落雷による死傷と屋外スポーツにおける安全対策の研究

東京家政大学　北川信一郎

Study of Lightning Injuries and Safety Guide in Outdoor Sports

by

Nobuichiro Kitagawa

Tokyo Kasei Daigaku

ABSTRACT

The nature of lightning discharges which hit human bodies and their injury effects have been studied both experimentally and clinically. It has been clarified that the human body standing outdoors reacts to a lightning discharge as a 300Ω conductive column and is, consequently, an effective target of lightning incidence. When he is struck by lightning, the lightning current flows in two ways, one as the conduction current through his body and the other as the surface discharge currents on various parts of his body surface. While the discharge currents cause merely superficial dermal burns, the conduction current through the body causes fatal effects. When a human body is situated close to a high object, such as a tree or a pole, the main lightning current flows into his body and also causes fatal effects, in case the object is struck by lightning. The probability of lightning incidence into the human body is not reduced, when he takes out all metal pieces, nor he wears insulating coats and boots.

When thunderstorm conditions are antilcipated, it is highly dangerous and should be avoided to stay on open field, near hight objects and also in outdoor tents in the same conditions.

要　　旨

模擬実験と落雷事故調査によって，人体への落雷の特性とその殺傷効果を研究した．人体は落雷に対しては300Ωの導体として作用し，極めて有効な落雷の標的であることが判明した．人体が落雷を受けると，雷電流は，体内を流れる伝導電流と体表のいろいろな部位で発生する沿面放電の電流との二通りの流れ方となる．沿面放電電流は浅い皮膚の火傷をおこすだけであるが，体内電流は死亡の原因となる．人体が樹木，ポール等の高い物体の近傍に居ると，これらに落雷がおきたとき，雷電流の主流が人体に流入し死亡事故をおこす．身体から金属を取り外しても，絶縁性のコートや靴を着用しても，落雷を受ける確率は減少しない．

雷雨が予想されるとき，屋外の平坦地や，高い物体の近傍にいること，また同じ条件のテント内にいることは極めて危険であるから，避けなければならない．

1. まえがき

落雷による人体の死傷については，今日までに多数の報告，論文があり，1976年 Golde and Lee はこれをまとめた広範な総合報告を発表している[1]．また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は，11名が死亡するという史上かつてない多数の犠牲者を出した．同高校は，被害の状況，被雷者の救出，医療とその経過等について詳細をきわめた報告書を刊行している[2]．これら二つの文献の内容は多岐にわたっているが，いずれも事後の調査に限られていたため，落雷と人体傷害の因果関係，定量的関係を十分に解明するには至っていない．

これらの報告・研究の結果から，一歩を進め，科学的根拠のある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らかにすると同時に，この現象が人体に及ぼす効果を医学的に解明する必要があった．

筆者は1971年，医・理・工の3分野の研究者8名によ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い，問題の定量的な解明を進めた．研究グループは，さらにこの結果をふまえて，人体の死傷を伴う落雷事故の調査を実施して，問題の本質に迫る結果を導き，人体への落雷の全貌を明らかした[3,4]．

筆者はその後も，研究グループの協力を得て人体への落雷事故の調査を継続し，1987年夏季は，岐阜県におけるゴルフプレー中の死亡事故，高知県東洋町生見海岸海上におけるサーファー6名の同時死亡事故，および東京都成城におけるテニスプレヤーへの落雷事故（人工呼吸と心臓マッサージを即時適切に施し，生命をとりとめ回復した事例）について調査を実施した．以下にこれらの調査を含めた総合的な結果を報告する．

2. 模擬雷撃による実験

落雷は通常，多重雷撃の放電形式をとることが多く，複数の雷撃を含む．雷撃によって大地に流入する電流の波形は，複雑，多様であるが，**図1**に示す波頭長（最高値までの立ち上がり時間）1 μs，波尾長（最高値の½になるまでの継続時間）40μs，波高値（最高値）30kA の衝撃電流で代表される間欠雷撃電流と，数百Aの電流が 40ms～

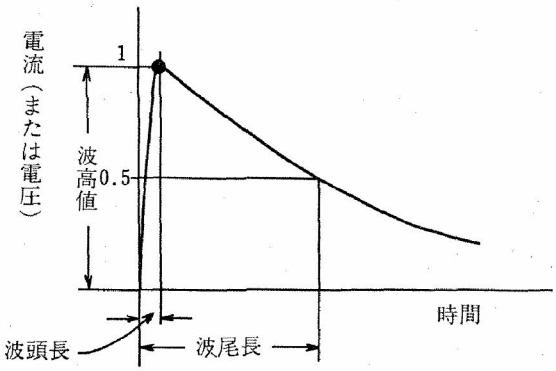


図1　衝撃電流（または電圧）波形の表示

300ms 持続する連続電流とに二大別される[5].

