



雷の観測から雷の制御まで

王道洪

岐阜大学

概要

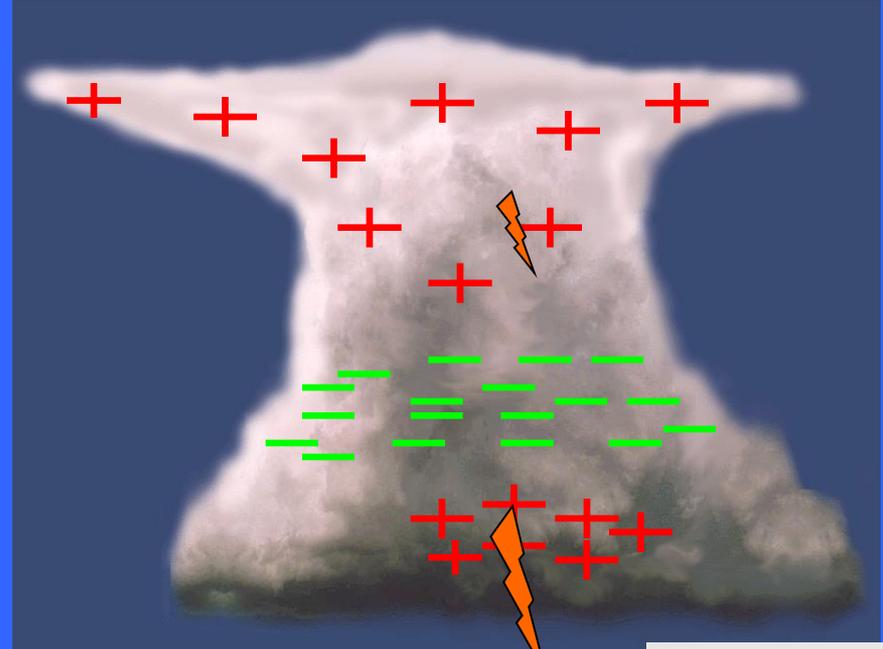
1. 雷に関する基礎知識
2. 当研究室の雷観測システム(特に雷からの放射電波を利用したシステム)と結果例
3. 雷制御の概念、歴史、夢と取り組み

雷は何だ

気象と雷

放電現象

雷雲にあった電気エネルギーで絶縁体である空气中に導電の路を作り、電気を一瞬に逃がす現象(高い電気ポテンシャルから低い電気ポテンシャルへ)

