



天 気

1992年4月
Vol. 39, No. 4

2: 203 (落雷; 生命の安全; 死傷)

〔解 説〕

人体への落雷と安全対策*

—1991年度藤原賞記念講演—

北 川 信 一 郎**

1. まえがき

1991年度藤原賞を戴きましたことは、得難い栄誉と感激いたしております。授賞の対象の一つとなった「人体への落雷の研究」について、安全対策を含め、実際に役に立つ解説を試みます。

落雷による人体の死傷については、多数の報告、論文があり、Golde and Lee (1976) は、これを概観する広範な総合報告をまとめています。本邦では、1967年8月1日西穂高岳独標でおきた松本深志高校一行の落雷遭難事故について、詳細かつ広範な報告書（松本深志高校、1969）が刊行され、1968年6月23日の谷川連峰蓬峠の落雷事故についても、詳細な報告（気象庁山岳部、1968）が発表されています。しかし、実際に役立つ安全対策を確立するには、人体への落雷の電気的特性を明確にし、この現象が人体に及ぼす効果を、医学的に解明することが前提となります。従来は、このような研究が欠如していたため、いわゆる「避雷心得」は、常識的に流布されていたもの、専門家が提唱するものいずれも、的はずれで役立たないものが大多数でした。

筆者は、1971年、医・理・工の3分野の研究者からなる「人体への落雷の研究グループ」を組織して、この課題に取り組み、模擬人体、動物を用いる広範な実験的研究を行って、問題解明の定量的な根拠を明確にしました（北川他、1971）。またこれと平行して、人体の死傷を伴

う多数の落雷事故の現地調査を行い（大橋他、1978、1979、1988、石川他、1983、北川他、1989、1990）、調査は今年に及んでいます。「研究グループ」は、実験と調査を総合して、人体への落雷の特性を明らかにした研究結果を、その都度、関係学会に発表しています（例えば北川他、1986、1988-a、1988-b、Ohashi *et al.* 1986）。また日本大気電気学会は、この研究結果に基づく安全対策を、Q & A 形式で解り易く解説したパンフレットを刊行しています（日本大気電気学会、1991）。今回は、研究結果の要点をまとめ、従来の「避雷法」に代わる本来の安全対策を説明します。

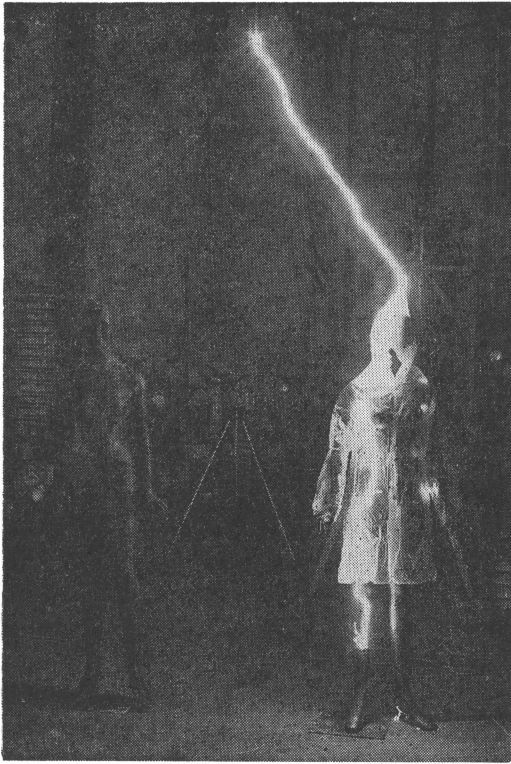
2. 人体への落雷を模擬する実験

「人体への落雷の研究グループ」は、雷撃を模擬する衝撃電圧（主として波形 $1/40 \mu\text{s}$ で表される雷インパルス電圧）を使用する各種の実験を行った。実験の目的の第1は、人体が落雷を受けたときの人体内外の電気現象を解明することで、電気的に人体と同等な等身大の人形を製作し、その頭上に1~4mの空気間隙において棒電極を設け、これに雷インパルス電圧を印加する放電実験を行った。

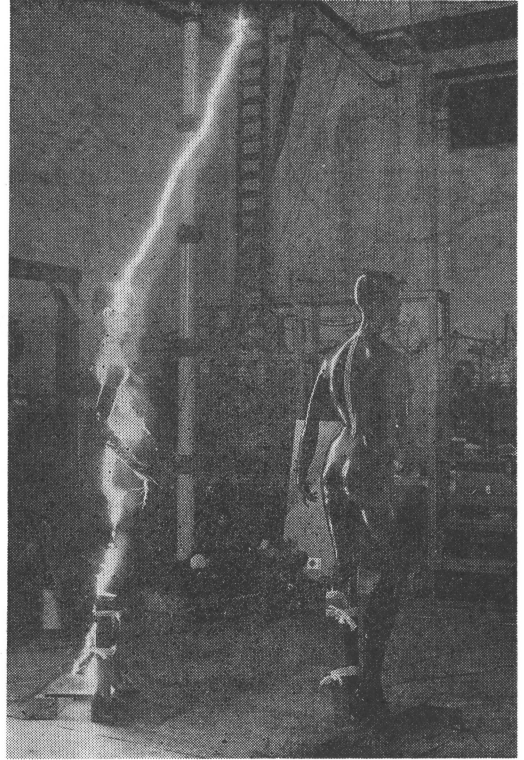
実験の目的の第2は、この電気現象が、人体に及ぼす影響—生死、傷害、救急法等—を医学的に明らかにすることで、ウサギ、ラット、マウス等の動物に、雷インパルス電圧を印加し、電流、電圧波形を記録すると同時に、心電計、呼吸計、血圧計によるモニターを行う多様な実験を行った。

* Thunderbolts on human bodies and safety measure.