人体への落雷研究グループは，落雷に最も頻繁に含まれる前者の型である波頭長 1μs，波尾長40μs の衝撃電圧（雷インパルス電圧）を用い，極性は夏季の落雷に多いマイナスとして，落雷を模擬する放電実験を行った．

実験の目的の第1は，人体が落雷を受けたとき，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作成し，その頭上に 1m～4m の空気間隙を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．

図2 は，この実験装置を模式的に示す．2つの人形を対称に置いたのは，一方の人形のいろいろな部位に金属片を付けて，その効果を調べるためである．

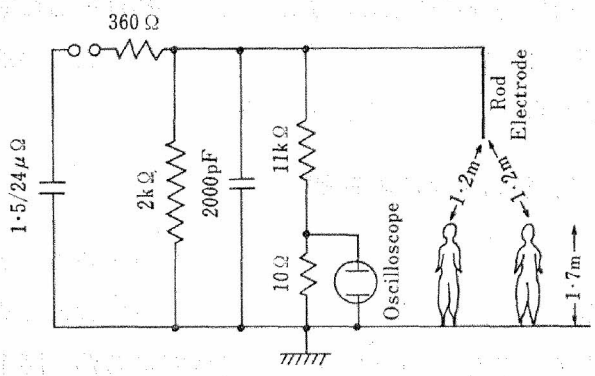


図2　模擬人体による雷撃実験の模式図

図3 は実験の一例で，胸部，腹部等体側の金属片は，頭上の電極から放電を吸引する効果のないことを示している．

図4 は対称においた人形の一方に洋傘をささせた場合で，このときは，放電は電極から洋傘の先端に進行し，傘のプラスチック柄の絶縁効果は全く役立っていない．

図5 は電極・頭部間の距離が4m になると，頭頂に，金属片が有っても無くても，放電を吸引する効果に差がないことを示す実験例である．

実験目的の第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

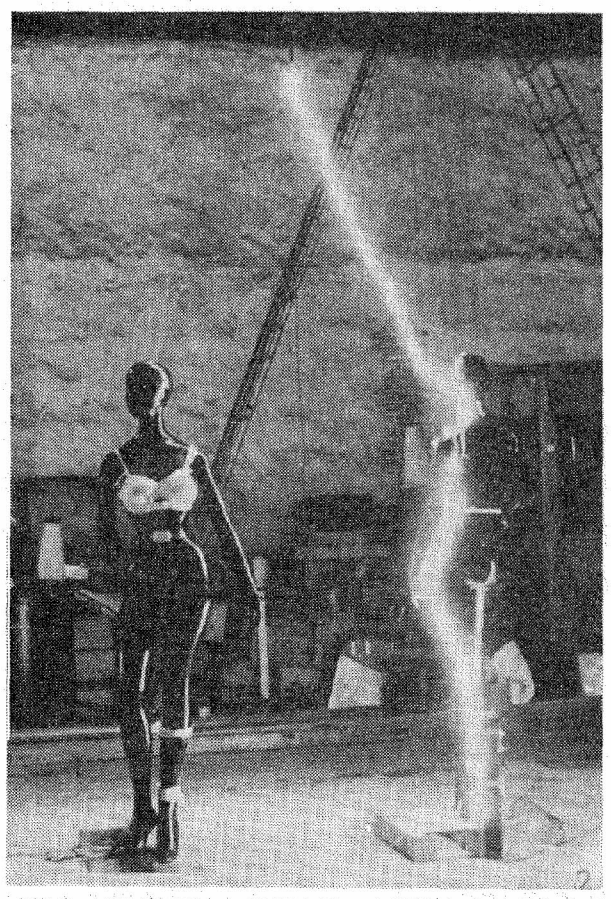


図3　模擬人体への雷撃実験，金属片をつけない人形に放電した例，放電は棒電極から人形体面に沿って床の接地板まで続いている．体面に沿って連続した放電を沿面フラシオーバという．