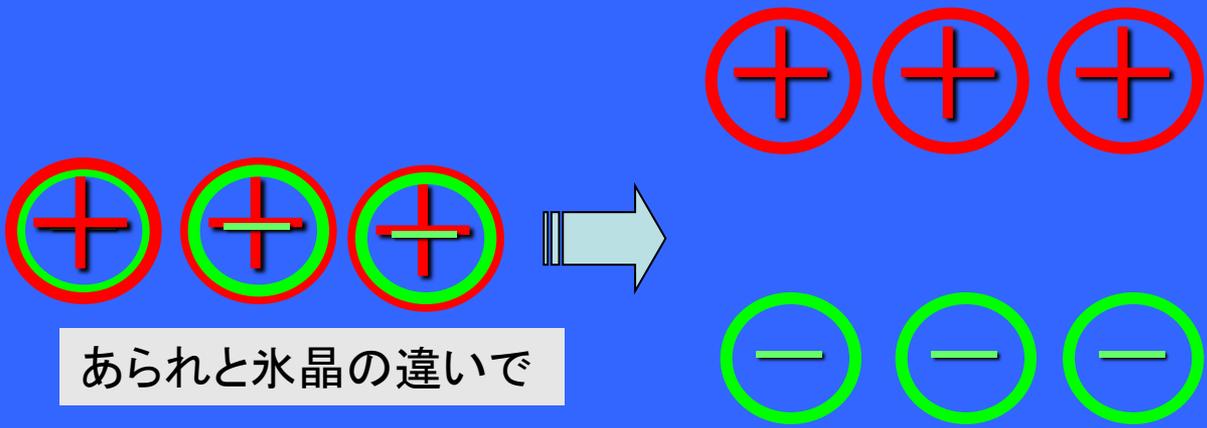


高電圧・大電流が伴う

光

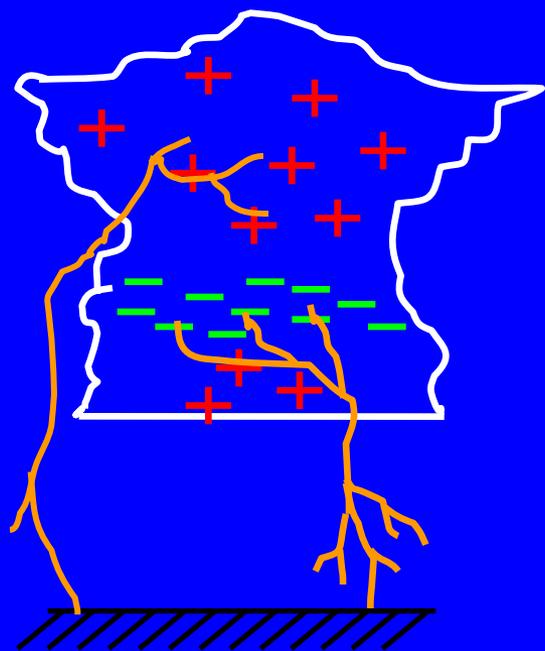
音

電磁波



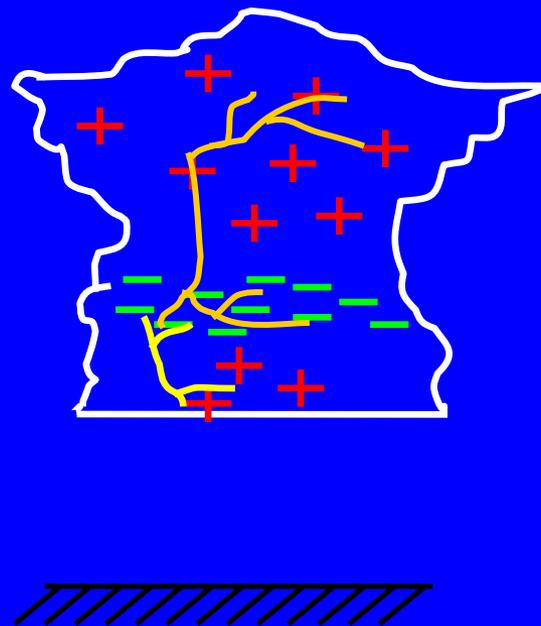
あられと氷晶の違いで

落雷



2割ぐらい

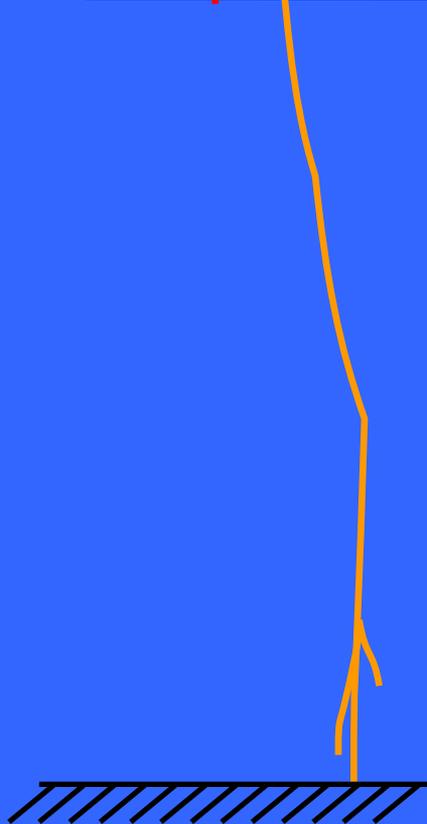
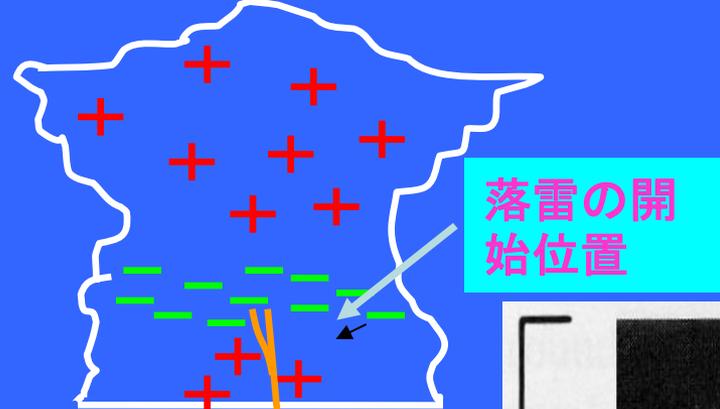
雲放電