** Nobuichiro Kitagawa, 中央防雷株式会社.



第1図 落雷を模擬する放電は、ビニール・レインコートを着た模擬人体に進展した。



第2図 落雷を模擬する放電によって、模擬人体に沿って沿面フラシオーバが生じた。

これらの実験的研究から、従来知られていなかった多くの知見が得られた。人体への落雷を考察する上で、重要な結果は、以下の通りである。

(1) 人体の皮膚は絶縁性で、 1 cm^2 当たり $10\text{ k}\Omega \sim 100\text{ k}\Omega$ の抵抗値を持つ、これに対し内部組織、血液、内臓、筋肉等は、導電性で皮膚の抵抗を除くと、頭から両足まで身長方向の抵抗は約 300Ω である。波高値 $1,300\text{ kV}$ 程度の雷インパルス電圧を加えると、皮膚に相当する抵抗皮膜は勿論、ビニール・レインコート、ゴム長靴の絶縁効果は失われ、模擬人体は単に 300Ω の導体として作用する。第1図は、模擬放電実験の一例で、棒電極から等距離においた二つの模擬人体のうち、ビニール・レインコートを着た模擬人体に放電が進展している。

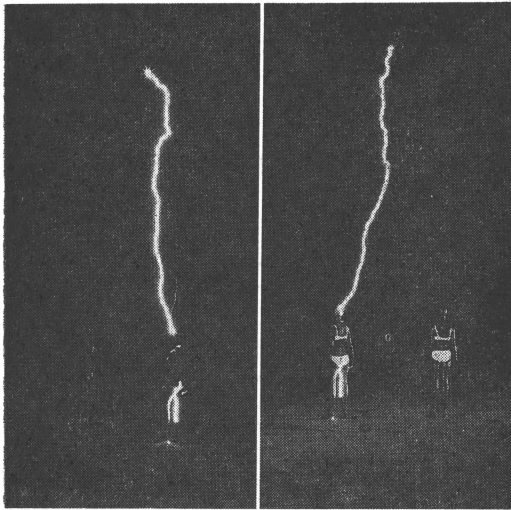
(2) 模擬人体、ウサギの表面では、空気中の針対針電極間の平均火花電位傾度の約 $1/2$ の電位傾度 (250 kV/m) で沿面放電が進展する。第2図は、この結論を導いた放電実験の一例で、左側の模擬人体では、頭部の電撃点から足をへて地表まで、全身にわたって沿面放電が連

続している。このように連続する沿面放電は沿面フラシオーバと呼ばれ、線状に進展する放電路はストリーマといわれる。

(3) 動物の死因は、呼吸停止・心停止で、これは体内を流れる伝導電流によるエネルギー（電圧×電流の時間積分）が、体重に対して一定値を超える時におこる。ウサギ、ラット、マウス等、体重の異なる多数の動物の実験から、死亡限界エネルギーは、共通して体重 1 kg あたり (62.58 ± 11.93) J である（大橋他, 1981）。

(4) 落雷を受けた人体の皮膚面に、しばしば現れる電紋は部分沿面放電による熱傷の痕跡である。

(5) 電極—模擬人体の間隙を 4 m とした第3図に示す大規模放電実験では、頭部にヘアーピンを付けた模擬人体と付けない模擬人体への放電確率は同等で、小金属片の放電誘引効果は全く認められなかった。これに対し、第4図の例のように、頭部から棒電極方向に 20 cm 以上突き出る棒状物体があると、その物体の導電性によらず放電誘引効果が認められた。



第3図 落雷を模擬する間隙長4mの放電は、ヘアピン付き模擬人体(右)、ヘアピン無し模擬人体(左)にはほぼ同回数進展した。

第1表 落雷事故の分類と被害者数

| | 落雷数 | 死亡者 | 重症者 | 軽症者 |
|--------|-----|-----|-----|-----|
| 直撃落雷 | 37 | 29 | 9 | 31 |
| 側撃事故 | 19 | 14 | 11 | 67 |
| 多点同時落雷 | 4 | 7 | 6 | 24 |
| 屋内事故 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 合計 | 62 | 50 | 26 | 124 |

3. 人体への落雷事故の調査

「研究グループ」は、1965年7月から1991年6月までの26年間におきた人体への落雷62例を調査し、その結果を、落雷地点による名称を付けて整理し、模擬実験結果と対比して検討を加え、その実態と本質の解明につとめた。第1表に、事故の分類と各グループ毎の死亡者、重傷者、軽傷者の数を示す。62落雷中、37落雷は直撃事故、19落雷は側撃事故を起こし、4落雷は直撃型であるが、1落雷で、多数の死亡者、重傷者を出すという特異な点が共通するので、多点同時落雷と名付け第三グループとした。他に球電(ball lightning)に接触してシビレを感じた1例、落雷時、屋内にいて誘導によってシビレと頭痛を生じたという1例は、第四のグループとした。

死亡は、即死または26時間以内の遷延死で、死因は呼吸停止、心停止であった。



第4図 落雷を模擬する放電は、洋傘が頭上に突き出た模擬人体に進展した。

ここに重傷者とは、意識喪失15分以上、あるいは興奮状態、運動機能障害等で入院加療を要したもので、体表に熱傷を伴うものが多かったが、熱傷そのものは2度以下の軽微なものであった。追跡調査によると重傷者は、1例を除き、総て後遺症無しに治癒している。