図4　模擬人体への雷撃実験，頭上に洋傘が突き出た人形に放電している．

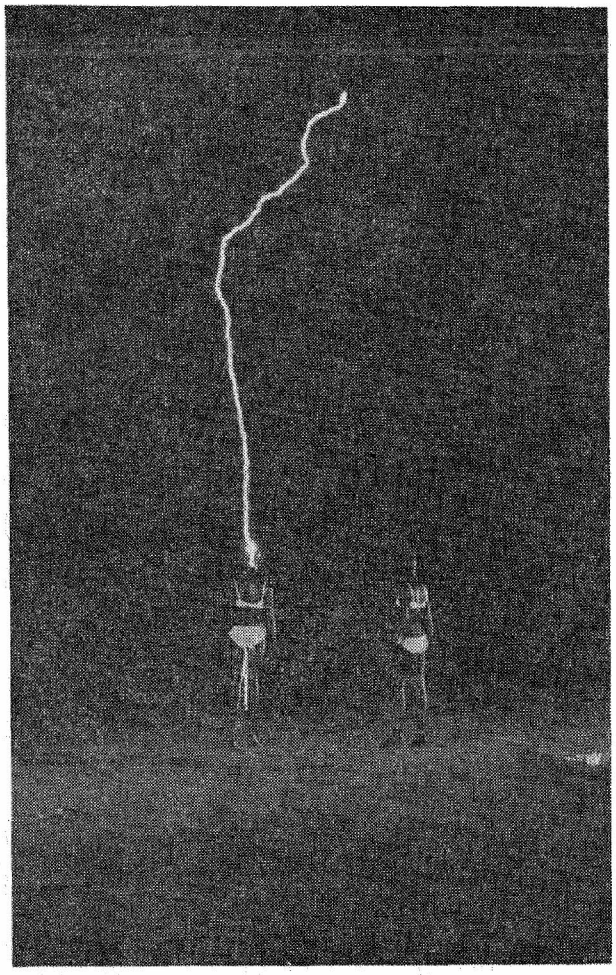


図5　空気間隙 4m の雷撃実験，頭につけたヘアピンの有無に関係なく左右の人形に同じ確率で放電がおきる．

らかにすることで，ウサギ，ラット，マウス等の動物に，**図6**のような装置で，雷インパルス電圧を印加する実験を多数行って，医学的な問題を定量的に解明する結果を導いた．

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新しい重要な結果が得られ，さらに実験と平行して行われた人体への落雷事故の調査から，これらの結果は，実際の落雷についても当てはまることが確かめられた．実験的研究によって得られた定量的な結果を記すと：

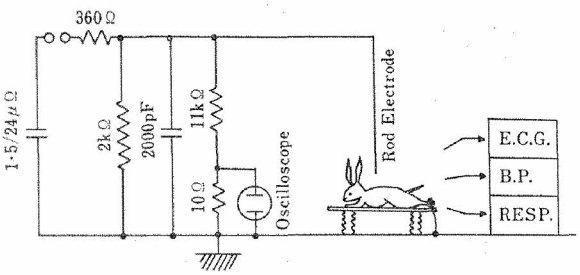


図6　ウサギを用いる放電実験の模式図

(1)　人体の皮膚は絶縁性で，1cm² 当たり 10kΩ—100kΩ という高い抵抗値を持つ，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，頭から両足先までの身長方向の抵抗は 300Ω に過ぎない．頭上の電極に，波高値 1300kV の雷インパルス電圧を加える**図1**の実験で，皮膚は勿論，ビニール雨衣，ゴム長靴の絶縁の効果は失われ，人形は単に 300Ω の導体として作用することが判明した．

(2)　人形，ウサギの表面では，空気の針電極間の平均火花電位傾度の約 ½ の電位傾度（250 kVm^{-1}）で沿面放電が進展する[3]．

(3)　動物の死因は，呼吸停止・心臓停止で，これは体内を流れる導電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 1kg あたり（62.58±11.93）J である[6]．

(4)　落雷を受けた人体の皮膚面に，しばしば現われる電紋を，ウサギの体表につくる実験が可能となり，電紋は部分沿面放電による軽度の熱傷の痕跡であることが判明した[7]．

