

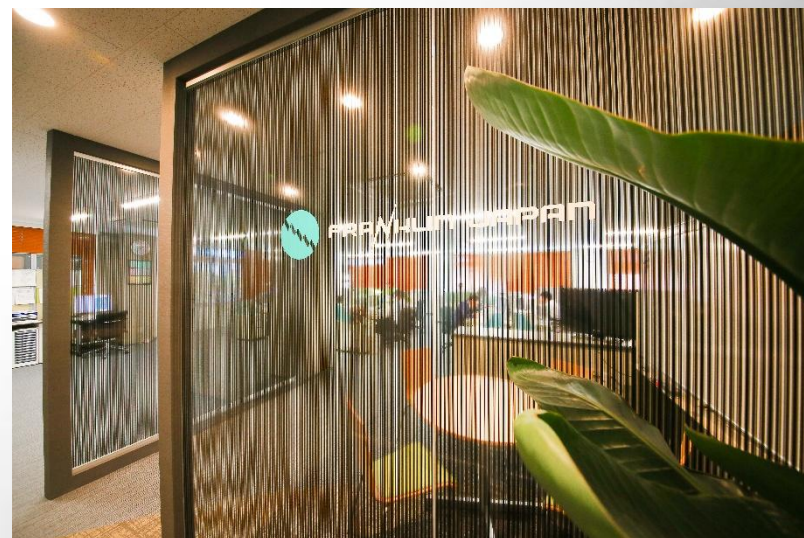
雷の特性と観測方法

(株)フランクリン・ジャパン
松井 倫弘

第11回損害鑑定フォーラム
令和7年11月29日（土）

弊社のご紹介

- フランクlin・ジャパン（気象庁気象業務許可 第33号）は、米国のNLDN～National Lightning Detection Network～の技術を用いて、日本で落雷の正確な観測データを提供することを目的に、1991年に設立された民間の気象情報会社です。
- 日本全国をカバーする雷観測ネットワーク「JLDN～Japanese Lightning Detection Network～」を保有・運用しています。
- 業務内容
 - ・日本全国の雷の観測
 - ・雷情報の配信、過去の雷データの販売
 - ・気象予報業務





ゴルフ場・ 屋外レジャー施設

プレーヤーの避難や
プレー再開の見極め

来場者の避難や施設の
稼働の一時停止



索道関係

・ロープウェイなど
監視や利用者避難

- 日本国内のゴルフーナメントは、弊社が100%サポートしています。
- 最近のイベント支援
 - rockin'star Carnival
 - ROCK IN JAPAN FES 2025
 - ULTRA JAPAN / BMSG FES'25
 - 駿府城夏祭り
 - 世田谷区たまがわ花火大会
などなど多数

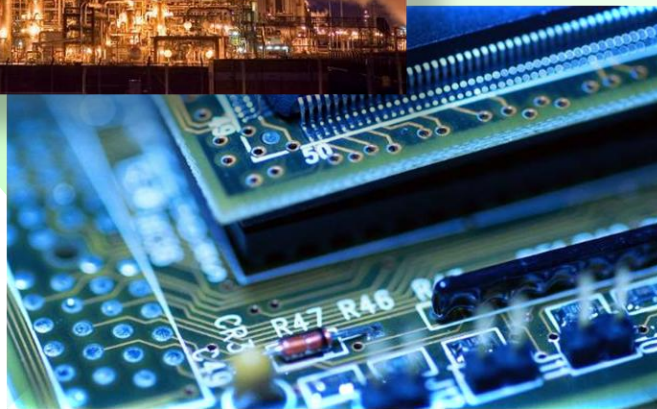


イベント支援

プロゴルフーナメントにおける
気象情報提供

ライブや屋外競技・イベントでの
スポット支援





工場関係

落雷が原因で起こる瞬低での
製品への被害の軽減
(ライン停止、自家発電切り替え)

鉄道事業

広域にわたる落雷監視および
早期復旧を目的とした雷害箇所の特特定



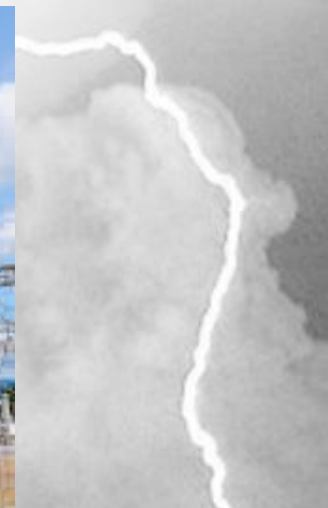
宇宙開発

ロケット発射時の
気象の監視

電力会社送電網への落雷監視



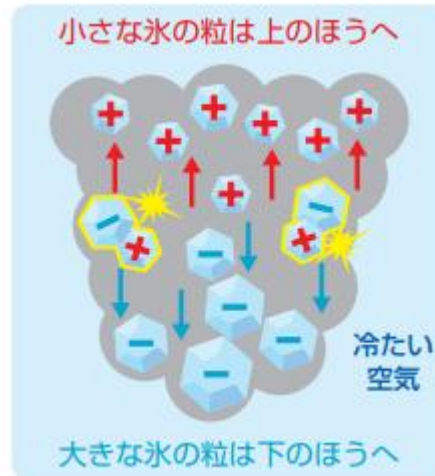
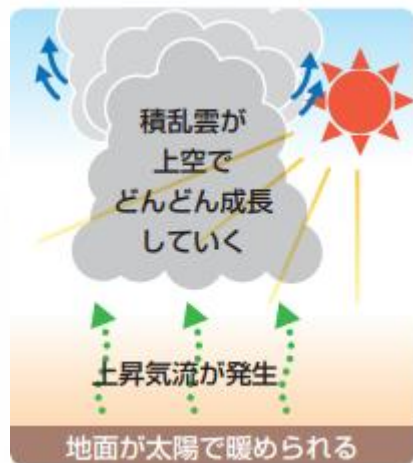
- 送電線への落雷監視
- 配電設備への落雷調査
- 電力設備の故障原因調査