軽傷者とは、熱傷、外傷、一過性のシビレ、麻痺、疼痛、難聴等で、医療を必要としない軽度のものから、入院加療を受け急速に全快したものを包含する。総ての軽傷者に共通する点は、意識に異常が無かったか、意識を喪失しても5分以内に回復していることである。

直撃落雷37例では、1例を除くと、

死亡者29+重傷者7=落雷数36

となり、死亡あるいは重傷者は1落雷1名に限られる。これに対し、近傍に居合わせる人体の傷害は、総て軽傷で、殆ど医療を要しない軽微なものが大多数であった。落雷あたりの死亡率は78%と算出され、生命を取り留めた22%の重傷者には、沿面放電が、フラシオーバとなって頭から大地まで連続した痕跡が認められるものが多か

第2表 金属片等の携帯状況明確な24名の直撃被雷者

| | |
|------------------------|------|
| 肩から上の金属片, 頭上の物体がともにない例 | : 15 |
| 肩から上の金属片, 頭上の物体が有る例 | : 9 |
| 内訳 洋傘をさす | : 2 |
| ラケットを振り上げる | : 1 |
| さし上げた左手に安全ピン | : 1 |
| ヘアピン着用 (熔融痕無し) | : 1 |
| 金属片の付いた帽子を被る | : 4 |

った (北川他, 1988-b).

側撃事故19例中, 14例は落雷を受けた樹木から近傍の人体に放電 (側撃) がおこり, 落雷電流の主流が人体に流入した事故で, 3例ではテントのポールから同様な側撃が生じた. これらの一次被雷物体の近傍に多数の人が居ると, その数に応じて死亡者, 重傷者数が増加し, 19落雷で死亡, 重傷合わせて25名の被害者となった. しかし, 近傍に居合わせても, 一次被雷物体から2m以上, 隔離していた人体の傷害は軽微で, 直撃雷の近傍に居合わせた人体の場合と同様であった.

以下に落雷事故調査の主要な結果を述べる.

3. 1 金属片をとりさっても落雷を受ける.

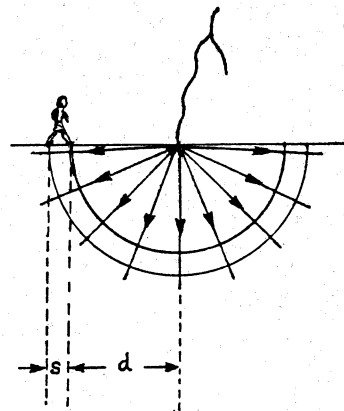
調査の対象となった直撃被雷者で, 肩から上の金属片の有無, あるいは頭上に突き出る物体の有無を確認出来た場合が24名あり, それらの状況を第2表に示す.

24例中, 金属片あるいは頭上に突き出る物体が無くて直撃を受けた例が, 15あって半数を超えること (百分率は63%), 洋傘をさして直撃を受けた例が2あること, 金属片の付いた帽子では, 金属片に顕著な熔融痕が認められず, 帽子全体が大きく破損していること等, 第2表の結果は, 人体そのものが, 落雷のターゲットとなっていることを示している. ヘアピンや洋傘を着けた模擬人体の実験結果は, 実際の落雷にも当てはまる事が判明した.

3. 2 地表を流れる落雷電流では死亡, 重傷はおきない.

両下肢を広げているとき, 近傍に落雷がおきると, 第5図のように, 地中を流れる落雷電流の電圧が両足に加わる. この電圧は, 歩幅電圧と呼ばれ, 下の①式を根拠としている. 落雷電流を i [A], 大地抵抗率を ρ [Ω m], 落雷点から d [m] 離れた点から半径方向 s [m] の歩幅には, ①式で与えられる u [V] という電圧が加わるという考えである.

$$u = i \times (\rho / 2\pi) \times s / d(d+s) \dots\dots\dots \textcircled{1}$$



第5図 歩幅電圧計算式の基準となる電流の流れ方.

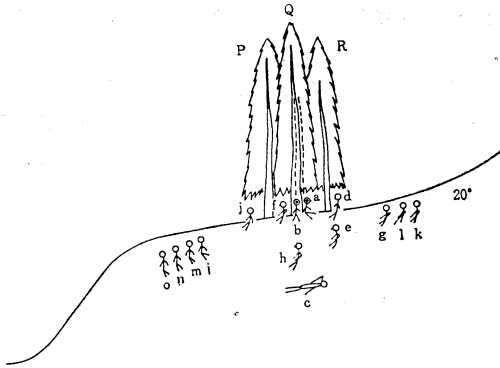
①式は Golde *et al.* (1976)に引用され, Berger (1974), Hasse und Wiesinger (1982) 等著名な雷の専門家は, 人体が地面に接触する面積が大きいと, 傷害も大きくなると考えて, 両足の間隔をつめてしゃがむ姿勢を安全姿勢として推奨した.

ところが, この式は実際にはあてはまらない. 実際の落雷電流は, 地表に沿って拡散し, この式が仮定するように, 落雷点から半球対称に地中無限遠に流れることはない. また地表の水平電界が一定値に達すると, 地表に沿面放電が発生し, 電流は, 地表全面を流れる伝導電流と線状に進展する放電電流 (ストリーマ) と二つの異なった流れ方となる. 地表の沿面放電発生電界は, 地表の形状, 土質, 水分, 植生の有無等で大幅に変わり, およそ 300~450 kV/m の範囲にある. 従って地表水平電界は, この値以上にはならない.

結局, 落雷で地表を流れる電流が, 二次的に人体にどのような傷害を及ぼすかという問題は, ①式による推定ではなく, 実地調査で解明しなければならない. 以後は簡便のため, 伝導電流・放電電流を問わず, 落雷で地表を流れる電流が人体に及ぼす傷害を「歩幅電圧傷害」と呼ぶこととする.