3. 人体の落雷事故の調査

1973年から，研究グループによって人体への落雷について，次のような諸点について調査が行われた[8~10]．

(a)　落雷を受けた時の気象，周囲の状況．

(b)　落雷の影響を受けた人(被雷者)の衣服，携帯物等すべて身につけていた物体の損傷の状況．

(c)　被雷者の生死，症状，病院における手当・検査とその結果，その後の経過等．

このようにして調査した39落雷事故のうち，26落雷は直撃事故，11落雷は側撃（直撃を受けた物

表1　調査した落雷数とその被害状況

	合　計	直撃事故	側撃事故	分類不能
落雷件数　(件)	39	26	11	2
死　亡　者　(名)	31	21	10	0
診療を受けた生存者　(名)	73	32	21	20
(そのうちの重症者)	12	5	5	2

体から近傍の物体への再放電）事故をおこし，残りの2落雷は山岳でおこり直撃，側撃に分類できないものであった．それぞれの落雷で影響を受けた人たち（被雷者）を，死亡者，診療を受けた生存者，その内5分以上の意識障害を起こした重症者に分けて，計上した結果を**表1**に示す．73名の生存者は，意識障害，火傷，シビレ，外傷，あるいはこれらの合併症から，手当を必要としない者まで様々であったが，1例を除いて，すべて後遺症なしに回復している．

直撃の場合は，重大な影響を受けるのは，ただ1名に限られ，26落雷の直撃被雷者は26名で，その内21名が死亡し，5名は意識障害をおこしたが死を免れた．その場に居合わせたその他の人たちは，極めて接近していても，すべて軽症であった．人体への直撃の場合は，落雷電流は，ただ1人の人体に集中して大地に流入するために，このような結果となる．

これに対し，樹木からの側撃の場合は，多数の人たちが樹木に接近していると，接近の程度に応じて，落雷電流がそれぞれの人体に分流する．樹木の根元に2名が接近していた4例では，(1)2名とも死亡1例．(2)1名死亡，1名意識障害1例．(3)2名とも意識障害2例．という三通りの結果となった．筆者らの調査以外にも，樹木への落雷による2名同時死亡が2例報じられている[8]．

人形による実験では，体側の金属片には放電誘引効果はなく（**図3**），洋傘・釣竿等が頭上に突き出ていると，放電はこれらの物体を経由して人体に達した（**図4**）．頭頂の金属片は，空気間隙1m程度では，誘引効果を示すが，空気間隙4mの大規模実験では誘引効果を生じなかった（**図5**），頭上に突き出た物体と頭頂の金属片を，仮に誘雷物体と呼び，自然雷についてその効果を詳細に調

表2　直撃被雷者26名における誘雷物体（頭部の金属片，頭上に突き出た物体）の有無

被雷者数	誘雷物体の状況	金属片に電流が集中した痕跡
無　13名		
有　12名	2名　洋傘をさす	有　2/2　洋傘が変形，破損
	1名　差し上げた左手に安全ピン	有　1/1　ピンの先端が黒化し，対応する指に小型電紋
	8名　帽子を被る	有　2/8　金属ハトメに小溶融痕または変色が生じ，同時に金属ハトメと関係のない部分が大きく破損
		有　1/8　野球帽の金属片の周辺が黄色に変色
		無　5/8　金属片以外の部分が破損，穿孔，焼損
	1名　頭にヘアピン	無　1/1　地上に落ちていた，電流痕跡なく，頭に対応する火傷なし
不明　1名	身に付けた物が四散し，裸に近い状態で発見された	

べた．結果は**表2**に見るように，これらの物体の有無にかかわらず，人体が直撃を受けていて，人体そのものが決定的な誘雷物体であることを示している．頭上に高く突き出た物体は，人体の誘雷効果を増大していると解することができる．

従来，落雷点の近傍で地表を流れる落雷電流による電位傾度によって傷害を受ける可能性があると考えられ，歩幅電圧効果という用語でその危険性が指摘されていた．その結果，地面にひれ伏すのは危険で，両足の間隔を狭めて，しゃがむ姿勢が最も安全であると言われていた．

研究グループの36落雷の調査では：

(a) 野球試合中，ランナーが二塁に滑り込み，二塁手が塁に戻った瞬間に落雷，直撃を受けた二塁手は死亡，ランナーは病院で検査を受けたが，翌日は職場に復帰した．

(b) 三本杉の周囲の空き地に，山林作業の男女16名が休憩中に，中央の杉の木に落雷，この杉の木の根元に腰を下ろしていた女性2名が意識を消失した．根元から2m離れて肘枕で臥位にあった男性は，一時的にシビレを感じたが傷害は無く，失神した2名の女性を診療所に運ぶ救助作業にあたった．