雷の発生のメカニズム

雷が発生する原理

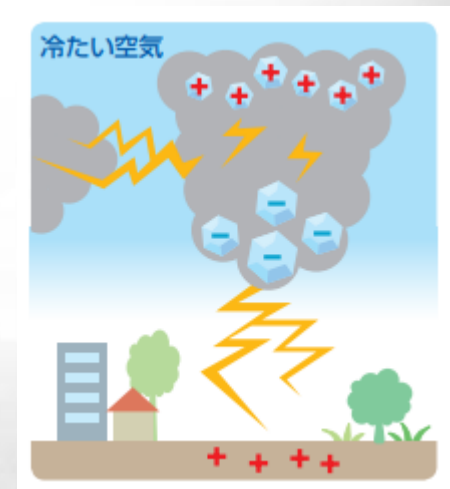
上昇気流が発生し、雲の中の対流が活発になる。



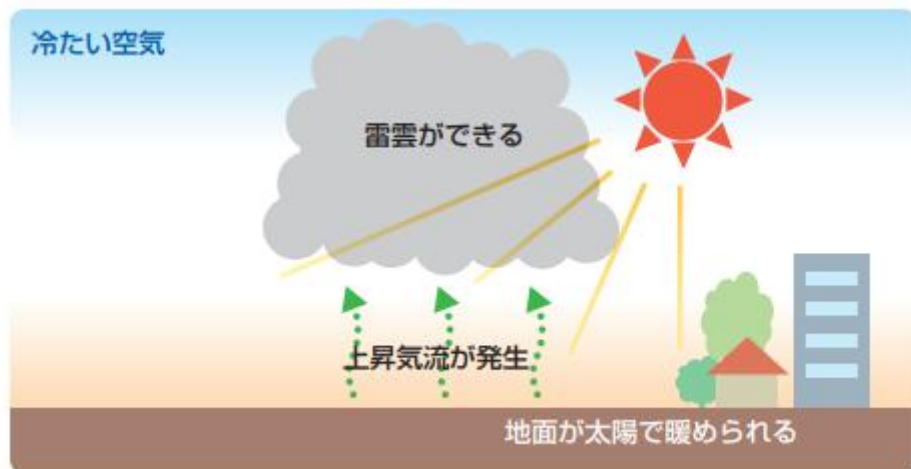
着氷電荷分離機構説

雲内の対流により、あられや雹、氷晶などがぶつかりあい、プラスとマイナスに電荷に、それぞれ帯電する。

雲の上にプラスと雲の下にマイナスに帯電し、それらが、雲内や大地に向かって放電する。

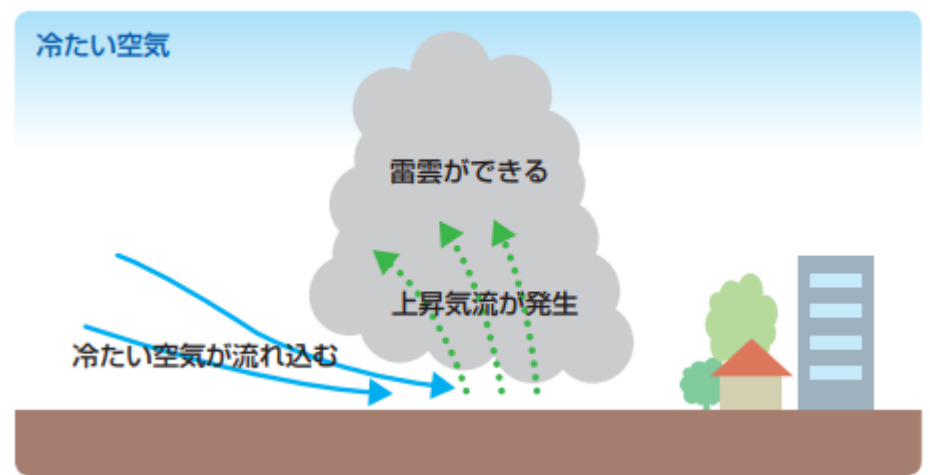


雷が発生する原理の分類



熱雷

夏の雷に多いタイプ。地面が熱せられて、上昇気流が発生し、雷雲を形成する。

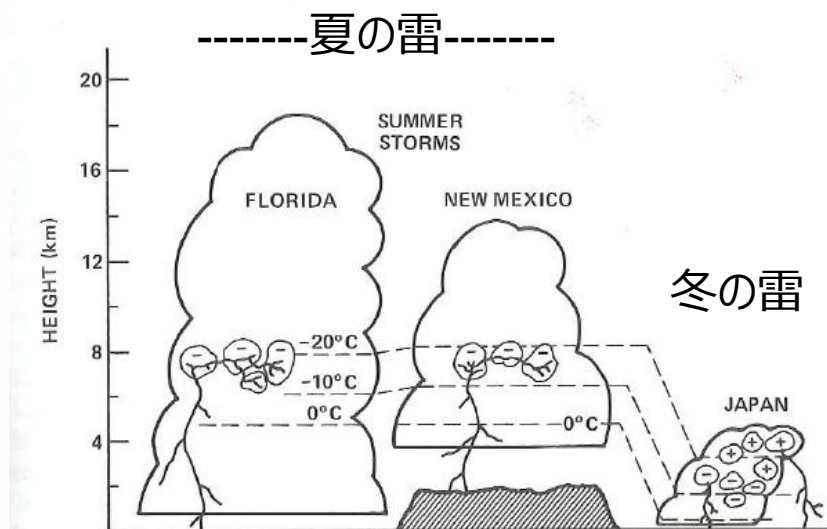


界雷

寒冷前線により、暖気が押し上げられて、上昇気流が発生し、雷雲を形成する。

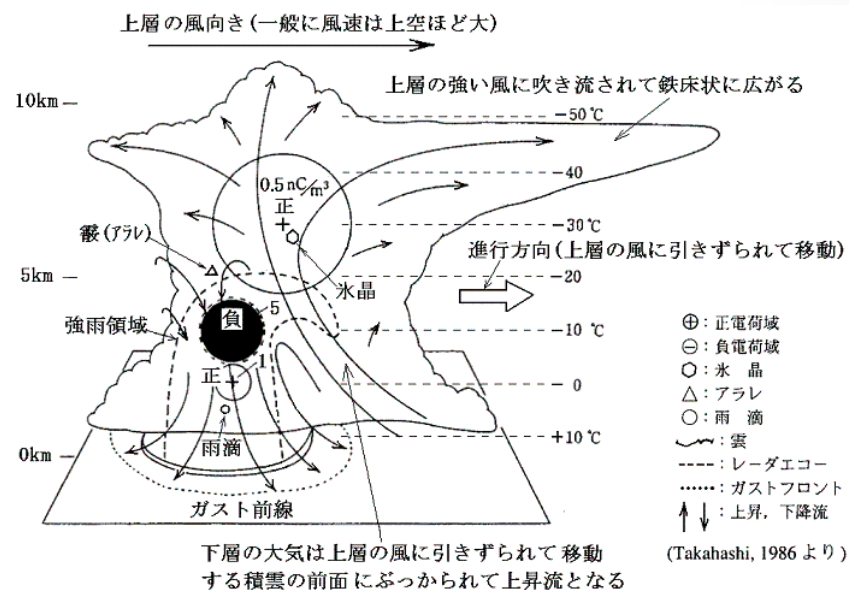
雷の発生のメカニズム

日本の冬季雷は、雷雲の高度が低いことが特徴である。



高橋つとむ「雷の科学」より
Krehbiel, P.: The electrical structure of
thunderstorms, The Earth's Environment,
National Academic Press, p.90-113(1986)

- -20°C高度の高さ以上に正電荷が分布
- **-10°C高度付近に負電荷が分布**
- 0°C高度付近に、小さな正電荷が分布



雷雲は、プラス・マイナス・プラスのサンド
イッチ構造になる

電荷分離機構

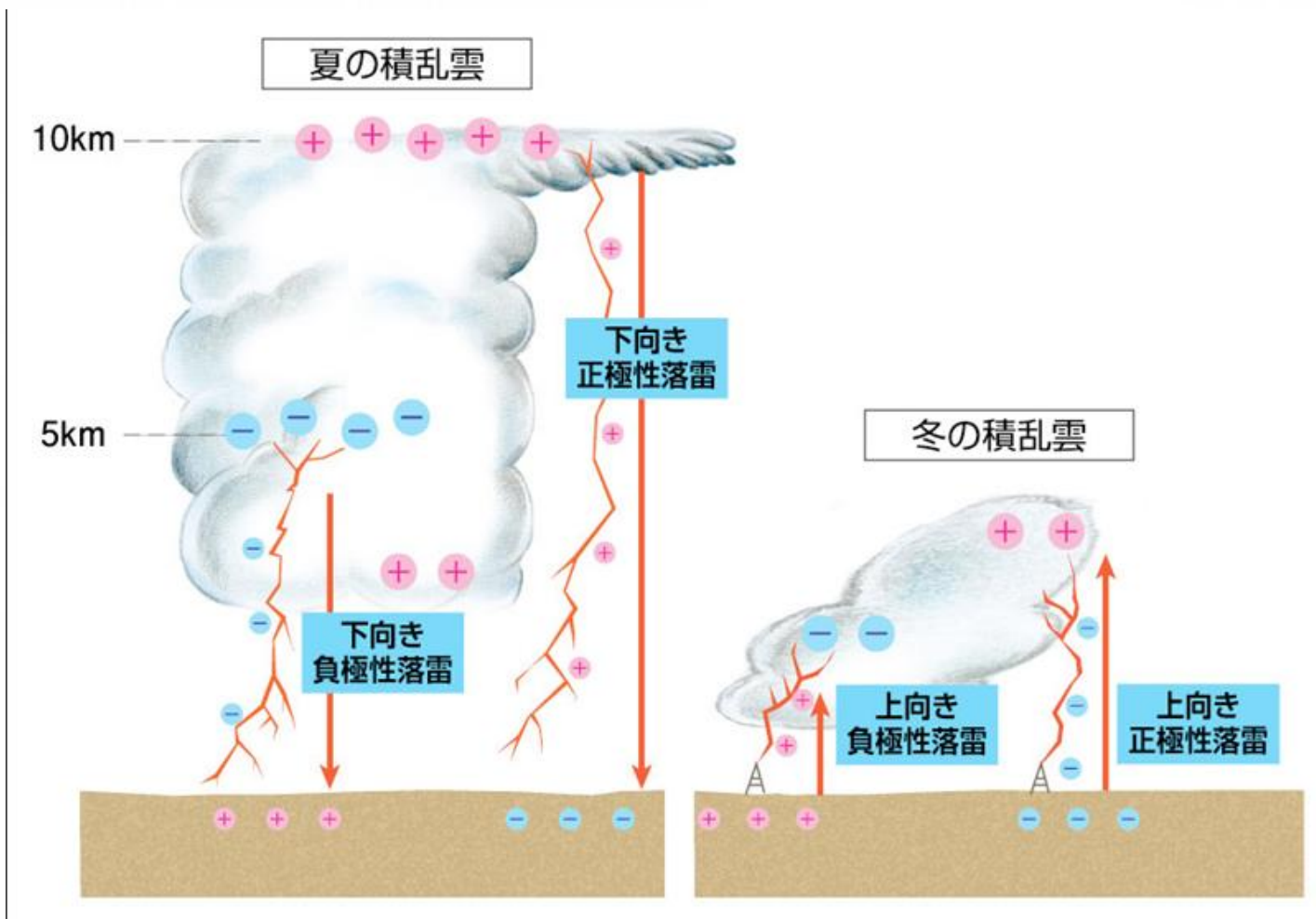
■ 対地雷

雲→大地もしくは大地→雲に向かってリーダが進展する雷放電。地上にいる人畜や社会インフラに被害を与える。

■ 雲放電（雲間放電）

雲内もしくは雲間で発生する雷放電。雷放電全体の70~80%を占めると言われているが、地上の人畜やインフラには被害を与えることは100%ない。

雷の種類



雷の季節的特徴

調査範囲：全国

調査期間：2015年～2024年

単位：回／月

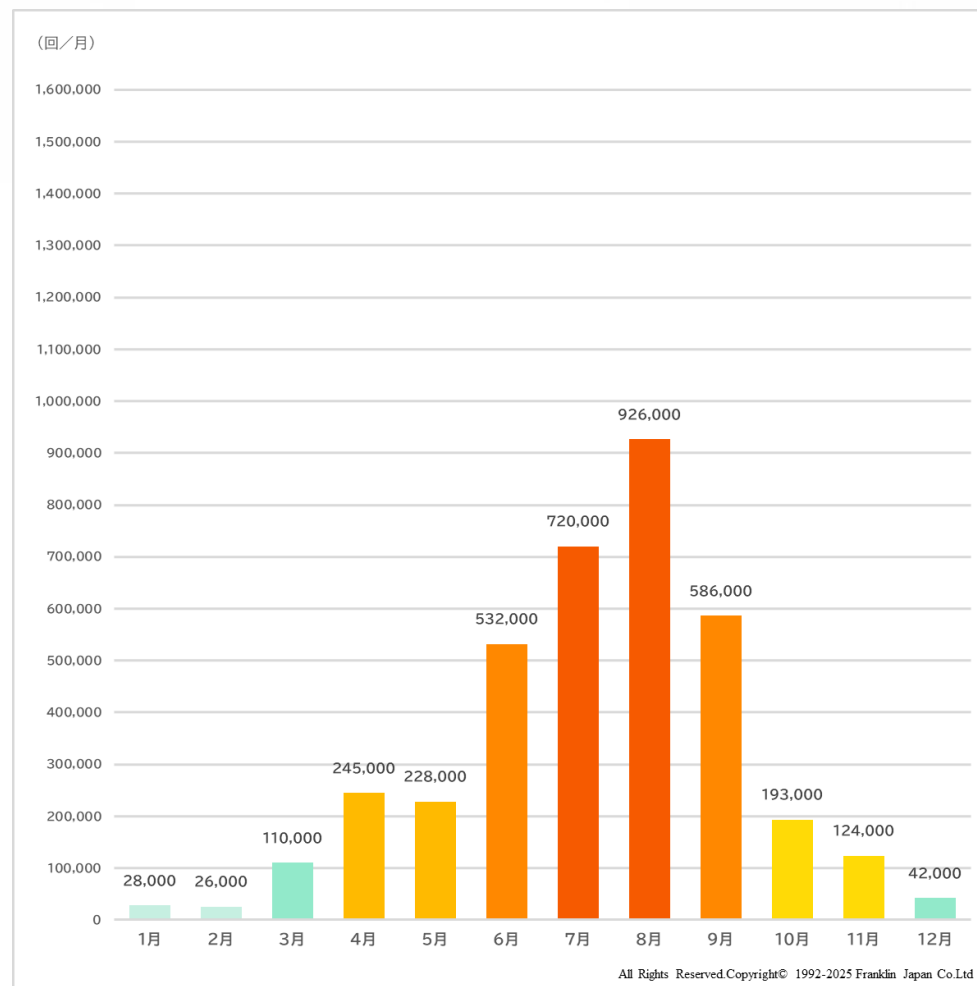
図は日本列島および周辺海域を含む2600km四方に発生した落雷数を月別にまとめたものです。

過去10年間の平均を取ると、7月、8月を中心に夏季は多く、1月、2月を中心に冬季は少ない傾向にあります。

これは、落雷の発生に日射が大きく関与することに起因しています。

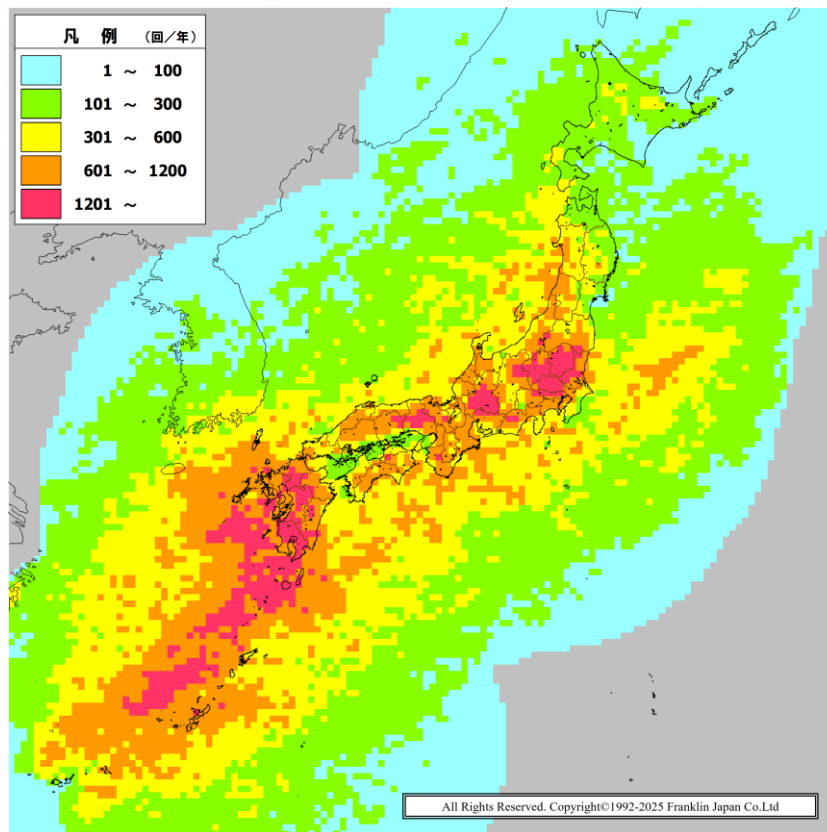
しかし、年ごとの傾向を見た場合、必ずしも傾向は一つに定まらず、その年の気象条件に大きく左右されていることが解ります。

