

# 地表電界値による航空機の被雷防止法\*

遠 峰 菊 郎・鈴 川 三 男・道 本 光 一 郎\*\*

## 要 旨

冬季、小松空港周辺における航空機の被雷はほとんど離発着時に伴うもので、比較的低高度で発生するものが多い。これらの被雷のほとんどは、地表において強い電界値が観測され、被雷防止のためにはこの強い電界値の領域を避ければよいことが分かる。

そこで、着陸時における30分以内のホールディング、又は離陸を遅らせることによって強い電界値の領域を避け得る件数を調べると、これまで被雷してきた例の過半数がこれに該当することが分かる。故に地表の電界値を観察することは、航空機の被雷を防止するために大切である。

## 1. はじめに

Gunn (1948) は、B-17 の翼に電界計を取り付け直接雷雲内の電界観測を行った際、 $3.4 \times 10^5 \text{ V m}^{-1}$  の電界域で雷撃を受けた。この値は、常圧下における放電電圧は  $3 \times 10^6 \text{ V m}^{-1}$ 、水滴の影響を考慮に入れても  $10^6 \text{ V m}^{-1}$  であると言われているのに比べ、はるかに小さい。このような電界強度域において航空機が被雷するのは、高圧実験でもよく知られているように、ある平行電界内に航空機が侵入するとこの航空機の突端部で電界強度が増大することによるものと考えられている。又、その他の被雷を受け易くなる条件として、航空機の機体への電荷の付着、コロナ放電の発生有無などが考えられている。現在の航空機は被雷しても比較的に安全であるように設計上の配慮が払われているが、被雷すれば機体の一部が破損し運行上支障を伴うことも多く、被雷の防止はやはり重要な課題の一つである。

航空機の被雷を防止する方法として現在最もよく行われているものは次の二つである。

- 1) 現在発雷しているエコーを回避する。
- 2) 強いエコーを避ける。

しかし、航空機が離着陸する際の経路は定まっているために、強いエコーを避けきれずに被雷する例が多い。

又、エコーが全く存在していない場所、或いはウィークエコーからの被雷も報告されており、冬季小松空港周辺において被雷が多発しており、その防止のために上記の二つの方法以外に有効な手段が必要とされている。

小松空港周辺での被雷は、ほとんど離着陸時に伴うもので低高度での被雷が多い。このような被雷をもたらす雷雲は、強い地表電界をもたらすことが予想されるので、地表電界から見た航空機の被雷について調査していく。

第2節で航空機の被雷と自然発雷の時間的關係を調べ、現在、どのようにして被雷が発生しているのかを述べる。第3節において電界計系の説明、第4節において地表電界値と被雷の關係、及び被雷防止の方法について述べる。

## 2. 航空機の被雷

冬季、小松空港周辺における被雷の調査は、1983年1月から1986年2月までの間に発生した被雷71件について行われる。この内、電界計システム上空で被雷し、電界値のデータを得ることのできる20件について、被雷発生時刻と自然雷の継続時間を第1図に示す。この20件の被雷が、小松を中心とした半径10 km以内のところで発生していることから、自然雷の開始と終了時刻を小松気象隊の観測日表より求め→印で示し、被雷を●印で示してある。航空機の被雷が発生した日は延14日間で、この内自然雷を伴っていた日は10日間、伴っていない日は4日間あった。このことは、自然雷がなくても被雷は起こり得ることを示している。又、被雷発生時刻に自然雷を伴

\* An available method to prevent lightning on aircrafts using electric field on the surface.

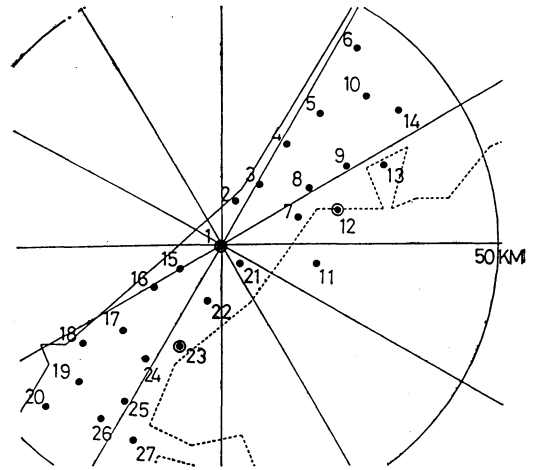
\*\* Kikuro Tomine, Mitsuo Suzukawa, Kouichiro Michimoto, 防衛大学校地学教室。