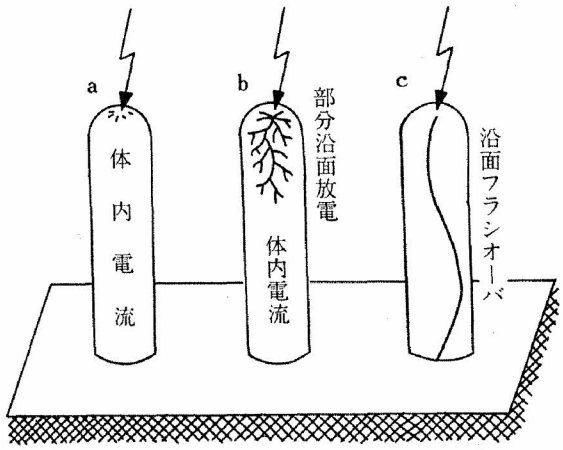
その他野球試合2例，サッカー試合1例，農夫2名の田の草取り作業1例等でも，歩幅電圧効果と考えられる傷害は見られなかった．

4. 人体への落雷の特性

以上実験及び事故調査の結果を総合すると，人体への落雷一般の特性は，以下の7項目にまとめられる．

(1) 皮膚，衣服，雨合羽，ゴム長靴等，す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，空気の針電極間の平均火花電位傾度の約½の電位傾度（250kVm^{-1}）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**図7**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．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．このステージでは体内電流は，全電流の1/10以下に減少する．



a：全電流が体内を流れる
b：体内電流に部分沿面放電の電流が加わる
c：体内電流と沿面フラシオーバ電流が並列に流れる

図7 人体への雷撃の3つのステージを示すモデル図

第1のステージで終る落雷および第3スーテジに達する落雷は比較的小数で，大多数の落雷は，第2ステージで終っている．

(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ときに起こり，直接の死因は，呼吸停止，心臓停止である．

(5) 身体に付け，あるいは携帯する金属片があると，その周辺に集中的に沿面放電が発生し，火傷を生ずるが，致命的な体内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．身体より上方に高く突き出る物体があると，その導電性にかかわらず（金属，非金属にかかわらず），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，周囲に何もない平坦地に立っている場合より，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がおこると，人体へ側撃がおこり，落雷電流の主流が人体に移行するからである．

5. 山岳落雷および海上における落雷に見られた特異な事故

西穂高岳落雷事故は，**図8**に示すように，松本深志高校の一行46名，リコー・パーティ2名が，独標頂上にさしかかった時におこり，黒丸で示した11名が死亡するという大事故となった．独標全体が岩石からなっているために，落雷電流は頂上付近に達した後，大地に流入しないで，北斜面に沿って，数珠つなぎに人体を経由する大規模な放電となって尾根を下り，反対斜面との間の鞍点に至って，大地に流入したと判断される．死亡および強い影響を受けた被雷者は，この斜面にいた者に限られているが，独標の南斜面にいた者に，それぞれ転落および転倒という2名の被雷者が出たことは注目に値する[2]．落雷地点が，導電率が著しく低い岩石からなる鋭いピークであったことは，被害を大きくした原因の一つである．

また落雷が中和する電荷は，30Cが代表値であるが，冬の落雷，山岳への落雷では，中和電荷が300Cに達するものが，しばしば観測される．被害の大きさから，落雷は，このタイプのものであったと判断される．

筆者らの39落雷の調査のなかには，標高1000m以上の山岳における落雷事故が12例含まれている．そのうち10例は，平地の落雷事故と同様，死亡あるいは意識障害という重大傷害は，直撃被雷者1名に限られている．ところが，富士山吉田口九合五勺目落雷（1982年8月8日）では，鳥居に落雷と推定され，直撃被雷者は無く，近くにいた7名が受傷し，そのなかに意識障害が1名，痛みとシビレで翌日まで動けなくなった被雷者1名が含まれていた．秋田駒ケ岳（1637m）落雷（1983年6月19日）では，峠の道標に落雷，集団登山一行中の13名が受傷，その中に意識障害1名，火傷