※ひとつの落雷では、多くの場合、複数回の放電が繰り返されます。落雷中のそれぞれの放電を雷撃（stroke）と呼びます。また、一連の雷撃を合わせて落雷（flash）と呼びます。「JLDN」は、雷の数を雷撃（stroke）で観測しており、このデータは、雷撃（stroke）の数で作成されています。

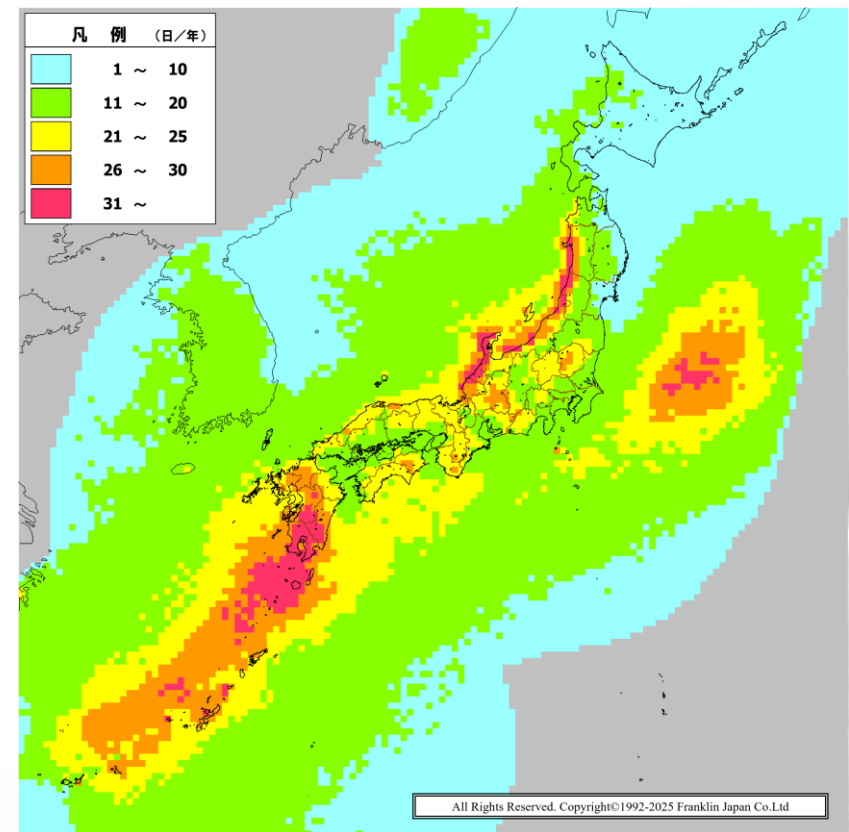


雷の地域的特性

落雷密度 (2015-2024)



落雷日数 (2015-2024)



■ 夏季雷

- 夏に発生する雷。北関東、中部、中国、九州の山間部で多い

■ 冬季雷

- 冬に発生する雷。東北地方～中国地方の日本海沿岸部で発生する。
- 夏季雷と比較して発生する数少ないが、大きなエネルギー（電荷量）を持つことが多い。
- 全世界の中で、1000C（夏季雷の平均は5C程度）を超える雷の発生が確認されているのは、**日本海沿岸部だけ**である。

- 冬季雷は、青森県～鳥取県の日本海沿岸部で発生する冬季に発生する雷である。
- 冬季雷は、沿岸から30km程度以内でしか発生せず、それより内陸では発生しないと言われている。
- 夏季雷が昼過ぎ～夕刻にかけて発生する頻度が高いのに対して、冬季雷は発生時刻の分布が分散している。
- 冬季雷は、一発雷と呼ばれるタイプの雷が多い。
- 夏季雷は、極端に高い建物(東京スカイツリーなど)への落雷を除けば、雷雲から大地に向かって放電が進展し、下向きに放電路が枝分かれする。しかし、冬季雷は、地上の構造物から上向きに放電が進展し、放電路が上向きに枝分かれする。

下向き放電と上向き放電

下向き雷



上向き雷



北陸電力ホームページより

- 夏季雷は、正極性雷の比率は10%程度であるが、冬季雷では30～50%が正極性雷である。
- 冬季雷は、電流の持続時間が夏季雷に比べて長いものが多い。そのため、電荷量が異常に大きい。IECによる雷保護レベルでは、300Cの電荷量を持つ雷に耐えるよう電気設備を設計するように定められているが、日本国内の冬季雷の観測では、1000C程度の電荷量を持つ冬季雷が観測されている。
 - そのため、電力設備の冬季雷の事故率は、夏季と比較して3～15倍と言う報告がある。※

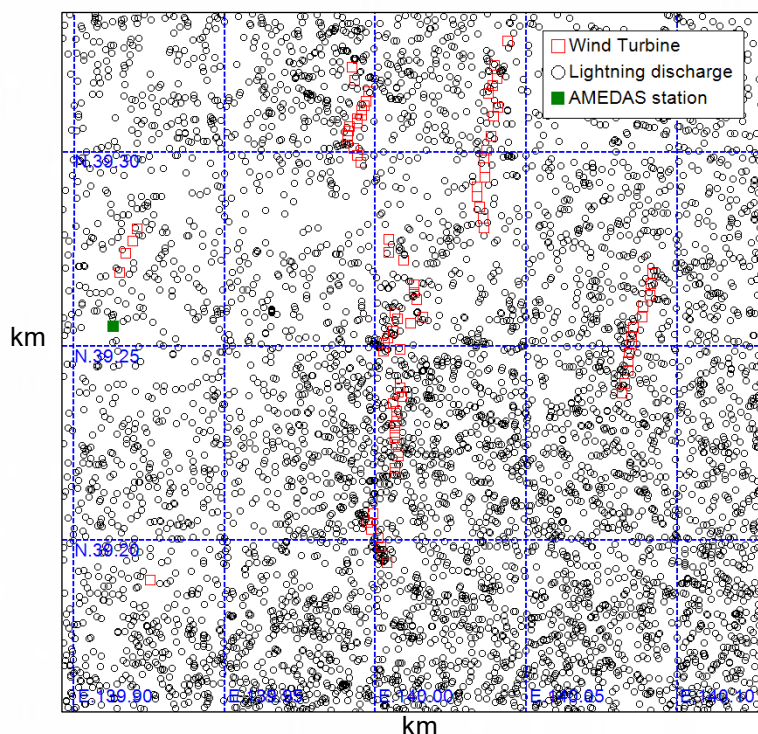
※佐藤、本間、本田、横山、松本“東北地域の季節特性を考慮した配電線雷ハザードマップ”,平成23年電気学会電力・エネルギー部門大会、No245、2011年.

表 IEC62305-01の保護レベル標準

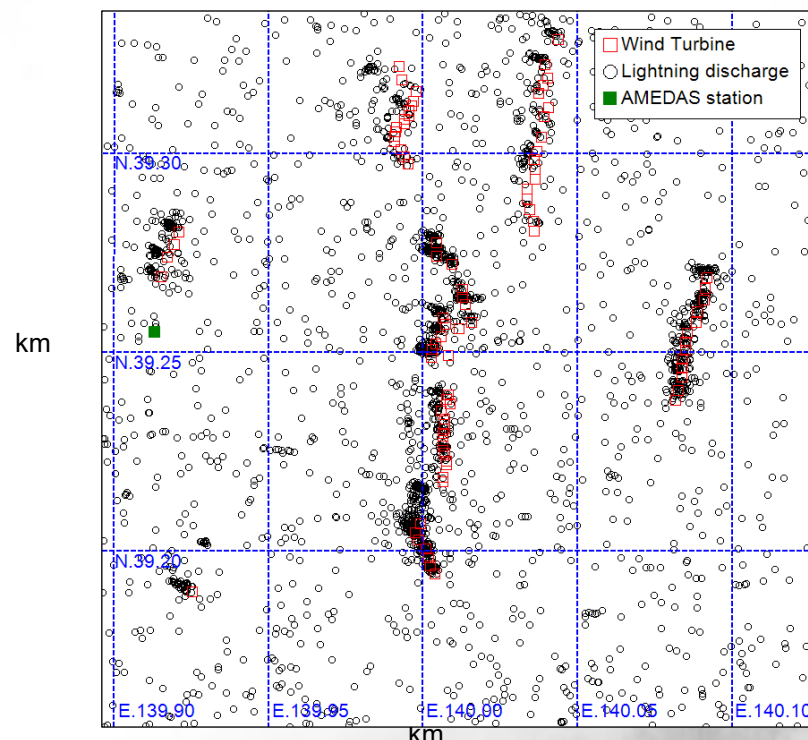
IECの保護レベル	電荷量(C)
I	300
II	225
III & IV	150

冬季雷の特徴（高構造物への集中）

夏季



冬季



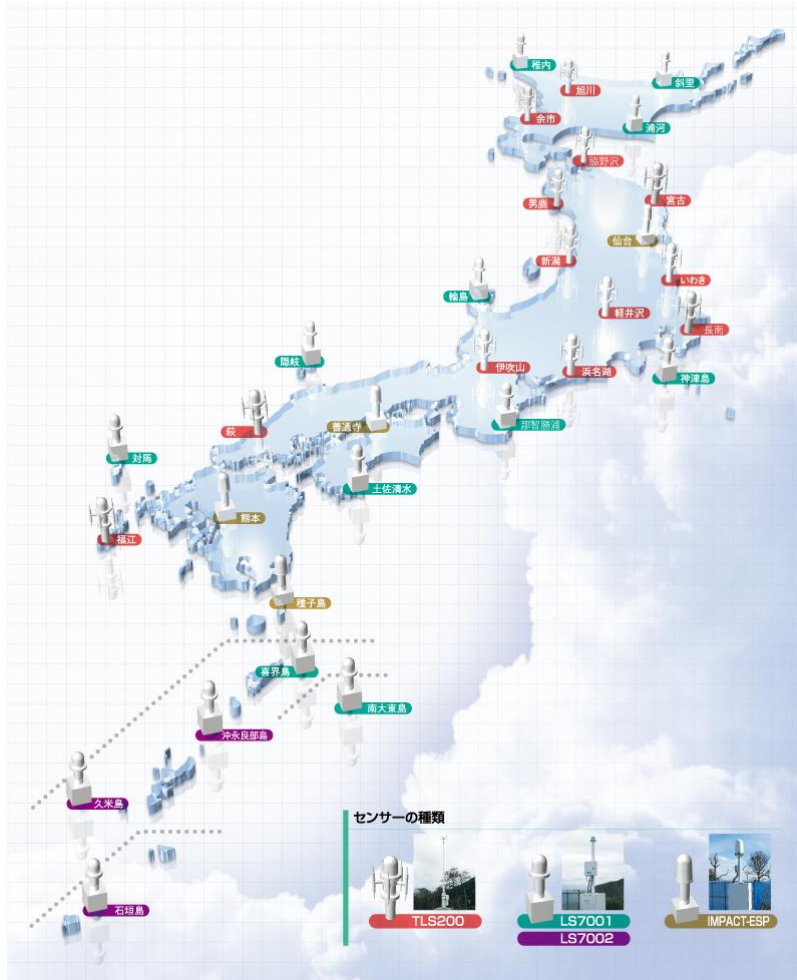
高構造物から上向きに放電するため、冬季雷はJLDNで観測すると高構造物の周辺に集中して落雷が落ちたように見える。