—1987年3月12日受領—

—1987年8月31日受理—

っているもの14件について見ると、被雷発生時刻は必ず自然雷の開始、又は終了時刻付近にあり、自然雷継続中での航空機の被雷は見られない。これは前に述べているように、小松空港周辺に自然雷が存在する時は離着陸を行わないので、その結果であると考えられる。すなわち、このような被雷を防止するためには、自然雷が開始する以前に、上空のエコーは電氣的に活発であるか否かを、又、自然雷終了後どれ位経過したら安全であるかを判断する必要がある。

次に、71件の被雷の内、被雷高度が不明なものを除いた69件の高度別被雷件数を第2図に示す。3000 ft (910 m) 以下で被雷したものが40件、5500 ft (1650 m) 以下のものが62件と、低高度での被雷が多いことが分かる。このような低高度における被雷をもたらず雷雲は、かなり強い地表電界を伴うものと予想されるので、小松における電界計システムを用いて地表界を調べる。このシステムの説明を次節で行う。



第3図 電界計配置図。実線により海岸線、破線により1 kmの等高線を示す。

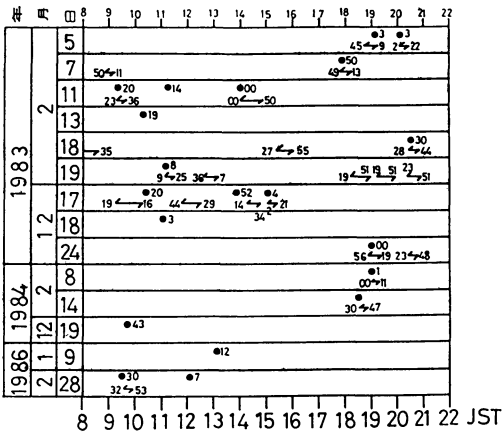
- 1: 小松, 2: 根上, 3: 美川, 4: 倉部, 5: 湊, 6: 宇ノ気, 7: 辰ノ口, 8: 館畑, 9: 三小牛, 10: 二日市, 11: 釜清水, 12: 獅子吼, 13: 氣後山, 14: 竹又, 15: 塩浜, 16: 片野, 17: 北潟, 18: 陣ヶ岡, 19: 三国, 20: 和布, 21: 木場, 22: 勅使, 23: 刈安, 24: 笹岡, 25: 江留, 26: 四十谷, 27: 開発。

3. 電界計システム

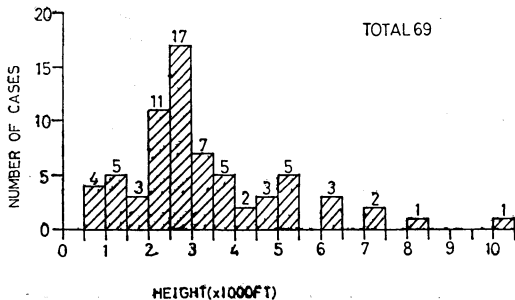
ここで用いられた電界計システムは、鈴川等(投稿中)によるものと同じ物であるが再度説明する。小松基地を中心として回転型の電界計27個が第3図のように配置されている。海岸線に沿って100 km、海岸線から内陸部に20 kmの長方形の範囲である。この電界計により  $156 \text{ Vm}^{-1}$  の精度で  $\pm 200 \text{ Vm}^{-1}$  から  $\pm 4 \times 10^4 \text{ Vm}^{-1}$  の電界値を観測することができる。電界計は2000 r.p.m.で回転するが、ここでは90秒間に1個の瞬間値のデータを記録している。

4. 航空機の被雷と地表電界

第2節に述べられている69件の被雷の内、電界計システム上空において被雷し電界値のデータを得ることのできる20件について、被雷時の地表電界強度と航空機の外気温度を第4図に示す。被雷時の電界値としては、航空機の離着陸時のスピード  $150 \sim 250 \text{ kt}$  ( $80 \sim 130 \text{ m s}^{-1}$ )、及び被雷位置等の誤差を考慮し、被雷地点の3.2 km以内に電界計がある場合、その局の  $\pm 90$  秒の範囲での最大値、被雷地点が数個の電界計の間に位置する場合、被