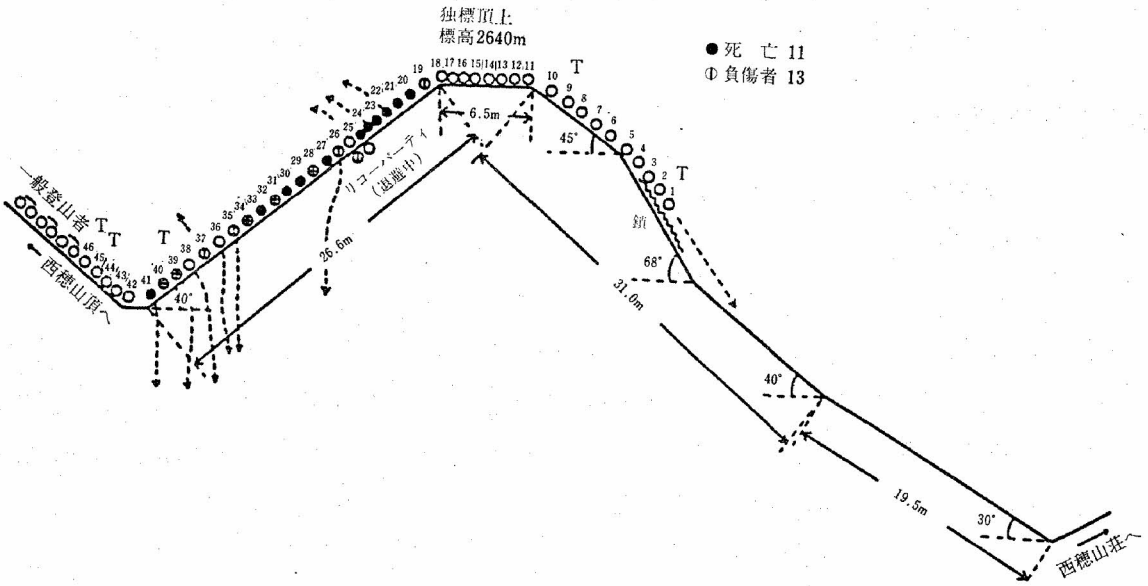


図8 岐阜県側から見た西穂高岳独標の断面と一行の位置

と外傷で長期入院を要した被雷者3名が含まれていた．

この2例では，いずれも落雷地点付近一体が岩石質で，大地の導電率が極めて低かったために，落雷電流は，一つの物体または人体に集中しないで，空中で分散してシャワーが降り注ぐように，その場に居合わせた人々に分流したと考えられ，直撃・側撃という概念が当てはまらないので，**表1**には分類不能2件と記載した．西穂高岳落雷で，南斜面に転落および転倒という2名の被雷者が出たのは，同様な現象が含まれていた結果と考えられる．

東洋町生見海上落雷（1987年8月5日）で，6名が死亡したのも，落雷電流が同様に空中で分流してそれぞれのサーファーに流入した結果と考えられる．ただこの落雷も西穂高岳落雷と同様1落雷で，多数の死亡者を出した点で，特異な落雷と考えられるので，**表1**および**表2**の統計の39落雷には含めなかった．