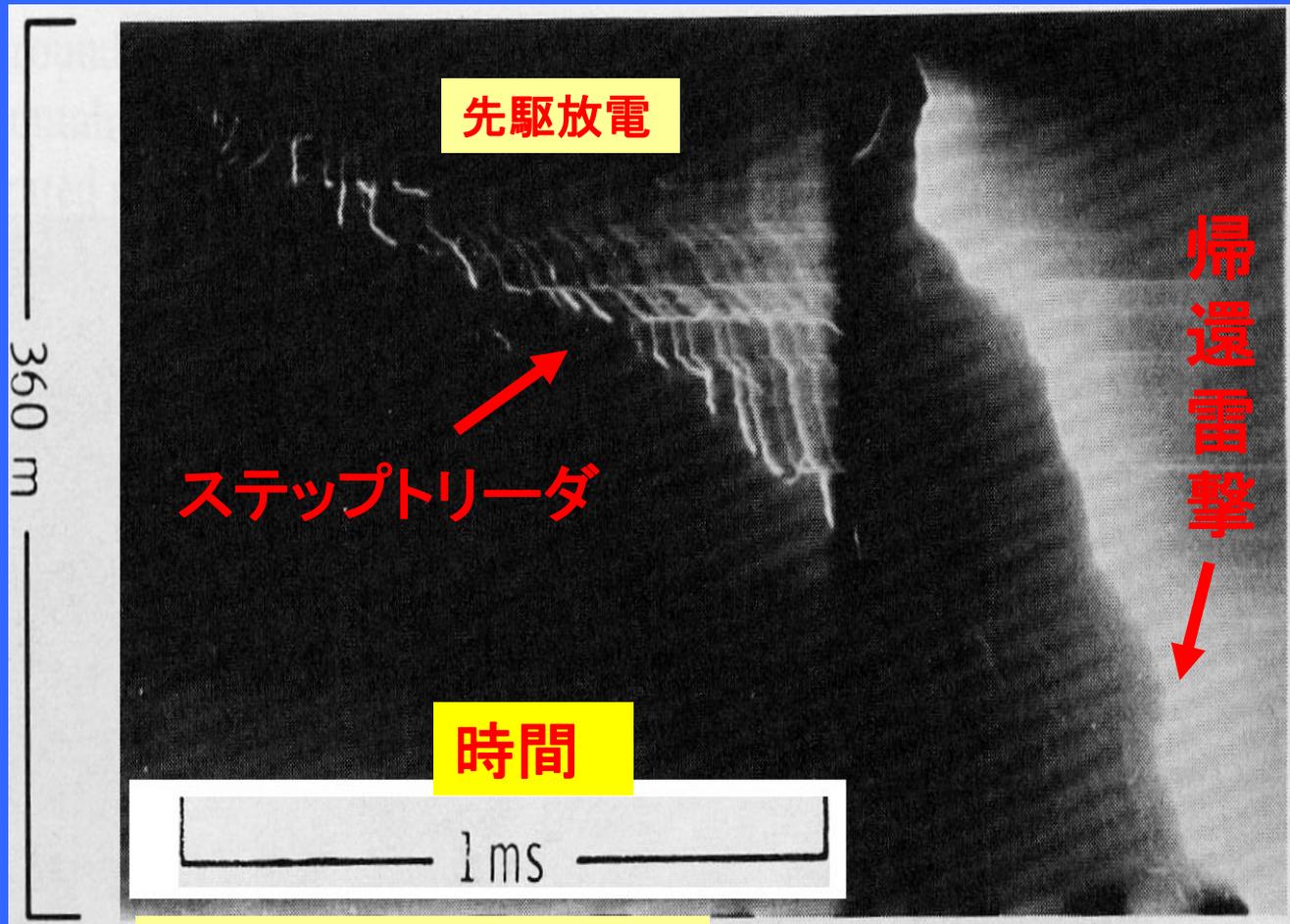
8割ぐらい

雷放電の種類

落雷の基本的な放電過程



落雷



落雷の高速写真例

落雷の種類



雷による被害

- **人の生命にかかわる事故**

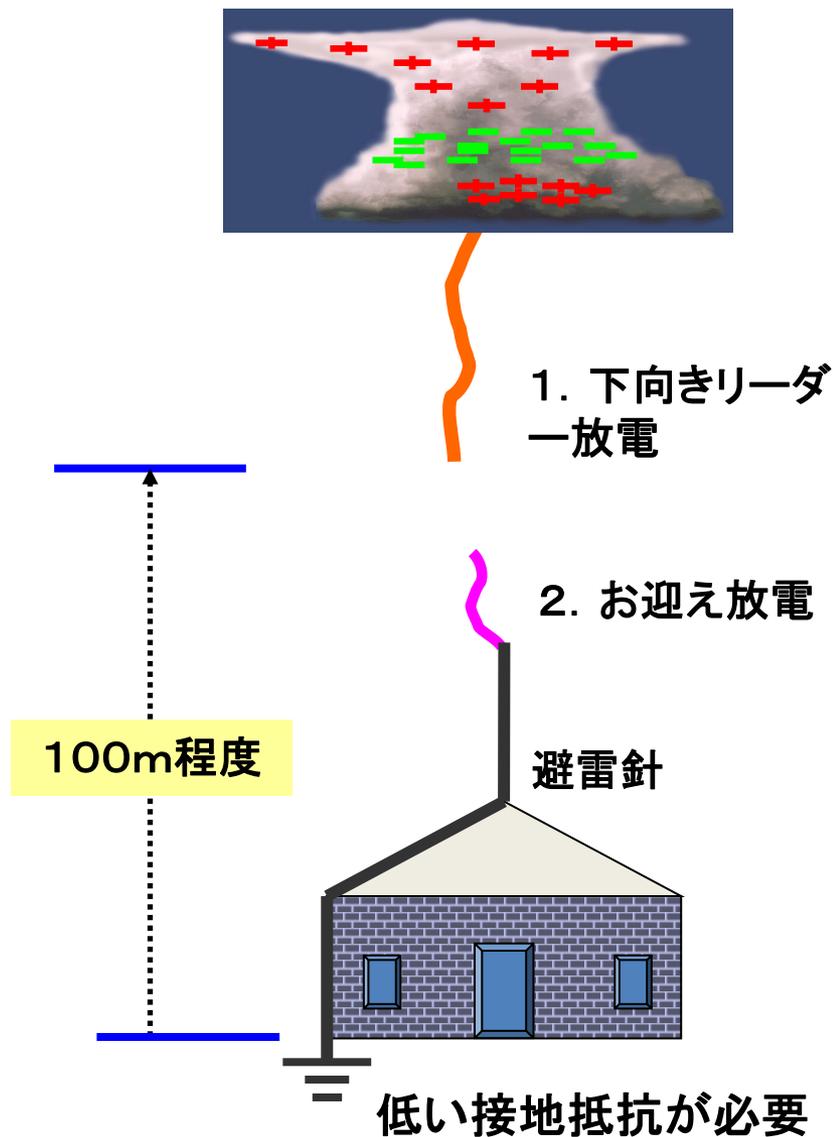