62落雷中, 落雷点の近傍に多数の人が居合わせた落雷事故が40例ある. このなかで歩幅電圧傷害を受ける可能性が高い姿勢をとっていた人体について, 被害状況を詳しく検討したところ, 歩幅電圧による死亡, 重傷は見出されなかった. 以下に3つの検討例を述べる.

(a) 東由利町落雷: 第6図のスケッチのように, 山林作業中の15名が三本杉を中心に半円状に散らばって休



第6図 東由利町落雷現場のスケッチ

a, bは側撃を受けて意識を喪失した。
c, hは地面に接した身体の部分に異常が生じた。
他の全員は下半身には異常が無かった。

憩していたとき、三本杉の中央の杉Qに落雷がおこり、根元に腰を下ろしていた a, b 2名が、側撃を受けて意識を喪失した。杉Qを中心とする半径2mの円周上に、顔を杉にむけて右肘枕、右側下方の臥位で横たわっていたcは右半身にシビレを感じた。cと杉の中間で、両下肢を投げ出して腰を下ろしていたhもシビレを感じたが、軽傷で両大腿に、赤発と電紋が発生した。同程度の近距離に散在していた他の6名(d, e, f, g, i, j)は、耳鳴り、軽微な熱傷等で、傷害は総て上半身に発生した。cも軽症で、失神者を病院へ運ぶ作業に当たり、その他の5名は無傷害であった。失神した a, b は、重傷で、それぞれ8週間、4週間入院した(大橋他, 1978)。

地表に接近する身体の部分に傷害を生じたのは、落雷点から同じ半径方向にいたc及びhの2名に限られたことは、この方向に一条の沿面ストリーマが走行した結果と考えられる。

(b) 御在所岳落雷：学童と大人合計40名が、雷雨に遭遇し樹木の茂った山道に沿って1列縦隊状に、腰を下ろしたり、屈み込んだりしていた。列の中央付近の1学童が、頭上の樹木から側撃を受けて意識を失った。この学童は背負われて入院し、翌日意識を回復した。頭頂部から腰へ沿面フラシオーバの痕跡が認められた。この学童と手を握りあっていた、もう1名の学童も、失神し入院したが翌日退院した。

残りの全員が一瞬気絶したが、すぐ回復し、数名は下肢にシビレを感じたが、軽微な一過性で、皆自力で下山した(大橋他, 1978)。

(c) 深江落雷：曇り空のもと野球の試合中であった。

一塁からの盗塁の走者が滑り込み、二塁手が塁にもどった瞬間に落雷、二塁手は直撃を受けて即死し、走者は一瞬意識を失ったが5分以内に回復、外傷は無く一過性の頻脈が認められたが、他に異常は無かった(大橋他, 1979)。

上記3例を含む40落雷の結果を調べると、死亡者、重症者は、総て直撃あるいは側撃で、落雷電流が全身に流入した被雷者に限られていた。地表を流れる伝導電流によると判断出来る傷害は、見出されず、地表に接近した身体の部分に、熱傷、シビレ、疼痛、運動障害等を生ずる例が認められたが、これらは地表を走行した沿面ストリーマによる傷害と判断された。これらの傷害はいずれも、一過性で時間とともに回復している。

地表沿面ストリーマが目撃されたのは2例に過ぎないが、地表にその痕跡が生じた場合が4例あり、ロケット誘雷実験においても地表沿面ストリーマが観測され(世森啓之他等, 1986)、落雷にともなう地表沿面ストリーマの発生は珍しくない。

3.3 シャがむ姿勢は落雷を受けることがある。

歩幅電圧の信奉者は、臥位をとることは危険として、シャがむ姿勢を安全姿勢として推奨している。ところが下記4落雷では、これに準ずる姿勢で直撃を受け死亡している。

(a) 川中島落雷：田のふちに屈んで、土管のゴミをとる姿勢のまま死亡していた(大橋他, 1978)。

(b) 福田落雷：畑で前屈みでさつま芋の苗を植えていて、直撃を受け死亡した(大橋他, 1979)。

(c) 仁淀川落雷：小型釣り舟の舳先で、前屈みの姿勢で水中の網から鮎を取り出す姿勢で死亡していた。

また下記2落雷では、樹木からはなれた位置に腰を下ろして側撃を受け、重傷を受けた。

(d) 御在所岳落雷：腰を下ろした姿勢で頭から側撃を受けて意識を失い入院、24時間後に意識を回復した(前出)。

(e) 高岩山落雷：石の上に腰を下ろした姿勢で側撃を受け、意識を失って倒れ3時間後に意識を回復、疼痛・シビレを感じたが軽くなり自力で下山した。

これらの事例は、シャがんだり腰を下ろす程度の姿勢では直撃・側撃を誘引する確率が有意な値であることを示し、シャがむ、腰を下ろす程度の姿勢は安全とは言えない。伏せる姿勢は、僅か2例であるが、いずれも軽傷に過ぎないので、姿勢は低いほど安全性が高いと結論される。

第3表 多点同時落雷とその被害者数

| 落雷名 | 死亡者 | 重傷者 | 軽傷者 |
|-------|-----|-----|-----|
| 富士九合目 | 0 | 2 | 5 |
| 秋田駒ヶ岳 | 0 | 2 | 11 |
| 可児 | 1 | 0 | 4 |
| 生見海岸 | 6 | 2 | 4 |
| 合計 | 7 | 6 | 24 |