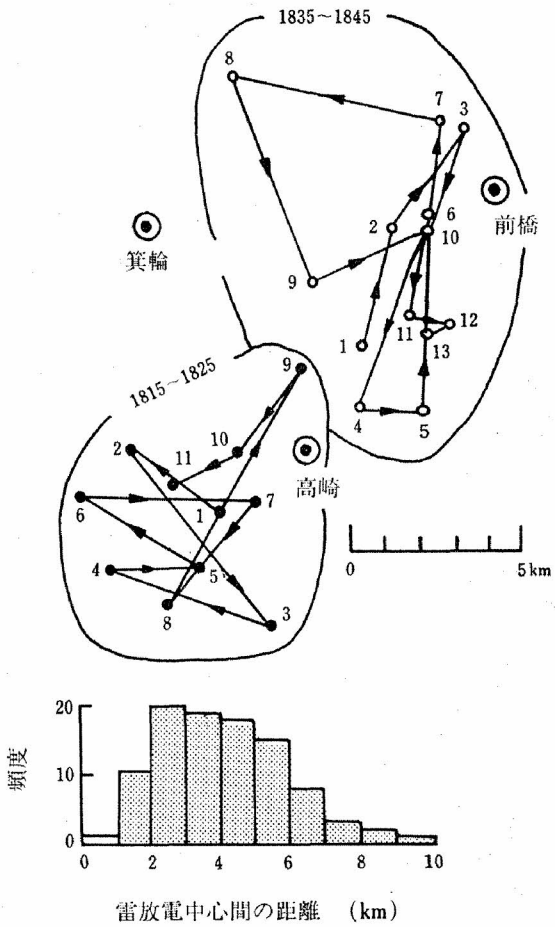


図9　雷雲と雷放電中心点の移動と中心点移動距離の頻度分布

6. 安全のための諸対策

安全対策を考えるには，人体への落雷の特性と同時に，発生，移動等雷雨一般の特性も十分に考慮しなければならない．

電光と雷鳴あるいは携帯ラジオに入る空電雑音と雷鳴との時間差から，雷放電までのおよその距離を推定することができる．しかしこれらのことから，有効に落雷を予測することはできない．畠山久尚の観測結果によって，雷放電の移動は，**図9**に見られるように，全体的には雷雲セルの移動と合致しているが，個々の雷放電は一飛び，数100mから10km の距離範囲で，分子の熱運動のような不規則移動をすることが判明しているからである[11]．雷鳴の可聴距離は10km 程度であるから，雷鳴が聞き取れない程度の遠方の雷雲から，雷撃を受ける確率は無視できない．

筆者らの調査でも，遠雷だから大丈夫と野球を継続していたとき，雷雲が頭上を去って青空になったので野球を再開したとき，落雷による死亡事故が発生している．

39落雷事故中，7例は運動場に多人数が参集したスポーツ行事中に発生し，これにゴルフ，ピクニック，ジョギング，登山を加え22例がスポーツ行事で，残りの17例は農作業，屋外作業，漁業，通学途上，雨宿りであった．雷雲がどのように活動しているか判断できなかったこと，何時何処に落雷がおこるか予想できなかったことが，これらすべての事故に共通する原因であった．

人体は，前述のように極めて有効な誘雷物体であるから，屋外では落雷を受ける確率はゼロにはならない．従って雷雨の予想されるときは落雷の達しない空間に留まることが安全策である．落雷を絶縁物で阻止することは不可能で，安全な空間

は，導体で囲まれた空間すなわち電車，自動車，コンクリート建築の内部である．避雷針，送配電線の架空地線の保護角内は，これに次ぐ安全空間であるが，保護角内の安全性は確率的なもので導体内空間のように100％の安全は保証されない．JIS 規格では避雷針の保護角を，通常建造物にたいしては60度，火薬・可燃油等の危険物を貯蔵する建造物には45度と定めている．人体は誘雷性が高く，しかも直撃による死亡率が高いわけであるから，避雷針・架空地線等の保護作用を利用しようとする場合は，必ず45度の保護角内に入るべきことは論を待たない．

上記の安全空間を即時に利用することができない登山，その他の屋外スポーツ行事は，天気予報，雷雨予報を十分に考慮して，計画し実行しなければならない．落雷の地点，時刻を予測することはできないが，地上・高層の観測システムの整備，レーダー観測，気象衛星観測，コンピュータによる数値予報等によって今日の雷雨予報の精度は著しく向上しているので，第一にこの予報を考えに入れて，屋外で雷雨に遭遇しない方策をとることが，一義的な安全策である．

しかし，実際問題として屋外に出てしまって，雷雲に気付いたときは，どう行動すべきか？　死亡あるいは意識障害という重大な被害は，直撃または樹木からの側撃に限られている．従って，「金属は危険」，「歩幅電圧は危険（歩幅を広げたり，伏臥することは危険）」という誤った考えから脱却し，第一には落雷を受けないようにする避難法をとらなければならない．

7. 屋外における緊急避難法

落雷を受ける確率の高いのは，山頂，尾根，屋上その他小高いところ，運動場，広場，ゴルフコース，河原等広く開けた場所である．

このような危険な環境にいる時は，

第1にできるだけ姿勢を低く……起伏のない平坦地ではひれ伏し……同時に持ち物を（金属・非金属にかかわらず）身体より高く突き出さないことである．

第2に，雷放電と雷放電との間には，約10秒の時間間隔があるので，その合間を見て上述の安全空間に移ることである．

金属を捨てても，ゴム長靴を履き，雨合羽を何枚被っても，直撃を防ぐ効果は全くない．金属には安全効果があるが，小さい金属片では十分な効果は期待出来ないから．**とっさの場合，ひれ伏すことが唯一の安全法で，金属片に気をとられて，姿勢を低くすることが遅れれば危険はそれだけ増大する．**洋傘，金属バット，アイアンクラブ等のように長い導電性物体を持つ時は，地表にひれ伏すと同時に，これを身体と平行に保持すれば，安全性の増加が期待できる．