第1図 被雷発生時刻(●)と自然雷の継続時間(←→)。図中の数字は分を表わす。

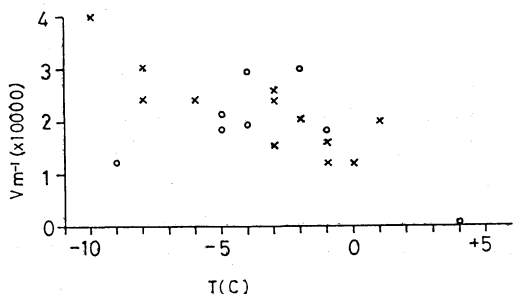


第2図 高度別、被雷発生頻度分布。

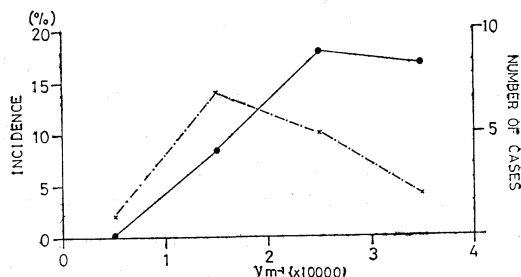
雷地点から半径5 km の円内に入る電界計の内、±90 秒の範囲での最大値を用いる。この図から一回だけ  $500 \text{ V m}^{-1}$  というごく小さな値が見られるが、他の19回は全て  $10^4 \text{ V m}^{-1}$  以上の電界値を示す領域で被雷しているのが分かる。この結果、当初の予想通り被雷は地表電界が強い領域で起こり、弱い電界の中ではほとんど起こらないと言える。又、負電界と正電界の中での被雷はそれぞれ×印(12件)と○印(8件)により示されているが、両者の符号による差は見られない。このことは航空機の被雷には電界の符号よりもその電界の絶対値が重要であることを示している。又、被雷時における航空機の外気温度は  $+1^\circ\text{C}$  から  $-10^\circ\text{C}$  の間であり、Kuettne (1950) による雷雲内における電荷が集中する領域と一致している。しかし、小松で離発着する際に、電界計システムの端で2 km から3 km の高度にしかならず、このシステム上空で航空機が通過する気温は、上述されている気温の幅よりわずかに広いだけである。故にこの気温幅は、そこに強い電界が存在しているというよりも、むしろ飛行高度の頻度分布に影響されていると考えられる。

航空機の被雷は強い地表電界の領域で発生しているこ

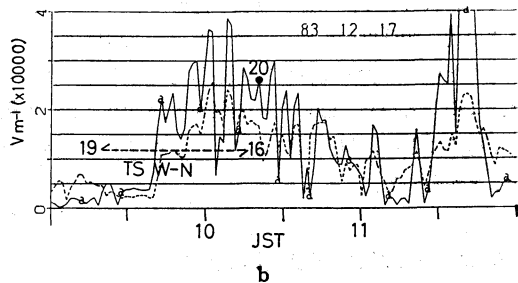
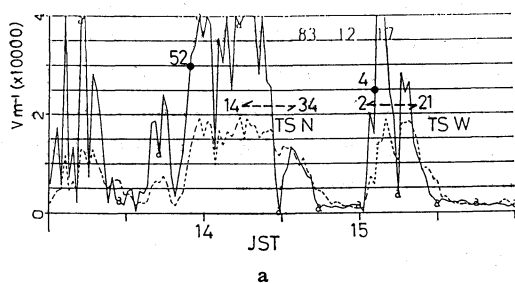
とが分かったので、次にこの被雷の発生率を求めるために、1983年1・2・12月、1984年12月、1985年2月の5か月間の内、延66日間の悪天日の計731回の離着陸(うち、被雷件数15)について電界値を調べる。解析方法は、航空機の離着陸時刻からその時刻の飛行場の風向を観測日表より求め、航空機が離着陸する方向を判断し、 $240^\circ$  方向の場合は小松局と根上局、 $60^\circ$  方向の場合は小松局と塩浜局、判別不能の場合は小松局、根上局、塩浜局の電界値のデータを使用し、離着陸時に対し±90秒の範囲の最大の電界値の絶対値をその航空機が通過した電界強度とする。第5図にこの電界強度を  $10^4 \text{ V m}^{-1}$  毎の4段階に分け、各段階毎の被雷発生率(実線)と被雷発生件数(破線)を示してある。これによると、 $10^4 \text{ V m}^{-1}$  以下の弱い電界中ではほとんど被雷は発生せず、 $2 \times 10^4 \text{ V m}^{-1}$  以上では約20%の発生率を示している。この20%という割合はかなり大きいものであるが、これは又、航空機の被雷というものはかなり複雑な現象であることも示している。すなわち地表電界強度がある値を示していても、電荷が密集していると考えられる雲底付近ではさらに複雑な電界が予想され、その中には局所的