4. 多点同時落雷による傷害

落雷の放電路が大気中で分岐し、複数点に落雷電流が流入したと考えられる4落雷の被害状況を第3表に示す。

富士吉田口九合目落雷では鳥居近辺に、秋田駒ヶ岳落雷では峠の道標に落雷した。被雷者は総べて、落雷点から十分離れていて側撃の可能性はないので、軽傷で済んだ筈であるが、夫々2名の重傷者が出ている。軽傷と分類された者も、通常の直撃、側撃事故の場合の軽傷者と比較すると熱傷、外傷が比較的軽度であった。重傷と分類された被雷者は、意識喪失2名、シビレによる歩行不能2名で、いずれもエネルギー値の高い電流が体内に流入したと推定される(石川他, 1983)。

可児落雷では、ゴルフコース内の松の木と、この木から約30m離れたプレーヤーに同時に落雷、プレーヤーは死亡した(大橋他, 1988)。

生見海岸落雷では死亡した6名中、1名は首から胸部、背部にかけて連続した大型の熱傷(沿面放電による放電痕)があり、4名は首すじ、肩に大型の電紋が認められた。残りの1名には、電紋、放電痕は認められなかったが、落雷直前、全員がサーフィンボード上に立位の姿勢にあったことが目撃されているので、死亡者6名にはいずれも頭から、エネルギー値の高い電流が流入したと判断される(大橋他, 1988)。

一般に落雷地点の近傍に、地表から突き出る物体があると、落雷時その先端から、強いコロナストリーマが発進することが観測される(例えば松本深志高校, 1969, p. 137のFig. 1)。人体からこのコロナストリーマが出ることが、落雷の近傍に居合わせる人体の傷害の原因であるが、37の直撃事故、19の側撃事故では、近傍の人体の傷害は総て軽微であった。従って、富士九合目及び秋田駒ヶ岳の落雷の重傷者4名、生見海岸落雷の5名の死亡者(落雷主流を受けた死亡者は除く)の傷害をおこした電流は、コロナストリーマに連続する電流ではなく、大

気中で主放電路から分岐した雷放電路の電流と推定される。

多点同時落雷一般については、高木伸之他(1987)の研究があり、放電路が水平距離5~500mの多地点に分岐して、落雷する事例があることが報じられている。

多点同時落雷の発生確率は一般に低く、62落雷の調査では、約6%(62落雷中4落雷)であったが、一落雷の直撃で、複数の死亡者、重傷者がでる確率がゼロでないことは、留意する必要がある。

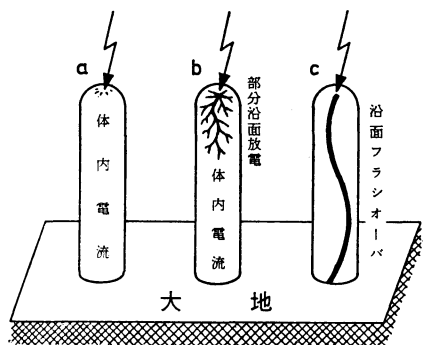
5. 落雷による屋内の傷害

屋内における傷害は発生例が少なく、調査出来たのは、わずか2例であった。いずれもテレビアンテナへの落雷が原因であった。1例は木造平屋住宅の室内で夜半に起きた。突然ドーンという音とともに、天井から拳大のオレンジ色の光の玉が下りてきて、ねていた主婦の左肘に触れて消えた。左肘は黒くすすけ、毛糸の焦げる臭いがし、ピリピリ感じた。翌朝左肘がずきずき痛み、左上肢に倦怠感が継続、全快するのに約3カ月かかった(大橋他, 1978)。

球雷(ball lightning)は雷に伴って出現する現象で、その発生は極めて稀れであるが、一定のパターンを持つ自然現象として知られている(Singer, 1977)。このオレンジ色の光の玉は、まさしくこのパターンに該当するものであった。

他の1例は、雷雲が去ったと思われた午後、2階建ての住宅の1階和室で起きた。67歳の女性が机に向かって座っていたとき、ドーンという花火の上がるような音がし、舌の先がしびれ、顔に暖かい風がかかり、光は感じられなかった。翌日から頭頂に痛みを生じ、全快するのに約1カ月かかった。テレビアンテナが破損、テレビセットが故障した。人体傷害は、誘導が原因と推定された(石川他, 1983)。

1965~1988年の23年間で、屋内の人体傷害が、僅か2例しか見出せなかったことは注目に値する。屋内にいて電灯線、電話線等を経由して侵入した雷過電圧によって傷害を受けた例は、Golde(1976)に5例が記載され、本邦では、小林 勲(1965)の論文に、新潟県では過去22年間に、屋内電灯線からの側撃で20名の死亡者が出たとある。近年本邦では、この種の傷害事故が、皆無に近く減少したことは、着目すべき変遷である。配電線系統の耐雷設備が改善されたことが大きい原因の一つと考えられる。



第7図 人体への落雷の三つのステージを示すモデル図。

- a : (第1ステージ) 電流値が低く全電流が体内を通過する。
- b : (第2ステージ) 電流値が増加し部分沿面放電が発生する。
- c : (第3ステージ) 沿面放電が発展し沿面フラシオーバとなる。このステージでは体内電流が減少し死亡を免れることが多い。

6. 人体への落雷の特性

以上の結果から、人体への落雷は、以下の11項目にまとめられる、(1)~(7)は落雷一般について、(8)~(11)は夫々、直撃及び側撃の特徴、落雷による二次効果、特殊な落雷の傷害について記述している。