世界的に年間約6,000 to 24,000人の死亡事故

- **物の損害(一般的なもの、風車、電力、通信、交通、電気製品)**
- **2次災害**

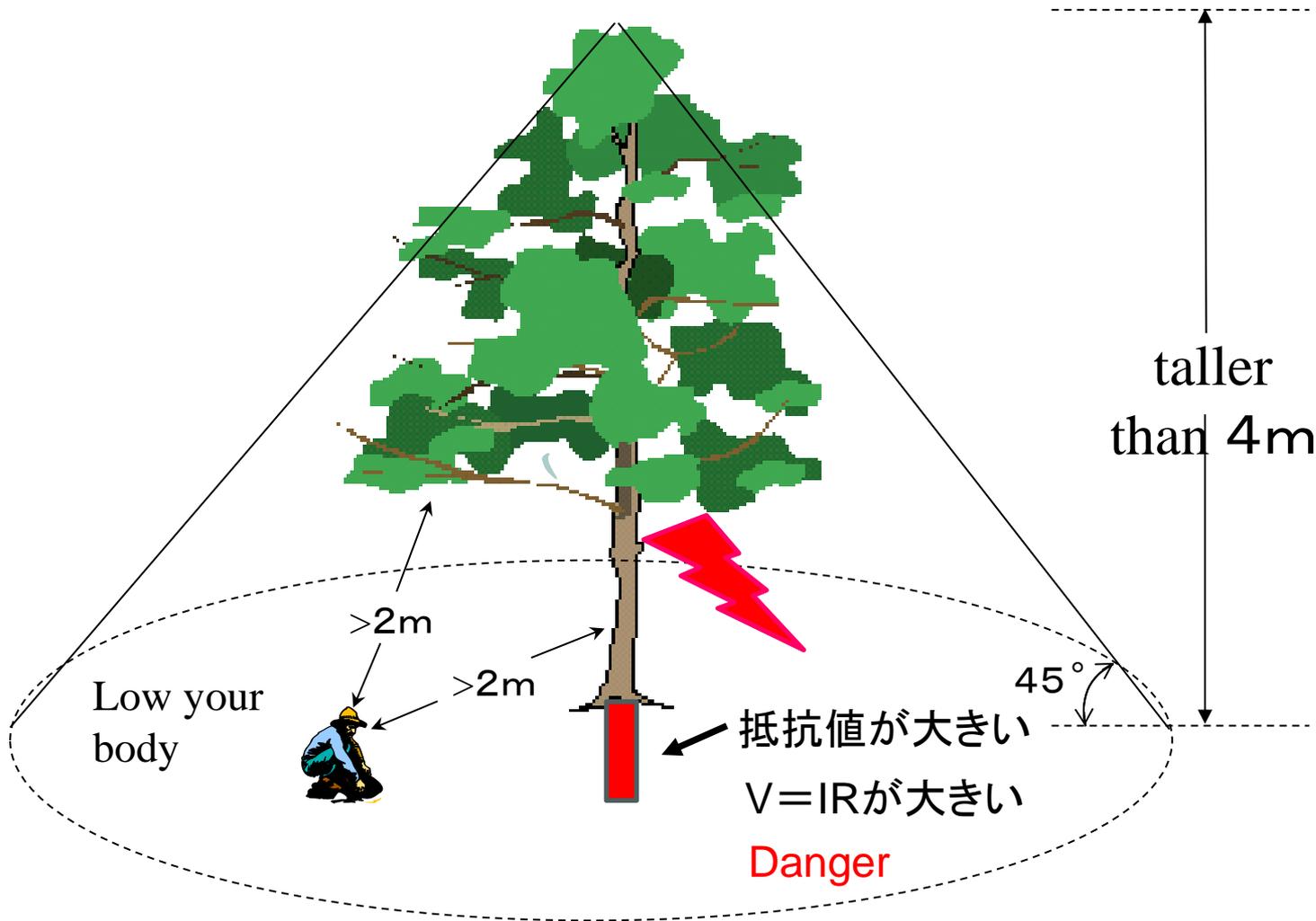
日本だけで年間の雷被害総額は1000億円から2000億円と推定されています(電気学会技術報告第902号:2002年)

一般的に利用されている避雷設備の代表1：避雷針

- 避雷針は、雷雲電界の静電誘導効果で、図のように避雷針の先端での電界が増強される。
- 避雷針の、雷放電の電界方向長さが長い程、この増強効果が大きい。
- 避雷針は、この増強された電界によってお迎え放電を作り出し、雷放電を避雷針自身に惹きつける。



