できる。

(2024.09.02)