第4図 被雷時の地表電界強度と航空機の外気温度。○は正電界，×は負電界を示す。



第5図 電界強度別、被雷発生件数(破線)と被雷発生率(実線)。



第6図 地表電界の絶対値(実線)とその平均値(破線)の時間変化、被雷時刻(●)、自然雷継続期間(←.....→)。1983年12月17日(a)13~16JST、(b)9~12JST。

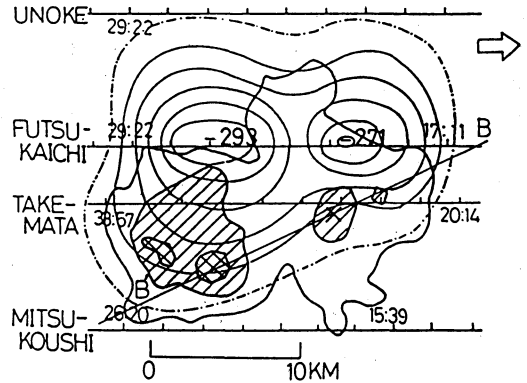
に強い電界領域も存在し得る。又、コロナ放電や機体に付着した電荷も航空機付近の電界を複雑にするであろう。このような現象が重なって絶縁破壊、放電を引き起こし得るので、地表における電界強度を観測するだけでは航空機の被雷条件の全部をとらえ切れないことは当然の結果である。しかしここでは、少なくとも地表における電界強度が小さい間は航空機が被雷する確率は非常に小さいことが分かる。

そこでこの強い電界が継続する時間を調べ、航空機が着陸時にホールディングにより強い電界域を避け得る可能性を考える。第6図に(a)1983年12月17日13時52分(着陸時)と15時4分(離陸時)、(b)10時20分(着陸時)の被雷時刻、自然雷継続期間(←→)、地表電界強度の時間変化を示す。電界強度は絶対値で表わし、被雷地点の最も近い電界計の値を実線、その周辺10 km以内の電界計の値の平均を破線で示している。又、被雷時刻を●印、小松の観測日表による自然雷の継続期間を←→印で示し、その前後に自然雷の発現開始時刻と終了時刻を分で示してある。第6図aの2つの被雷は自然雷が開始する時期の雷雲によるものである。10<sup>4</sup> V m<sup>-1</sup>以上の電界強度が持続する時間は前者が60分、後者が25分であり、被雷はこの強い電界を示す期間の初期の部分で発生している。航空機に対する被雷を防止するためにはこの強い電界域を避けることが必要であるが、前者の場合は60分のホールディング、後者の場合は25分離陸を遅らせることが必要である。第6図bの被雷は、自然雷が終了し着陸を行ったところ、まだ残っていた強い電界中で発生したものである。10<sup>4</sup> V m<sup>-1</sup>以上の電界強度が持続する時間は90分であった。この強い電界を避けるためには、被雷を受けた時刻からさらに50分のホールディングが必要であった。

以上、3つの被雷について見てきたが、通常の民間航空機において、20~30分間のホールディングは可能であると言われている。本節の当初に述べられている19件の被雷の内、30分以内のホールディング、又は離陸を遅延することにより強い電界域を回避し得るものが11件あった。このことから、強い電界強度域を避けるように離発着を行うことは、航空機にとり、ある程度まで可能であることが分かる。

## 5. エコーに対する地表電界の分布

最後に、小松空港のように電界計システムが設置されている空港では、強い電界強度域を避けることは比較的



第7図 レーダーエコーに対する地表電界の強度分布。等値線は5000 V m<sup>-1</sup> 間隔(実線)であり、一点鎖線により、0 V m<sup>-1</sup>を表わす。図中●と⊙はそれぞれモデレート、ストロングエコーを表わす。