木も避雷針の役割があるが、側撃雷の可能性があるので、木から離れよ！

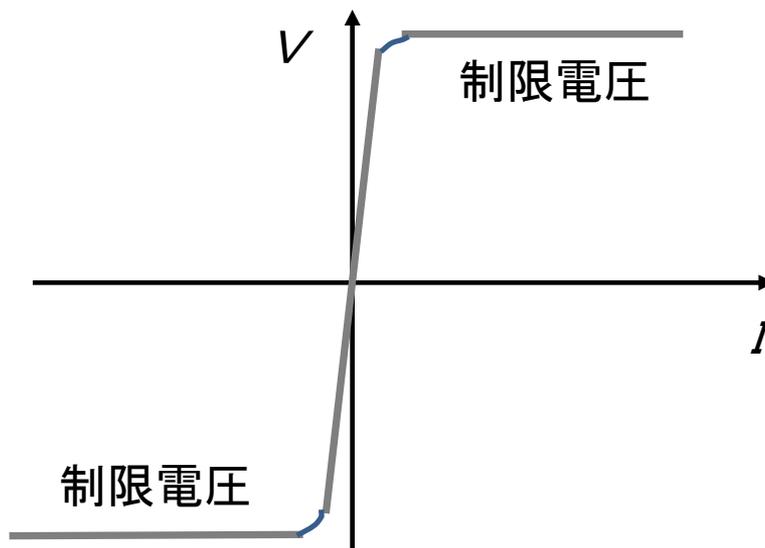
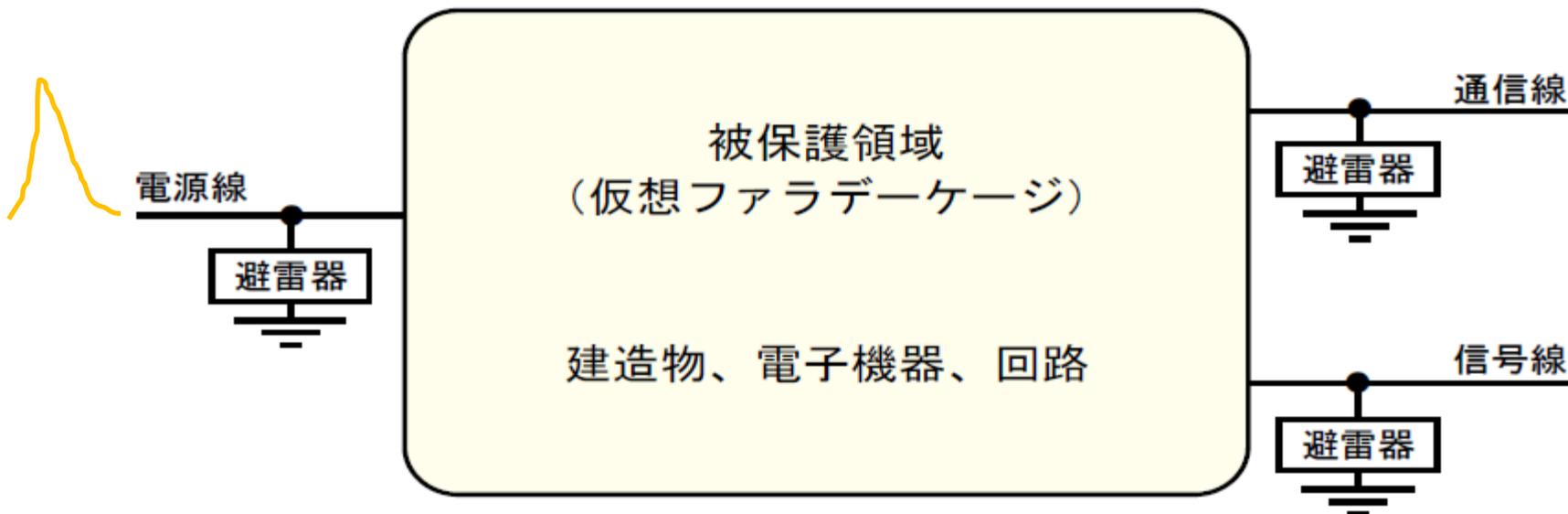