JLDNの概要

JLDNとは？

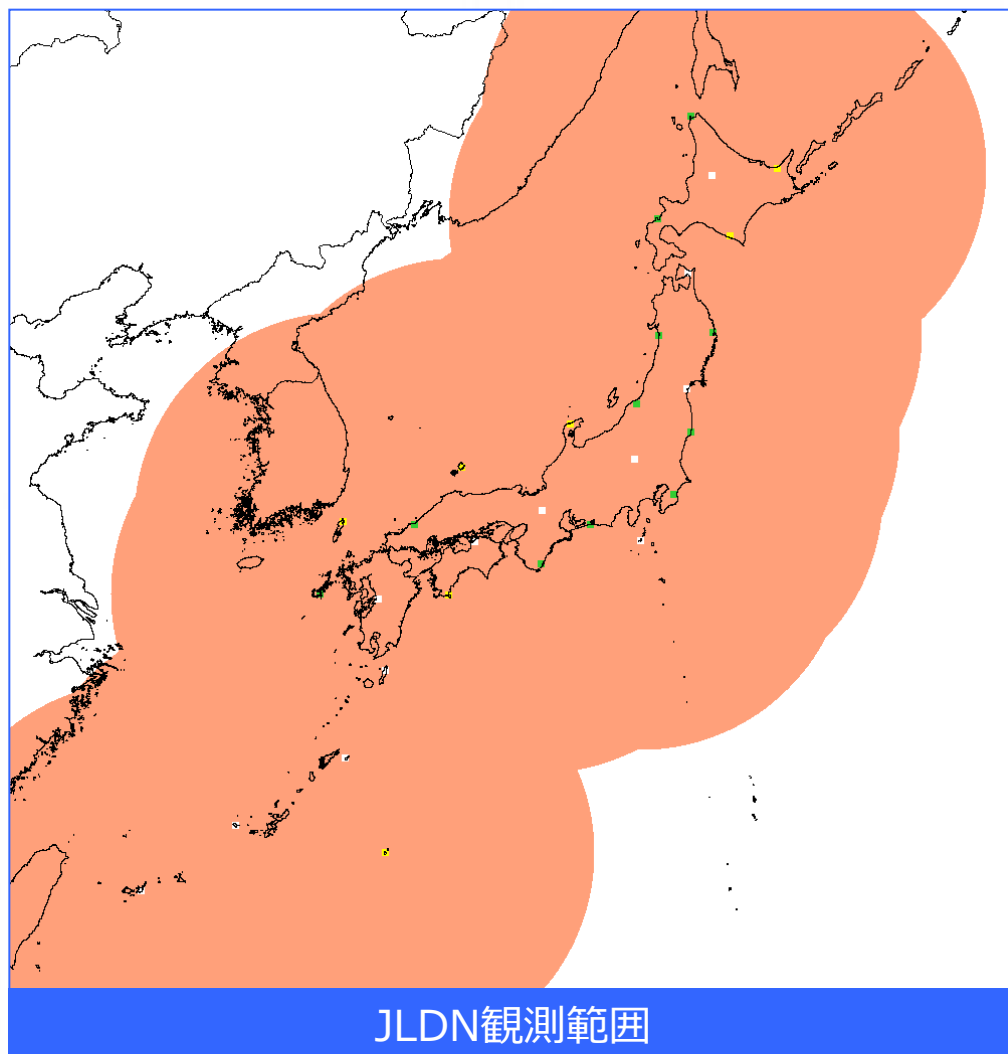
- JLDNとは、**Japanese Lightning Detection Network**の略です。
- JLDNとは、日本とその周辺部で発生する雷を観測するシステムです。
- JLDNとは、公的機関が運用しているシステムではなく、**完全な民間企業が運営しているシステム**です。

JLDNのセンサー配置図



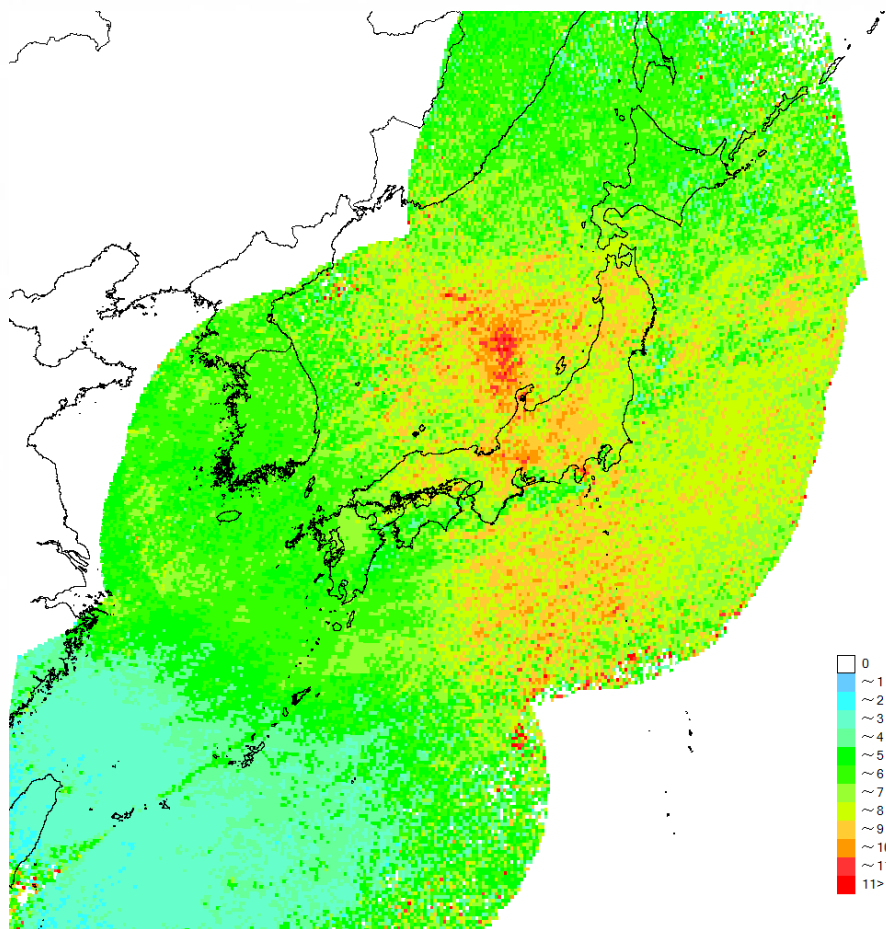
- 北海道～沖縄県にわたり日本全国に31基のセンサーを配備
- センサーの間隔は150km～200km程度。（沖縄県内は400km程度）
- センサーは全て専用線で結ばれ、観測データは中央解析装置に送られて、落雷位置を推定する。
- 一つのセンサーが故障しても、隣接するセンサーがカバーするような設計になっている。

JLDN観測範囲



- JLDNの観測範囲は、センサーから625kmと設定されている。
- これは、雷から放出される電磁波が電離層で反射し、極性反転した電磁波の波形を処理させないようにさせるためである。
- 設定を変えれば、インドネシア周辺で発生している雷の検知も可能である。（検知効率や標定精度は、相当低下するが・・・）

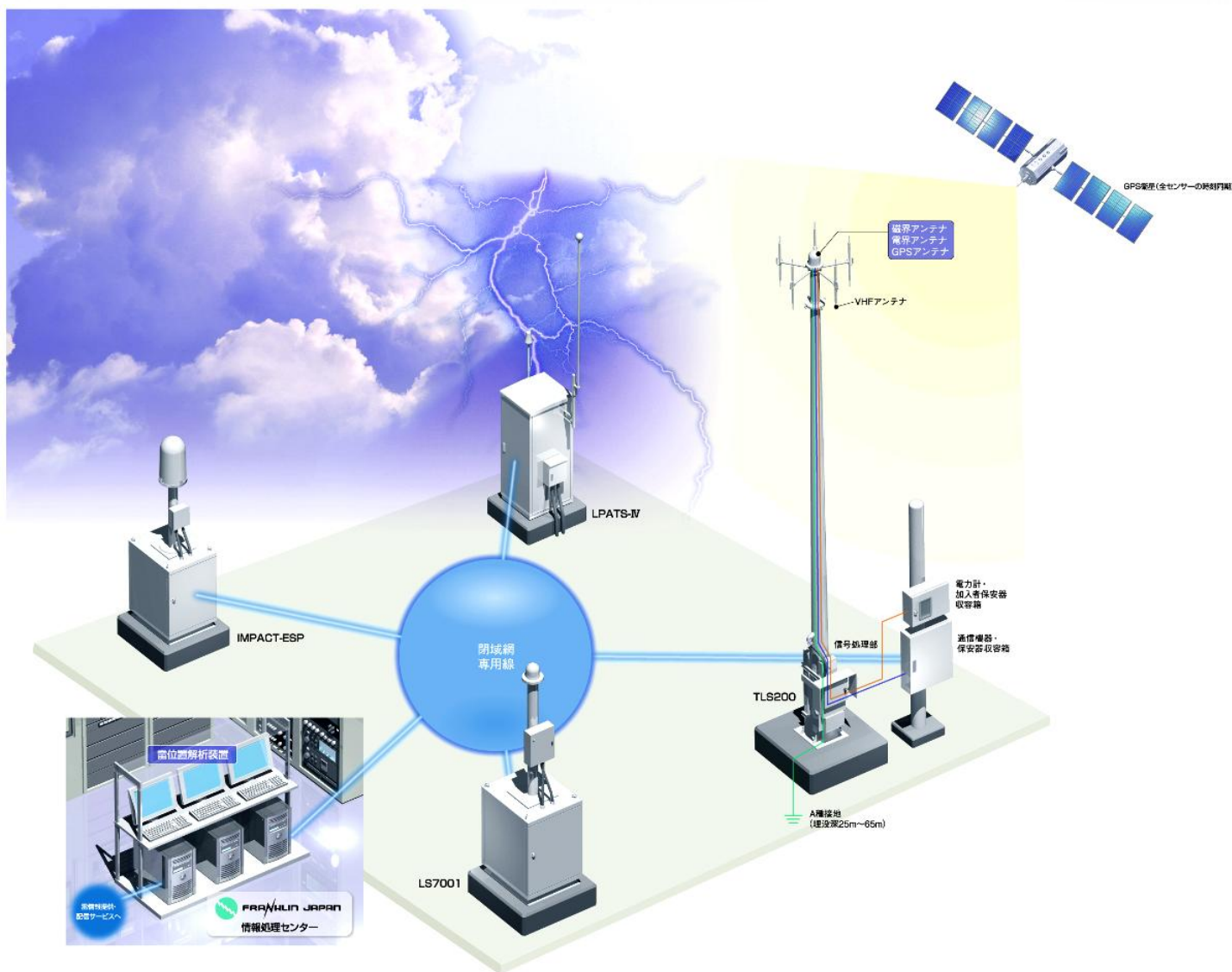
JLDNの標定に参加するセンサー数



- 北海道～沖縄本島付近まで、平均6基以上のセンサーが標定に参加する。
- 左の図には、沖永良部島のセンサーがない時の資料なので、現在は、沖縄付近で標定に参加するセンサーは増えている。
- 日本海側で、標定に参加するセンサー数が多い理由は、電流値の大きな冬季雷が多発するためである。

JLDNのセンサーの種類

JLDNのセンサーの種類



JLDNセンサーの外観



TLS200型センサー(軽井沢)



TLS200型センサー工事風景(軽井沢)