(1) 皮膚、衣服、レインコート、ゴム長靴等、総べて落雷電流を阻止する絶縁効果はなく、人体は落雷に対しては、約 300Ω の導体として作用する。

(2) 人体面では、空気中の針対針電極間の平均火花電位傾度の約 $1/2$ の電位傾度 (250 kV/m) で沿面放電が発生する。人体における落雷電流は、モデル的に第7図の三つのステージによって説明される。(a) に示す第1のステージは電流値の低い期間で、全電流が体内を通過する。電流値が増加すると、(b) の第2のステージに移り部分沿面放電が発生する。実際には体表のいろいろな部位に複数の部分沿面放電が発生する。大多数の落雷は、このステージで終り、被雷者は死亡する確率が高い(78%)。場合によっては電流値がさらに増加し、(c) に示す沿面フラシオーバが発生することがある。このステージでは全電流に対する体内電流の比率が減少し、死亡を免れることが多い(直撃避雷の生存者の大多数が、これに該当する)。

(3) 沿面放電は、火傷、電紋を生ずるが、これらは皮膚の浅い熱傷で容易に治癒する。

(4) 死亡は体内を流れる伝導電流 (conduction current) によるエネルギー (電圧×電流の時間積分) が、体重に対して一定値を超えるときに起こり、直接の死因は、呼吸停止・心停止である。又体内伝導電流は、意識喪失、興奮状態、シビレ、麻痺、疼痛、運動障害等を起こすことがあるが、全て時間の経過とともに回復し後遺症にはならない。

(5) 身体に付け、あるいは携帯する金属片があると、その周辺に沿面放電が発生し、熱傷を生ずるが、致命的な体内伝導電流はそれだけ減少する。

(6) 落雷を誘引するのは、人体が帯びる金属片ではなく、地上から突き出ている人体そのものである。直立姿勢はもとより、しゃがむ或は腰を下ろす姿勢でも、直撃、側撃を受ける。身体より上方に突き出る物体があると、その導電性にかかわらず、人体が落雷を誘引する効果が増大する。

(7) 樹木、避雷針の付いていない高い建造物(ポール、煙突等)の近傍は、2つの理由で、周囲に何も無い平地地より、一層危険である。第1にこれらの物体は人体より落雷を受け易く、第2にこれらの物体に落雷すると、側撃が起こり、落雷電流の主流が人体に移行するからである。

(8) …直撃事故の特徴…直撃雷では死亡或は意識を失う重傷は一名に限られ、近傍に居合わず人体の傷害は軽微で、殆ど医療を要しない。落雷あたりの死亡率は78%である(直撃落雷100回で、78名が死亡するという比率)。

(9) …側撃事故の特徴…樹木、テントのポール等に落雷が起きるとき、その近傍に居ると、人体への二次放電(側撃)が生じ、死亡、重傷という傷害を受ける。近傍に居る人数に応じて被害者数が増加し、落雷あたりの死亡率は74%である(側撃事故100回で、74名が死亡するという比率)。一次被雷物体から2m以上隔離していれば傷害は軽微で医療を要しない。

(10) …落雷に伴う二次傷害…落雷による地表の伝導電流が人体に及ぼす効果は、殆ど認められない。落雷に伴って地表に沿面ストリーマが走行するとき、その線上に居ると、地表に接近した身体の部位に、熱傷、シビレ、疼痛、運動障害等を生ずることがあるが、一過性で時間とともに回復する。

(11) …多点同時落雷…落雷事故の6%(62落雷中の4落雷)は、人体を含む多点同時落雷と判断され、一落雷で複数の死亡者、重傷者を出した。

7. 落雷に対する安全空間

落雷を絶縁物で阻止することは出来ない。従って、落雷を免れるには、(a) 屋外に出ないこと、(b) 避雷針或いは高い物体の保護範囲に入ることであるが、両者の安全性には若干の相違がある。避雷針は、落雷を吸引して、落雷電流を安全に大地に流し込む装置である。その保護範囲では直撃を免れることが可能であるが、その安全確率は100%ではない。ファラデーケージの原理を応用し、落雷電流を安全に流す導体で囲まれた空間を設ければ100%の安全が保証される。

実際に100%に近い安全が得られる空間は、下のようである。

(a) 自動車(無蓋車は不可)、バス、列車、コンクリート建築の内部。

(b) 一般家屋では、電灯線、電話線、アンテナ線、接地線、水道栓、ガス栓等から1m以上離れた空間、実際には5節で述べたように、家屋内では、死亡、重傷の確率は極めて低いので、テレビのアンテナ線、これに接続するテレビセット、そのコード線、コード線がつながっているときは屋内の全配電線から1m以上離れていれば、十分安全である(テレビセットの電源スイッチを切っても、電源コードのプラグを抜き取らないと、屋内配電線は、アンテナからの雷過電圧の通路となる。電気器具の安全については、日本大気電気学会、1991:安全対策 Q & A を参照のこと)。

避雷針或いは高い物体の保護範囲(その頂上を45度以上の角度に見上げる範囲、即ち根元を中心に高さを半径として描いた円周内)では、直撃を受けないといわれるが、安全確率は、円周内で100%、円周外でゼロではなく、この辺から安全性が実効的に高くなるということである。又完全な避雷針工事が施されていない高い物体からは、6節(7)で述べた側撃を受ける可能性があるので、これを避ける注意が必要となる。一般に、高い物体を利用して傷害を避けるには、以下の注意が必要である。

(c) 高さ4m以上の物体(樹木、ポール、クレーン等)が近傍にあるときは、その頂上を45度以上の角度で見上げ、物体のどの部分からも2m以上離れた位置で、姿勢を低くする。樹木の場合は総ての枝先、葉先から2m以上離れる。