屋外で安全な空間は，前述の避雷針，送配電線の保護角内であるが，雷は一般に，導電性の大小にかかわらず，高いものに落ち易い特性を持っているので，**高い樹木，ポール，煙突等の天辺を45度以上の角度で見上げる範囲では，直撃を免れることができる．**ただしこれらの物体に避雷針が完備していないと（JIS 規格に適合する突針，引き下げ導体，接地電極が備っていないと）落雷を受けた時，物体から近傍にいる人体へ側撃がおこり，落雷電流の主流が人体に流入する確率が高い．従ってこれらの高い物体の近傍は，2m 以上の距離を保つと言う条件を守らないと，平坦地より危険率が増大する．**特に樹木の場合は，どの枝先，葉先からも必ず2m以上離れる必要があり，同時に姿勢を低くすることも忘れてはならない．森林中や木立ちの間でも，全く同じ注意が必要である．テントがこのような危険範囲にあるときは，テントから出て避難する．**

8. ま と め

以上のように，安全のための方策が明確になっ

たが，要は人体への落雷の特性のうち，特に次の2点を基本にして行動することが大切である．

(1) 人体は，金属片の有無にかかわらず，また帽子・衣服・靴等身体に付ける物体の導電性・形状にかかわらず，極めて有効な誘雷物体である．

(2) 絶縁物で雷放電の進展を阻止することは不可能で，いったん他の物体に達した雷電流が，1m程度の空気の絶縁を破壊して，再び人体に流入する確率は極めて高い．

要は人体が極めて有効な誘雷物体であることで，屋外に居ると，雷鳴の可聴範囲外の雷雲から，突然落雷を受ける確率は無視できず，このような死亡事故が毎年跡を絶たない．天気予報，特に雷雨予報を十分に考慮して，屋外行事の予定をたてることが基本的な安全策である．

9. あとがき

本研究は昭和52，53，54，55および59年度の文部省科学研究費，昭和61，62年度東京家政大学特別研究費および昭和62年度デサントスポーツ科学振興財団の奨励研究助成金を受けて行われた．研究推進に当たった「人体への落雷研究グループ」の構成員は：大橋正次郎，藤城保男（東京電力病院），石川友衛（国立東京病院附属リハビリテーション学院），鶴見策郎，首藤克彦（東京理科大学理工学部），永井洋治（相模工業大学），高木勝正（木更津高専）である．また今年度の研究には東京家政大学理科コース4年生富田久子が卒業研究として参加した．記して深く謝意を述べる．

文　献

1) R.H. Golde and W.A. Lee; "Death by lightning" Proc. IEE, Vol. 123, No. 10R, pp 1163—1180 (1976)
2) 長野県松本深志高校；「西穂高岳落雷遭難事故調査報告」長野県松本市松本深志高校刊行（1969）
3) 北川信一郎他；「人体への模擬雷撃実験」科学，41巻，9号，pp 486—494（1971）
4) 北川信一郎他；「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巻4号，pp 208—214（1986）
5) 竹内利雄；雷放電現象，名古屋大学出版会 p 119 (1987)
6) 大橋正次郎他；「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」東電医報，10・11号，pp 41—50 (1981)
7) 武藤藤太郎他；「雷を模擬した衝撃電圧の放電によるウサギの電紋」，東電医報，3号 pp 5—13 (1973)
8) 大橋正次郎他；「雷撃症の経験と落雷死傷者調査記録」東電医報，8号，pp 5—33（1978）
9) 大橋正次郎他；「雷撃傷の調査記録（昭和54年調査）」東電医報，9号，pp 25—41（1979）
10) 石川友衛他；「雷撃傷の調査記録（1980年—1982年調査）」東電医報，12号，pp 15—25（1983）
11) H. Hatakeyama; "The Distribution of the Sudden Change of Electric Field on the Earth's Surface due to Lightning Discharge" Recent Advances in Atmospheric Electricity edited by L.G. Smith, Pergamon Press. New York, pp 289—298 (1958)