JLDNのセンサーの外観



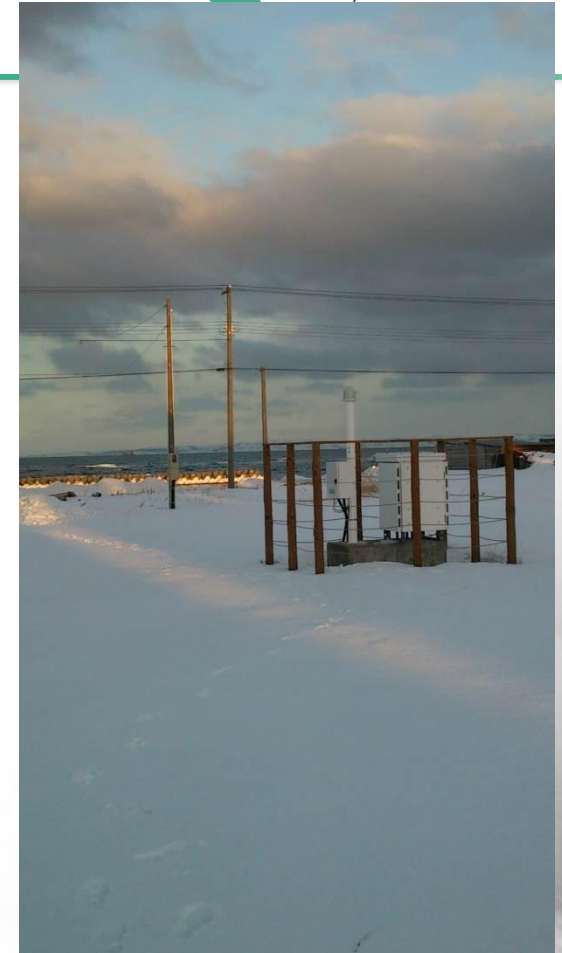
南大東島LS7001



石垣島IMPACT-ESP

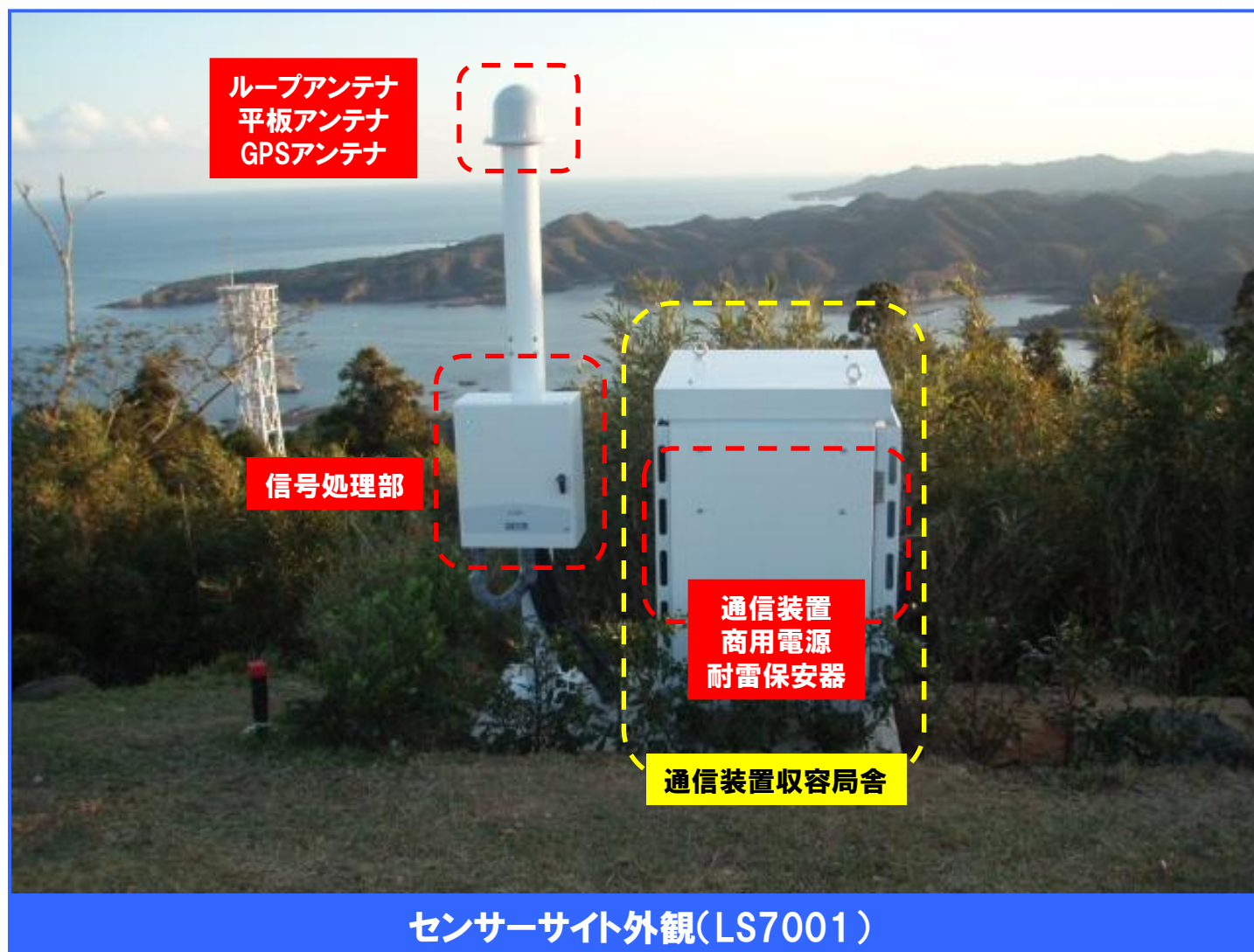


豊栄LPATS-IV



稚内LS7001

雷センサーサイトについて



JLDN 対馬観測拠点

センサーの運用・設置作業について

- 日本全国に31か所あるセンサーの用地確保、設置、運用、維持管理など、すべて自社で行っている。

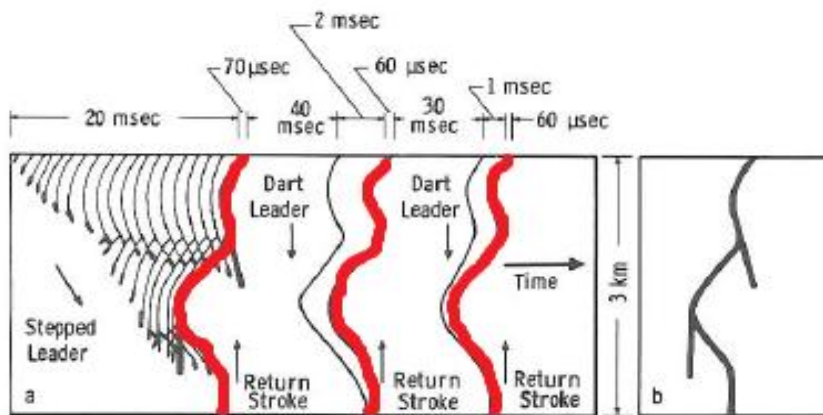


沖永良部島拠点（南海日日新聞 H.28.5.21より転載）

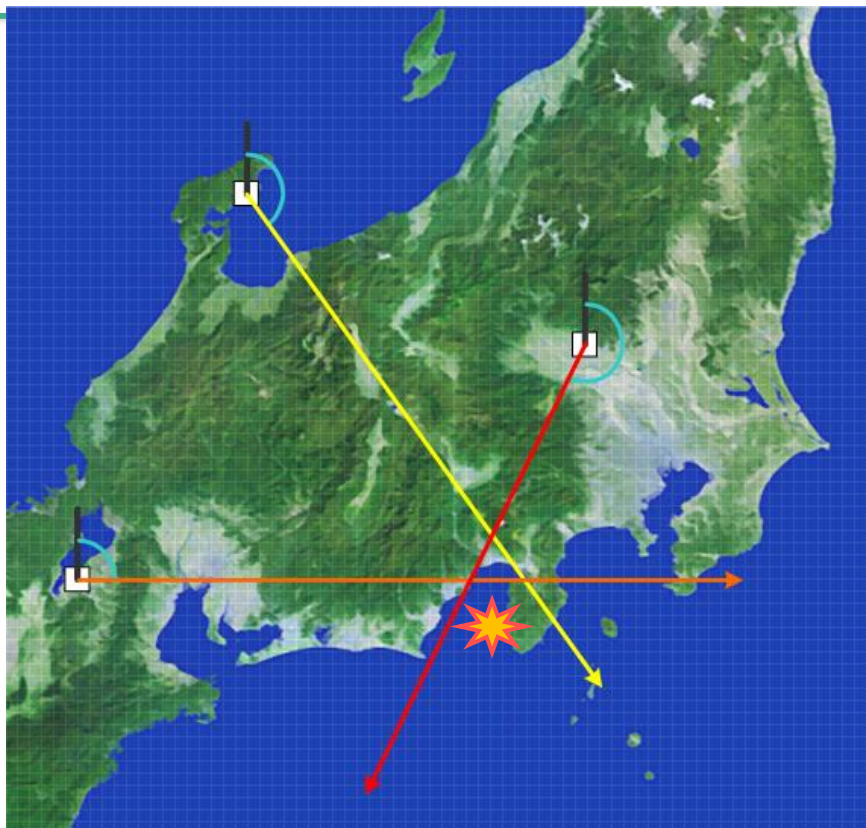
JLDNの落雷位置標定原理

JLDNセンサーが捕えているもの

- JLDNセンサーは、雷のReturn Stroke（帰還雷撃）と呼ばれる過程で放出される電磁波を補足する。
- この過程で放出されるVLF~LF帯の電磁波を捕えている。

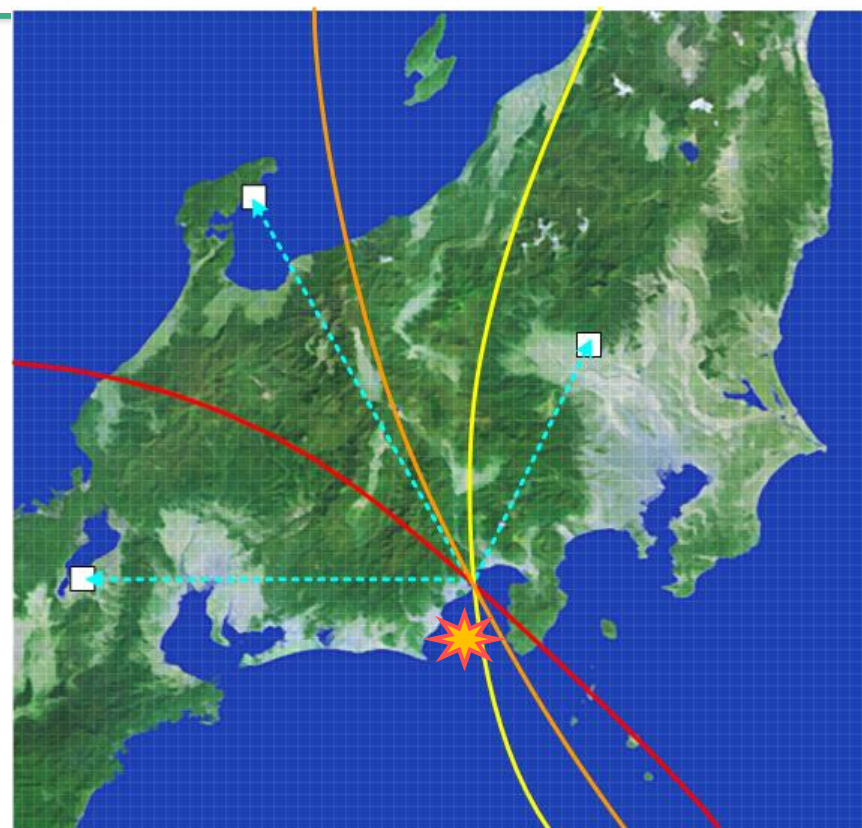


位置の標定原理



MDF (磁力方位測定方式)