(d) 高さ4m以下の物体からは、遠ざかる。

(e) 送電線、配電線の最上部には架空地線が張られているので、これを45度以上の角度で見上げるベルト地帯

は保護範囲となる。避難するときはこのベルト地帯を通過して移動することである。

8. 安全対策のため方

7節の安全空間、特に安全性の高い屋内に留まることが、最も有効な対策である。しかし人間の活動は屋内に限られないので、屋外を含む安全対策を考察する必要がある。人体の安全を考えるには、次の二つの落雷の特性が重要である。

(a) 雷活動の最盛期における落雷と落雷の時間間隔は1分程度である。半径100m以内の狭い領域に、相次いで落雷がおきる確率は低く、その時間間隔は1分より遙かに長くなる。

(b) 相次ぐ雷放電の移動距離は、2~6kmの場合が多く、範囲は0~10kmにわたる。

雷鳴の可聴距離は通常10km程度であるから、微かでも雷鳴が聴こえるときは、次の落雷が頭上におちてくる可能性がある。調査した大多数の落雷事故は、雷鳴が遠い或いは聴こえないので、屋外スポーツ或いは屋外作業を続行しているときに発生している。

Berger (1974) は、彼がまとめた「避雷心得」のなかで、歩幅電圧傷害を避けるために、ひざまづく姿勢を最も望ましい姿勢として推奨しているが、この姿勢は直撃、側撃を受ける確率が有意な値となっている。死亡、重傷のおそれのない歩幅電圧傷害を避けるために、死亡の危険性を伴う姿勢を推奨するのは、安全対策とはいえない。人命の保全を目指すには、次の点を明確に認識して、対策を考えなければならない。

(1) 落雷で死亡事故になるのは、直撃または側撃で落雷電流が、伝導電流となって人体に流入するときに限られる。

(2) 呼吸と心拍が回復すれば生命が助かる可能性が高く、その他の傷害は時間とともに回復し、殆ど総て治癒可能である。

(3) シャがむ、腰を下ろす姿勢では、直撃、側撃を受ける可能性があり(62落雷中6落雷、百分率10%)、姿勢のとり方では安全は確保出来ない。速やかに安全空間に移ることが、実効のある安全法である。

9. 実行可能な安全法

8節の考察から、実行可能で被害を最小に止める方法は次の通りである。

(1) 屋外では出来るだけ姿勢を低くする。緊急のとき

はひれ伏す。洋傘、釣竿、ピッケルその他の物体を身体より高く突き出さない。テントのポールその他高さ4 m以下の物体からは、直ちに離れる。金属製品は身体に着けたままで避難する。レインコートを着て、ゴム長靴を履いていても同じ注意をまもる。

(2) 落雷直後の1分間を使って移動し、直撃・側撃の危険のない空間に避難する。4 m以上の高い物体を捜し、その保護範囲(2 m離れて、頂上を45度以上に見上げる)に移り、姿勢を低くする。樹木の場合は幹、枝、葉から必ず2 m以上の距離をとって出来るだけ姿勢を低くする。送電線、配電線があればその真下付近のベルト地帯を通して避難する。屋外の保護範囲の安全は100%ではないから、建物を捜して中に入る。

(3) 雷鳴が聴こえたら直ちに安全空間に避難する。雷注意報が出ているときは、屋外に出ることを見合わせる。登山その他の屋外行事の計画には、気象情報に細心の注意を払い、雷雨に遭遇しない計画を立てる。屋外では気象情報と天気の変化に絶えず注意し、雷雨の兆候がみとめられる時は、出来るだけ早く安全空間に避難する。

(4) 呼吸・心拍の止まった被雷者が出たら、真っ先にその救出にあたり、呼吸吹込み式人工呼吸と心臓マッサージを施し、呼吸・心拍の回復に努める。方法は日本赤十字社の教本又は市販のビデオカセットで学ぶことが出来る。

10. むすびと謝辞

雷雲の発生・移動については、今日かなりの精度で予報・予測出来るが、落雷点の予測は不可能に近い。落雷事故の予防は確率との戦いで、あらゆる場合の安全方法を書き尽くすことは出来ない。9節に基本的な対策を述べたが、要は、人体は金属像と同程度に落雷を誘引すると考えて行動することである。

本解説は、「人体への落雷研究グループ」の研究結果に基づく。グループのメンバー、故木下勝弘(相模工業大学、現湘南工科大学)、故武藤藤太郎(東京電力病院)、石川友衛(国立療養所、東京病院付属リハビリテーション学院)、大橋正次郎(東京電力病院)、首藤克彦(東京理科大学、理工学部)、鶴見策郎(東京理科大学、理工学部)、高木勝正(木更津工業高等専門学校)、永井洋治(湘南工科大学)、藤城保男(東京電力病院)及び細見保男(横河電気製作所診療所)の諸氏の尽力に深く感謝する。

文 献

Berger, K. 1974: Suggestions for the Protection of Persons and Group of People against Lightning Hazards, WMO Report of Commission for Atmospheric Science. 邦訳は大気電気研究特別号, 1976: 避雷心得.

Golde, R.H. and W.A. Lee, 1976: Death by Lightning, Proc, IEE, 123, No. 10 R, 1163-1180.

Hasse, P. und J. Wiesinger, 1982: Handbuch für Blitzschutz, VDE-VERLAG GMBH, Berlin-Offenbach, 144-152.

石川友衛, 大橋正次郎, 藤城保男, 北川信一郎, 1983: 雷撃傷の調査記録—1980~1982年調査, 東京電力病院医報, 12, 15-25.

気象庁山岳部, 1969: 蓬峠落雷事故報告, 溪流, 52.