に容易であると思われるが、このようなシステムを持たない空港については、強い電界強度域を避けるためにエコーに対する地表電界分布を知っておく必要がある。このエコーに対する地表電界の分布は鈴木等(投稿中)により解析されているので、ここではその一例を第7図に示す。このエコーは1983年12月11日に電界計システム上空、小松より北側部分を約29 m s<sup>-1</sup>で東北東に通過したものである。ここでは宇ノ気、二日市、竹又、三小牛における電界値の時間変化を、電界値の保存、移動速度一定と仮定することにより、時間変化を空間分布に置き換えて解析したものである。●と⊙によりモデレートエコーとストロングエコーの領域を示す。等値線は5000 V m<sup>-1</sup> 間隔であり、一点鎖線により0 V m<sup>-1</sup>を示す。この図から地表電界強度が強い領域はエコーに対して進行方向左側のウィークエコー又はエコーが観測されない領域に存在することが分かる。このことから、航空機がウィークエコー域、あるいはエコーが観測されない領域でも被雷し得ることが理解される。又、ストロングエコー領域では強い正の電界域が形成されることがあるので、ここも注意する必要がある。ゆえに、強い地表電界強度域を避けるためには、なるべくエコーの進行方向右側を迂回することが示唆される。

## 6. まとめ

冬期小松空港周辺における航空機の被雷は、主に低高度で発生しており、その時の地表電界は大きな値を示

し、この電界値が小さい所ではほとんど被雷は発生していない。従って、被雷を防止するためには、この強い電界域を避ければよいことが分かり、これは航空機の運用上可能な手段であると思われる。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、貴重な資料等を御提供して頂きました全日空運航管理課 下坂様、小松営業所の皆様、航空自衛隊小松気象隊の皆様、又、御助言を頂きました室岡義広教授、電界計のデータを提供して下さいましたリオン(株)に感謝いたします。

参考文献

Gunn, R., 1948: Field Intensity in Natural Clouds, Journ. Appl. Phys., 19, 481.  
 島山久尚, 川野 實, 1976: 気象電気学, 岩波全書,

96-98.  
 Huzita, A. and T. Ogawa, 1976: Charge Distribution in the Average Thunderstorms Cloud, J. Meteorol. Soc. Japan., 54, 285-288.  
 Kuettner, J., 1950: The electrical and meteorological conditions inside thunderclouds, J. Meteorol., 7, 322-332.  
 Reynolds, S.E. and M. Brook, 1956: Correlation of the initial electric field and the radar echo in thunderstorms, J. Meteorol., 13, 376-380.  
 Simpson, G.C. and F.J. Scrase, 1937: The distribution of electricity in thunderclouds, Proc. R. Soc. London, Ser. A., 161, 309-352.  
 Takahashi, T., 1974: Electric Charge Life Cycle in Warm Clouds, J. Atmos. Sci., 32, 123-142.  
 遠峰菊郎, 道本光一郎, 阿部成雄, 1986: レーダーによる小松周辺の冬季雷の研究, 天気, 33, 445-452.

日本学術会議第14期会員候補者の選考対象者の募集 (公示)

学術会議会員候補者および推薦人の選考委員会

日本学術会議第14期会員選出の手続きが進められております。日本気象学会は学術研究団体の登録を終え、関連研究連絡委員会は申請通り地球物理学と推定されました。次に当学会としては、第14期会員候補者を選考し昭和63年2月1日までに日本学術会議に届出ることになります。

日本気象学会の会員候補者は「天気」34巻3号でお知らせした選考方法に拠って選出します。会員候補者が満たすべき要件は次の通りです。

- (1) 5年以上の研究歴を有し、優れた研究または業績がある科学者であること。
- (2) 過去において、通じて9年を超えて日本学術会議会員であったことがないもの。
- (3) 日本国籍を有すること。

つきましては標記委員会において、会員候補者の選考対象者を募集します。自薦・他薦を問いません。応募者は下記の要領で届出て下さい。

記

1. 届出事項

- ア) 応募者氏名, 住所・連絡先(住所と異なる場合), 日本学術会議会員歴, 勤務機関および職名, 最終学歴, 学位, ならびに簡単な研究歴。
- イ) 他薦の場合は, 推薦者氏名(複数可), 連絡先, ならびに, 被推薦者の承諾書。

2. 宛先: 日本気象学会事務局

〒100 東京都千代田区大手町 1-3-4 気象庁内

3. 締切: 昭和63年1月16日(必着)