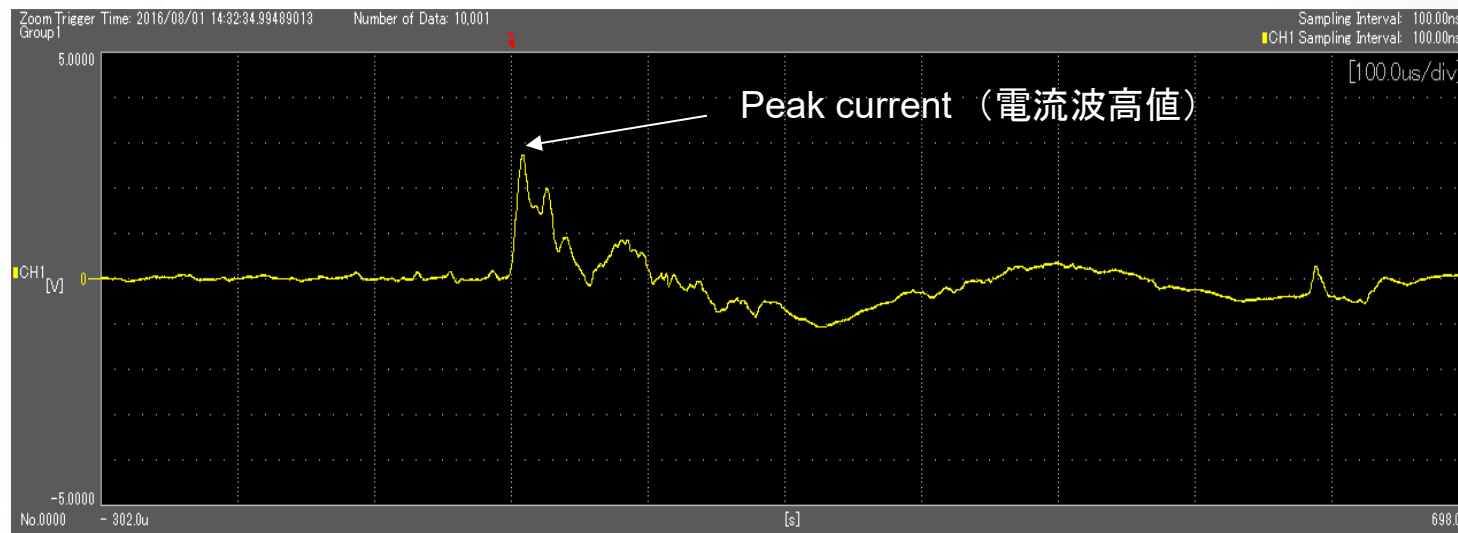
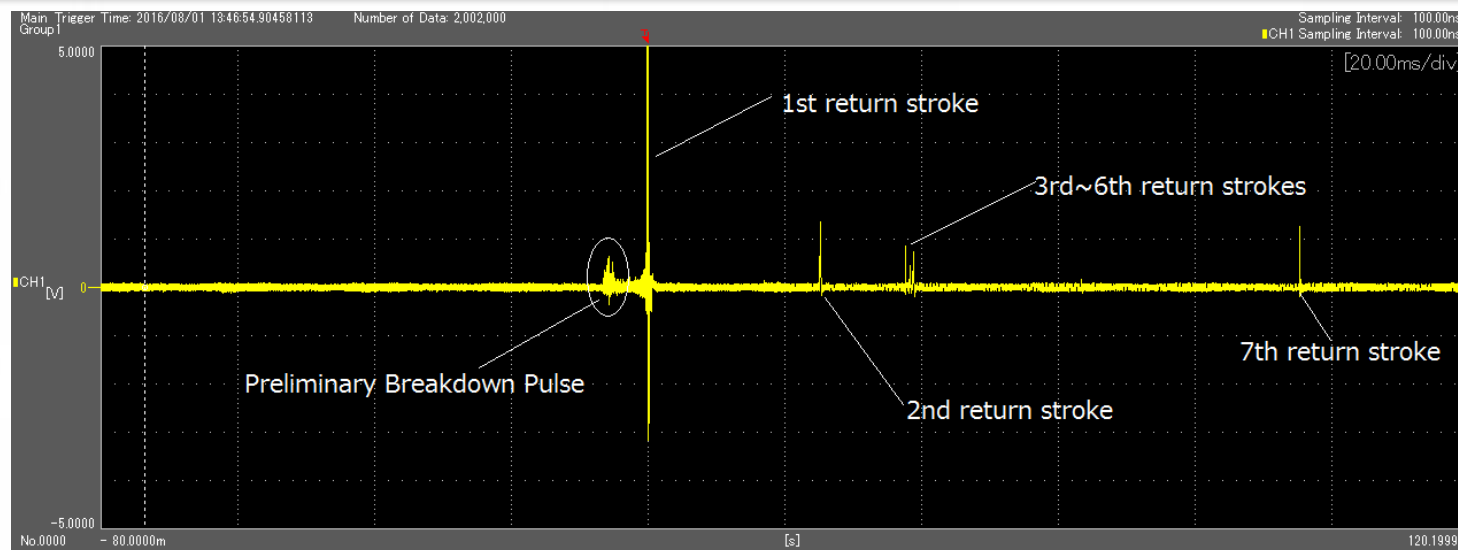
各センサーの方位データ線が交わる交点内部において、各々のデータ誤差が最小になる地点を標定点とする。



TOA (到達時間差方式)

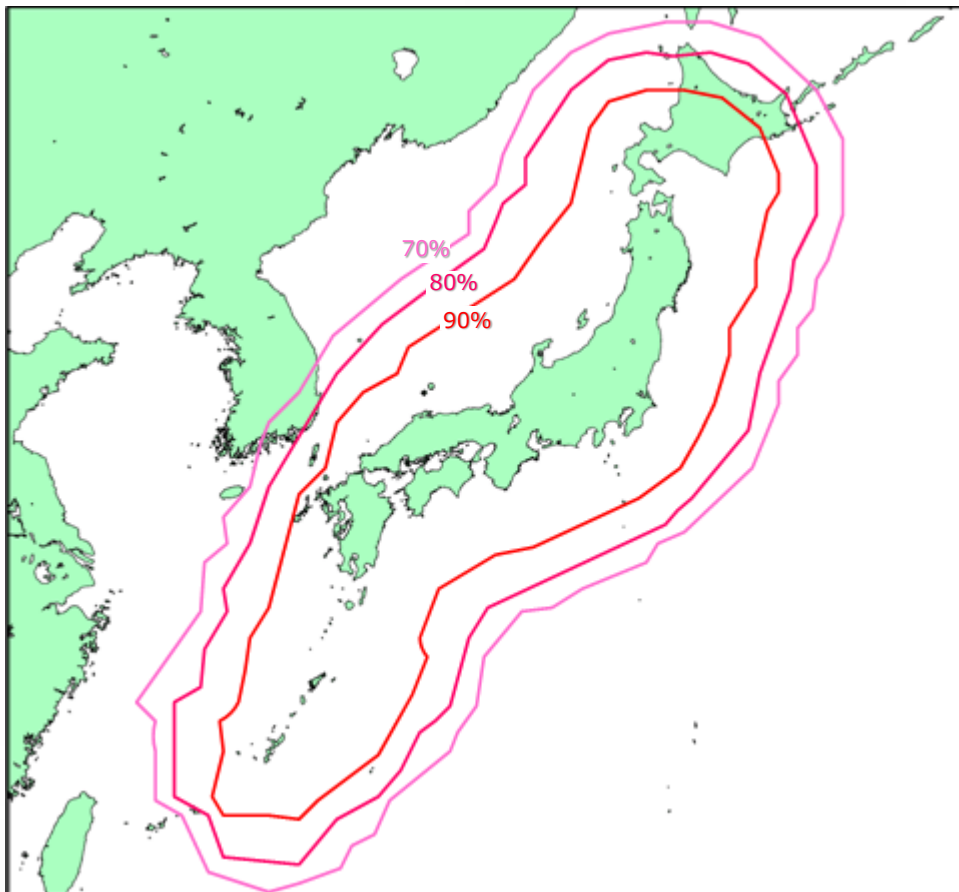
各センサーに到達した信号の時間差を測定し、その時間差から距離の差に換算し、距離の差が一定となる軌跡を求めると双曲線が描かれる。同様に別の組のセンサーからも双曲線が描かれ、それらの交点から最適な地点を標定点とする。