北川信一郎, 木下勝弘, 石川友衛, 武藤藤太郎, 鶴見策郎, 1971: 人体への模擬雷撃実験, 科学, 41, 486-494.

———, 大橋正次郎, 石川友衛, 1986: 実験と調査による人体への落雷の研究, 電気設備学会誌, 6, 208-214.

———, ———, 1988-a: 歩幅電圧障害の実態と落雷に対する安全姿勢, 日本気象学会春季大会講演予稿集, p. 213.

———, ———, 1988-b: 人体への落雷の研究—一直撃雷を受けて生存した事例の検討, 電気設備学会研究発表会講演論文集, 59-60.

———, ———, 1989: 求善提山落雷及び羽田空港落雷について, 大気電気研究, 35, p. 32.

———, 石川友衛, 大橋正次郎, 露木晃, 1990: 大宮市蓮沼落雷について, ibid., 37, p. 45.

小林 勲, 1969: 雷災防止に関する二つの問題, 電設工業, 3月号, 5-15.

丸善, 1989: ひとりで行う心肺蘇生法のすずめ, VHS 及びβ式ビデオテープ, 東京都中央区日本橋.

松本深志高校, 1969: 西穂高岳落雷遭難事故調査報告, 長野県立松本深志高校刊行, 松本市.

日本赤十字社, 1987: 蘇生法講習教本(市販されていないので, 都道府県の支社に問い合わせのこと)

日本大気電気学会, 1991: 雷から身を守るには—安全対策 Q & A—, 日本大気電気学会, 大阪大学工学部電気工学教室内, 吹田市山田丘 2-1.

大橋正次郎, 細見保男, 藤城保男, 武藤藤太郎, 石川友衛, 1978: 雷撃傷の経験と落雷死傷者調査記録, 東京電力病院医報, 8, 5-33.

———, ———, 藤城保男, 武藤藤太郎, 石川友衛, 1979: 雷撃傷の調査記録(昭和54年調査), ibid., 9, 25-41.

———, ———, 藤城保男, 1981: マウスの放電致死エネルギー値—ウサギ・ラットの放電致死

エネルギー値との比較一, *ibid.*, 10・11, 41-50.
 Ohashi, M., N. Kitagawa and T. Ishikawa, 1986:
 Lightning injury caused by discharges accompanying flashovers—a clinical and experimental study of death and survival. *Burns* 12, 496-501.
 大橋正次郎, 石川友衛, 北川信一郎, 1988: 人体への落雷の研究 2—1987年夏季の三つの特異な落雷事故について, *大気電気研究*, 32, p. 47.

世森啓之, 若松勝寿, 堀井憲爾, 1986: ロケット誘雷時の地上放電の検討, *電気学会研究会資料*, ED-86-97~111, 35-44.
 Singer S., 1977: *Ball Lightning, Lightning, Volum 1 (Physics of Lightning)* edited by R.H. Golde, Academic Press, London, 409-436.
 高木伸之他11名, 1987: 多地点同時落雷について, *電気学会研究会資料*, ED-87-97~106, 59-67.

第24回乱流シンポジウム

開催要項と論文募集

主催: 日本流体力学会

共催・協賛: 応用物理学会・化学工学協会・可視化情報学会・航空宇宙技術研究所・土木学会・西日本乱流研究会・日本海洋学会・日本ガスタービン学会・日本風工学会・日本機械学会・日本気象学会・日本建築学会・日本原子力学会・日本航空宇宙学会・日本混相流学会・日本造船学会・日本伝熱学会・日本農業気象学会・日本バイオレオロジー学会・日本物理学会 (50音順)

開催月日: 1992年7月28日(火), 29日(水), 30日(木)

開催場所: 慶應義塾大学理工学部 (矢上校舎・厚生棟)
 〒223 横浜市港北区日吉 3-14-1
 TEL. 045. 563. 1141

発表形式: 口頭発表によるセッション(OS)とビジュアル・セッション(VS:ポスター, VHS-ビデオ, PC9801-パソコン等)があり, 発表者はどちらかを選択できます。ただし, 応募状況によってはご希望に添えない場合もあります。

申込方法: 論文の発表を希望される方は, 所定の申込票(はがき)と論文要旨用原稿用紙(750字詰)を用いて下さい。原稿はそのまま縮小して「論文要旨集」を作り当日参加者に無料で配布します。氏名欄には発表者全員の氏名, 所属(略称)を記入し, 代表者(OSの場合は

登壇者)の左肩に○印をつけて下さい¹⁾。申込票の希望セッションと使用機材の欄にも必ず記入して下さい。申込に必要な用紙は下記連絡先に御請求下さい。

申込期限: 1992年5月30日(土)必着

参加登録: 参加を希望される方は, 当日会場で参加登録費(協賛学協会会員3000円, 非会員4000円, 学生会員2000円, 学生非会員3000円)をお支払い下さい。

論文集: 発表者は講演終了後(8月末)に講演論文の原稿を提出して頂き, 講演論文集を発行します。予約希望の方は予約代金3000円を参加登録費とともにお支払い下さい。詳細は受付でお尋ね下さい。

申込先/連絡先: 発表申込, 論文集の予約, 用紙の請求, 入会案内, 使用機材等に関するお問い合わせはすべて下記宛にお願いします。

〒223 横浜市港北区日吉 3-14-1

慶應義塾大学理工学部
 機械工学科 益田重明

TEL 045. 563. 1141 内線3132

FAX 045. 563. 5943

注1) 発表代表者は日本流体力学会会員であることを要します。非会員の場合, 申込と同時に入会の手続きをとって下さい。