実際のセンサーで検知した雷波形（夏季負極性）

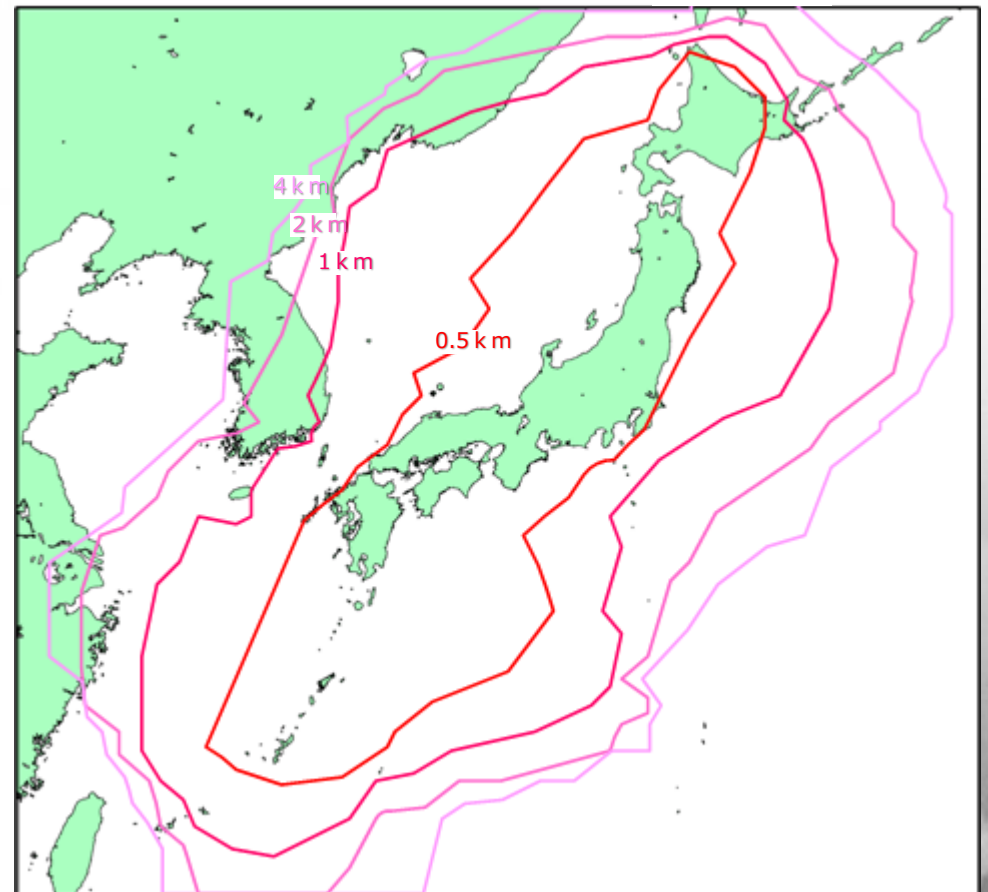


JLDNの位置標定精度と検知効率

検知効率および位置標定精度（参考）



落雷捕捉率



落雷位置誤差

陸域の大部分では**捕捉率 90%以上・平均位置誤差 0.5 km以下**の高精度水準を保持

ロゴスキーコイルによる観測（仁賀保ウィンドファーム）

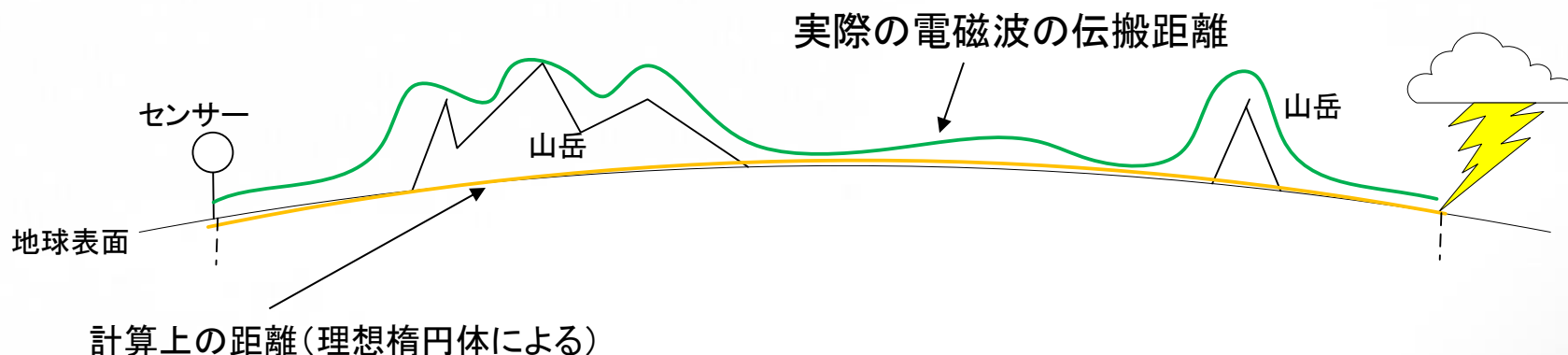


仁賀保ウィンドファームにおける風車に取り付けられたロゴスキーコイル（静岡大学による設置）



大地伝搬とは？

(1) 大地伝搬距離の相違



実際に電磁波が伝搬した距離 > 計算上の距離

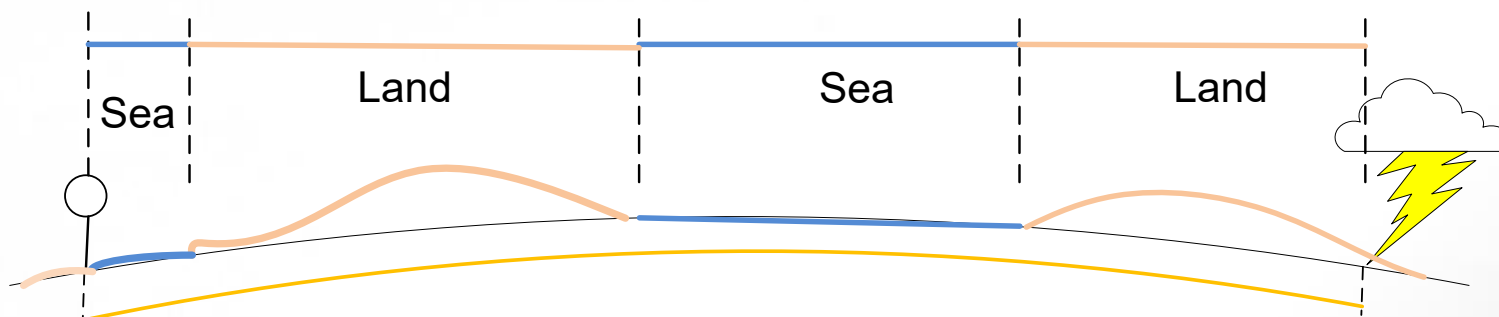


センサーで受信した雷の電磁波到達時刻は、理論上の到達時刻よりも遅れる。

Table. Relative permittivity and conductivity of various surface

(2) 伝搬速度

Surface	Relative permittivity	Conductivity [S/m]
Sea water	80	5
Plains	15	0.005
Mountain	15	0.001

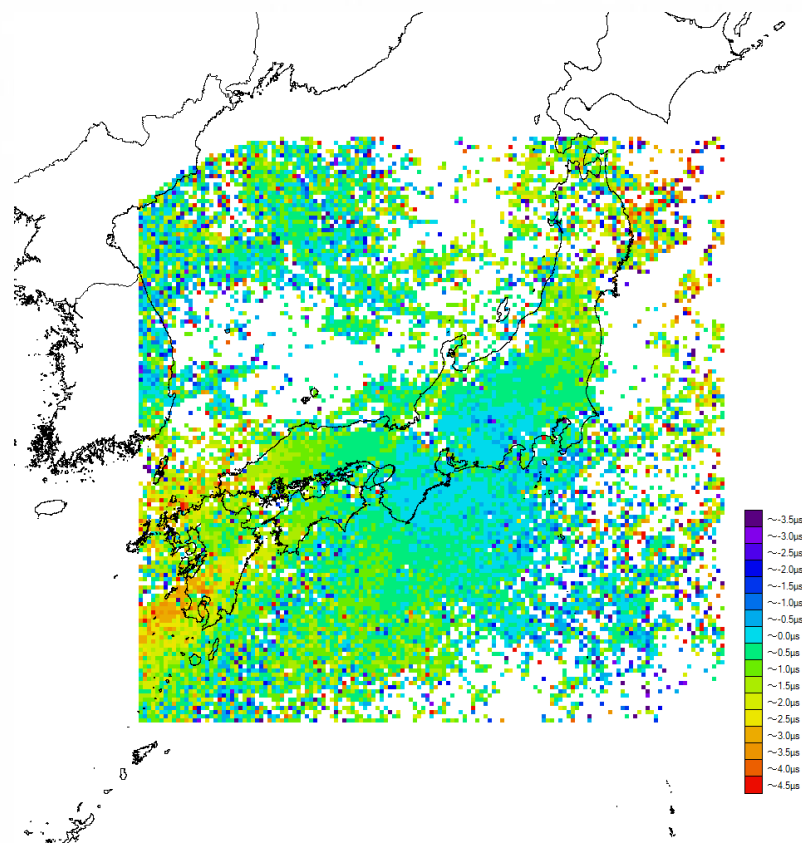


電磁波の大地を伝搬する速度は、大地の表面の導電率に依存し、光速よりわずかに遅くなる。

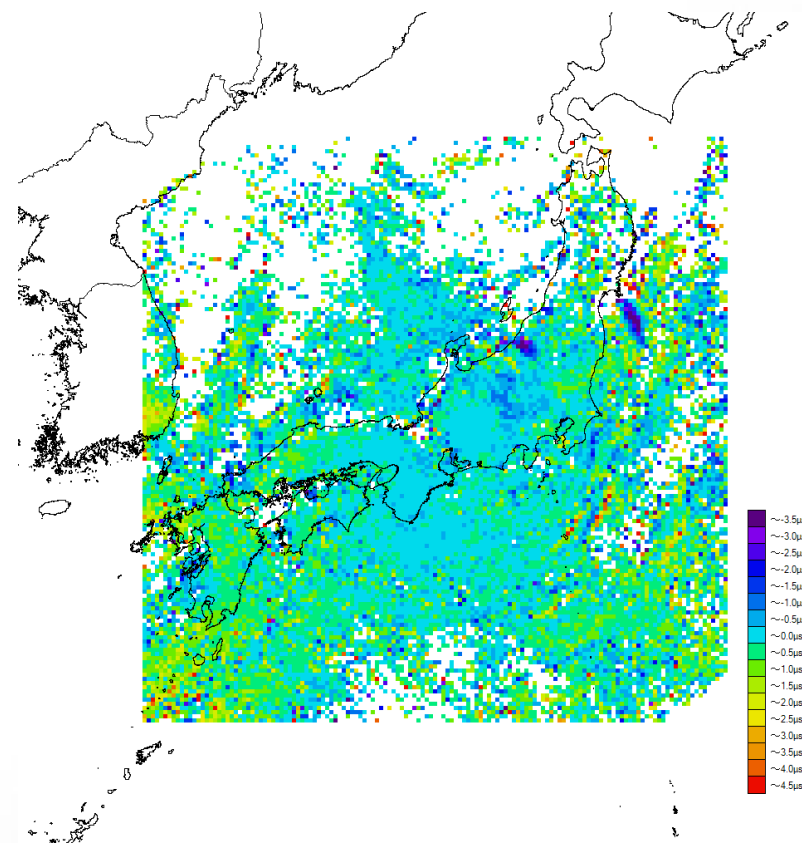
それ故、実際のセンサーにおける雷の電磁波到達時刻は、光速によって計算された理論上の到達時刻よりも遅れる。そのため、落雷位置標定計算において、実際の落雷場所と、位置標定計算に差が生じる。

各センサーから見た大地伝搬遅れの改善

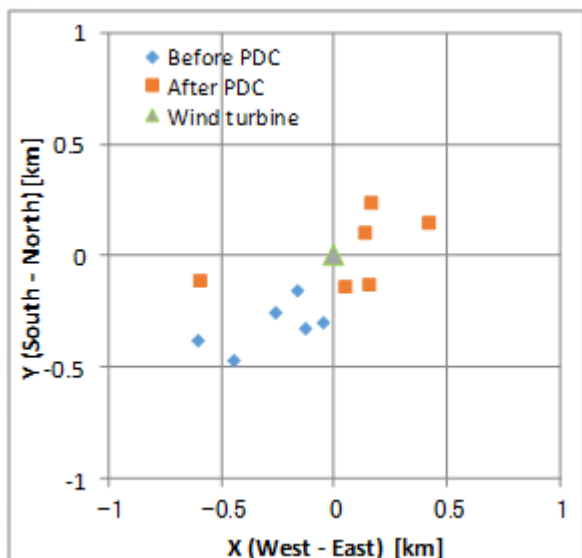
大地伝搬遅れ適用前



大地伝搬遅れ適用後

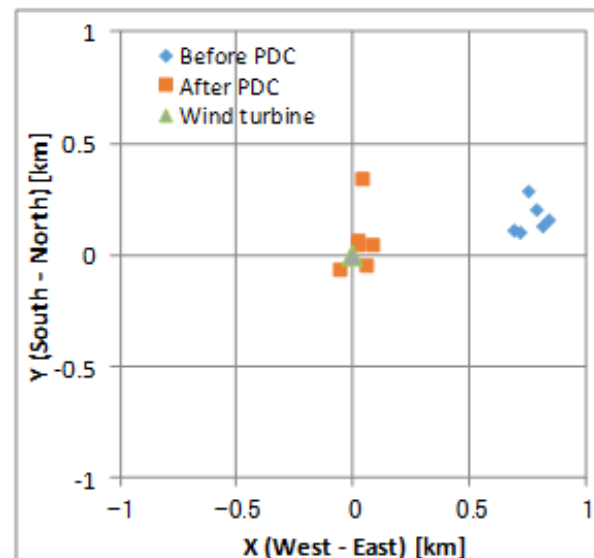


大地伝搬遅れ補正による位置標定精度の改善



九州南部の風力発電用風車での位置誤差の改善(夏季)

436m → 310m に改善



秋田県の風力発電用風車での位置誤差の改善(冬季)

791m → 120m に改善

JLDNの観測データと雷害の関係

冬季雷被害の調査

聞き取り調査



落雷箇所の特定



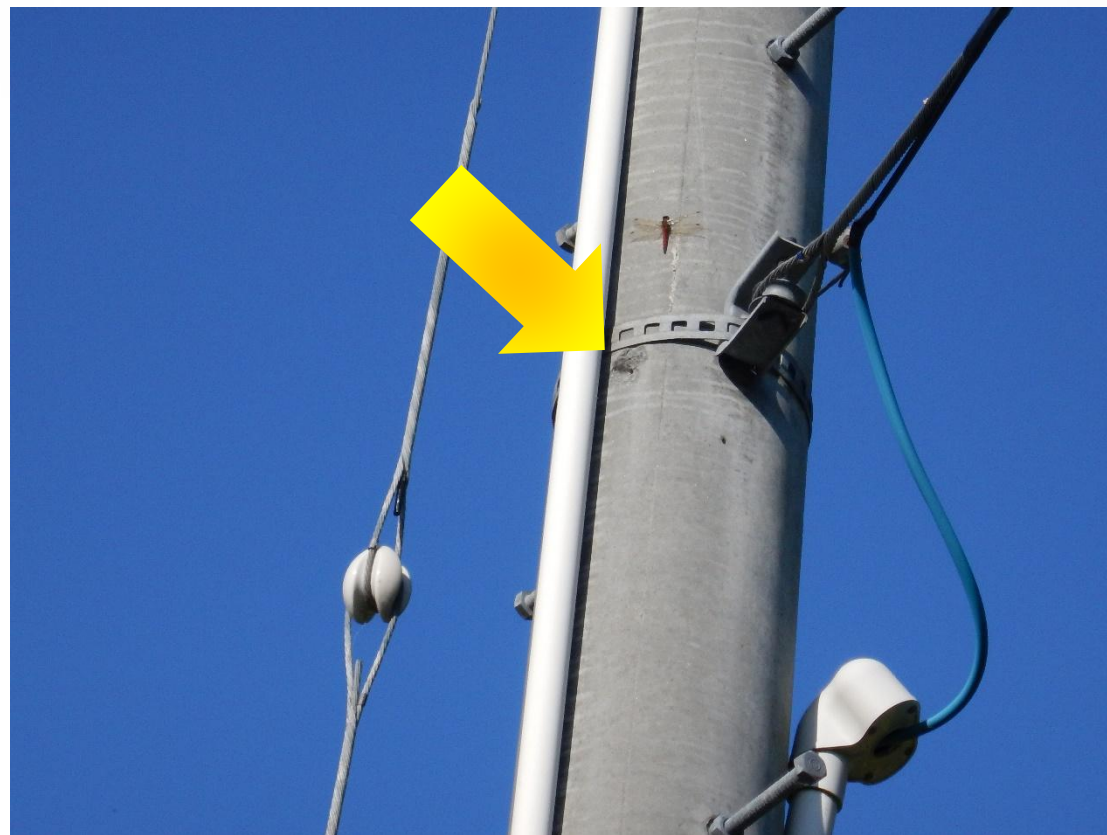
(一社) 電気設備学会東北支部 東北冬季雷害様相調査委員会 調査報告書より

落雷の痕跡



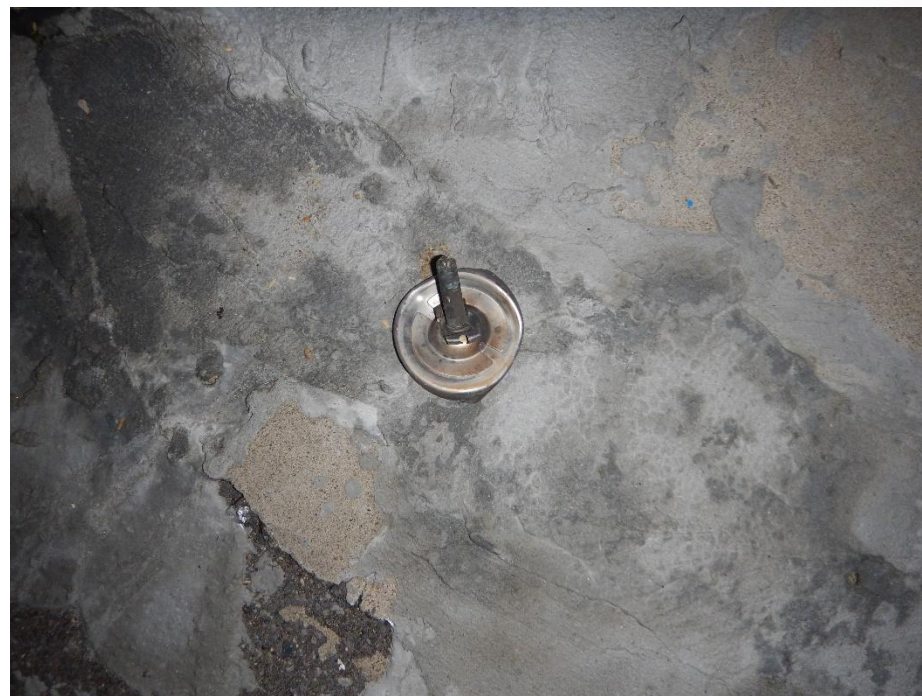
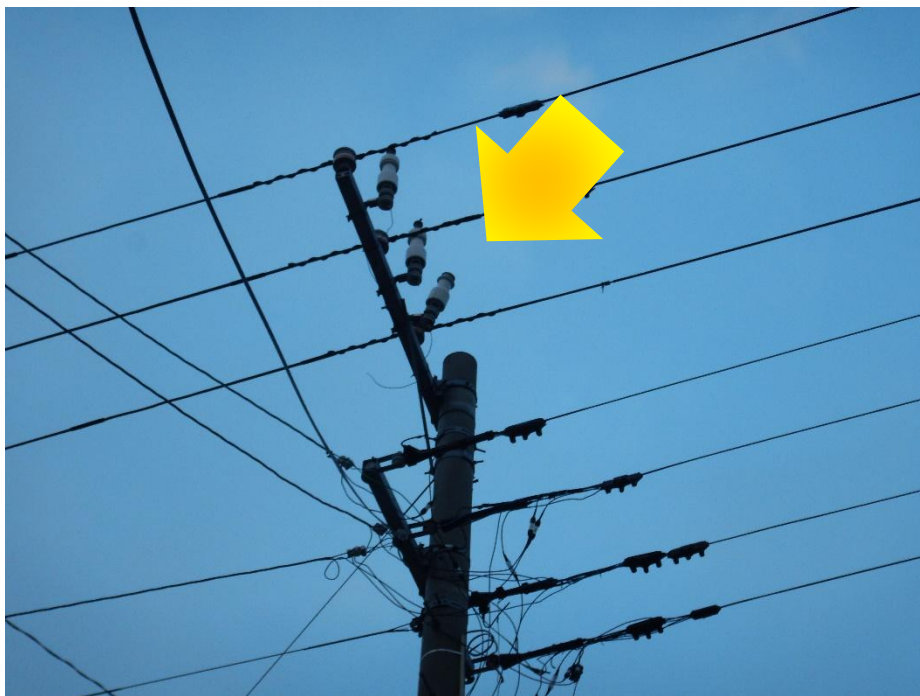
(一社) 電気設備学会東北支部 東北冬季雷害様相調査委員会 調査報告書より

落雷の痕跡



(一社) 電気設備学会東北支部 東北冬季雷害様相調査委員会 調査報告書より

落雷の痕跡



(一社) 電気設備学会東北支部 東北冬季雷害様相調査委員会 調査報告書より

広範囲に被害を及ぼした雷



図12 砂利跳ね上りによる外壁損傷



図13 TVアンテナ導波器の飛散



2016-2017年 東北地域の雷害調査結果 その1 -電柱頂部への直撃雷による被害様相-
 ○佐藤智之(東北電力), 古賀佳康(音羽電機工業), 井口 智(サンコーシア), 松井
 倫弘(フランクリン・ジャパン), 佐々木格雄(電気設備学会東北支部), 横山 茂(静岡
 大), 第35回電気設備学会全国大会, 2017年、愛媛大学 より

- 2017/3/8山形県鶴岡市において発生
- JLDNの観測では約150 kAの電流波高値を持つ雷
- 約500mに渡り、住宅や事務所の設備を破壊

広範囲に被害を及ぼした雷



写真3 分電盤の被害様相

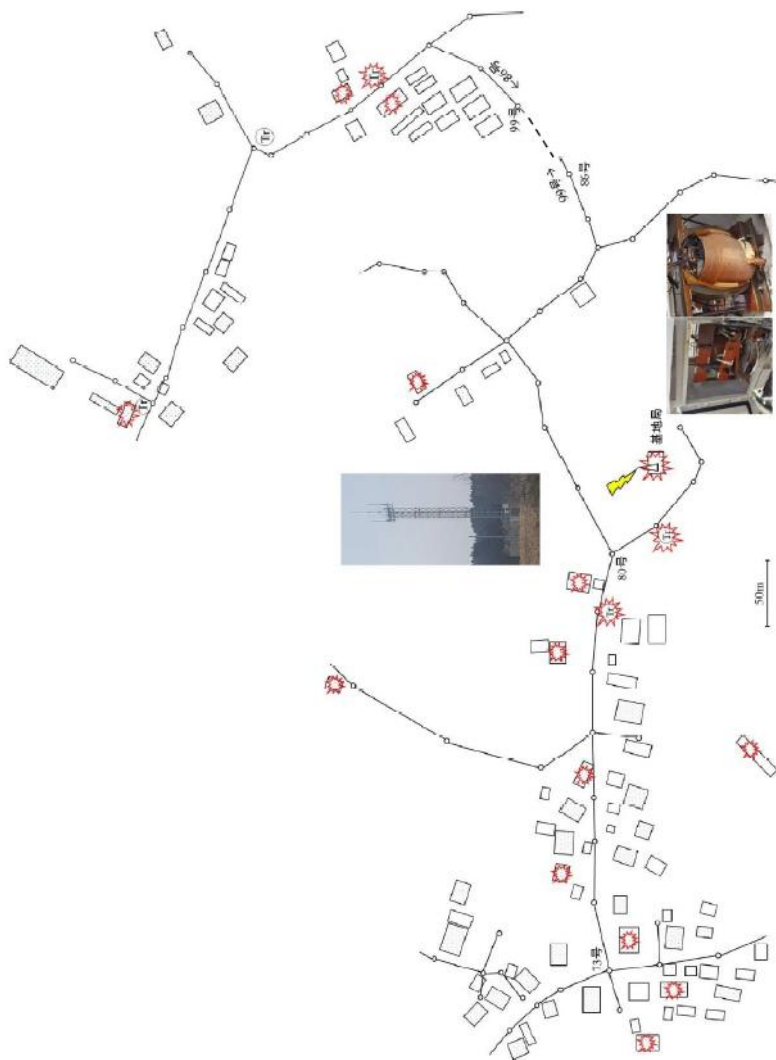


写真4 被害を受けた住宅の外観



- 2011/12/15 秋田県八峰町
- JLDNの観測では250kAの落雷
- 約300mの範囲に渡り、住宅などに被害が発生

広範囲で発生した雷害



- 山形県の山間部で発生 2016/03/18
- 冬季雷発生地域（沿岸より20km）
- 携帯電話基地局に落雷
- 被害は、電力設備だけではなく民家の電子機器に及んだ。
- 被害が及んだ範囲は、携帯基地局から東側に1000 m, 西側で500 m（線路亘長）に及んだ。
- 携帯基地局に被雷した雷は、冬季雷で、波尾長の長い（＝持続時間が長い）性状を持つ雷であったと推察される。

（一社）電気設備学会東北支部 東北冬季雷雷害様相調査委員会 調査報告書より

避雷針に落ちた雷がもたらす被害



(a) プラント指令台と内線電話



(b) プラント指令室内分電盤



(c) キュービクル内絶縁監視装置



(d) LED 照明器具

(一社) 電気設備学会東北支部 東北冬季雷害様相調査委員会 調査報告書より

ご清聴ありがとうございました。