詳細は



日本大気電気学会

一般的に利用されている避雷設備の代表2: 避雷器またはSPD

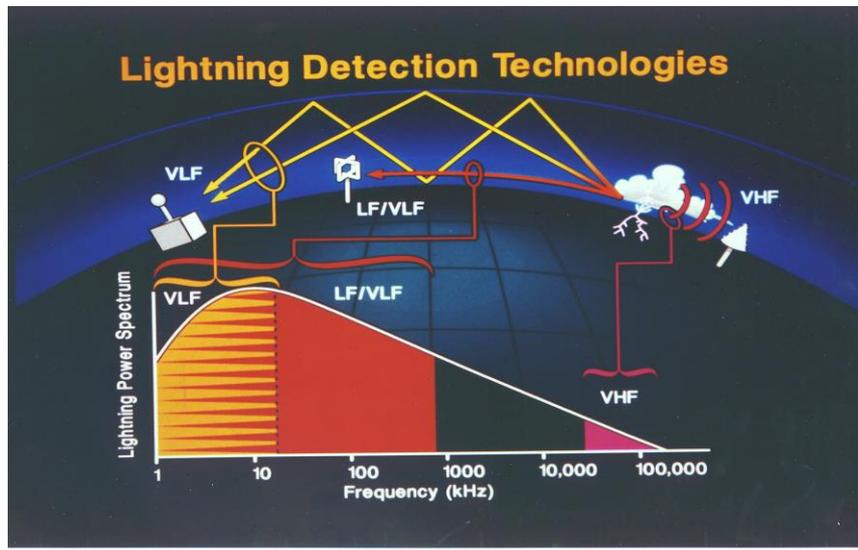
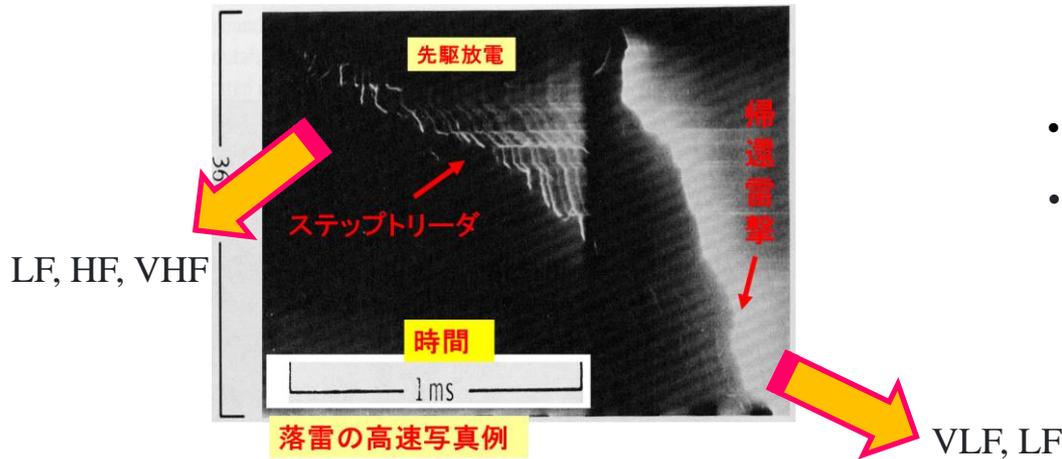


避雷器の電圧電流特性



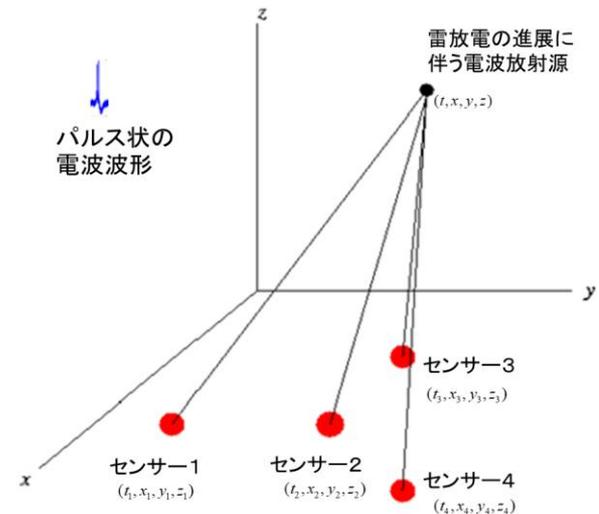
ここから雷観測と制御

まずは観測(この延長で探知)



日本における全国規模の雷探知ネットワーク

- JLDN(Japan Lightning Detection Network)
- LIDEN(Lightning DEtection Network system)

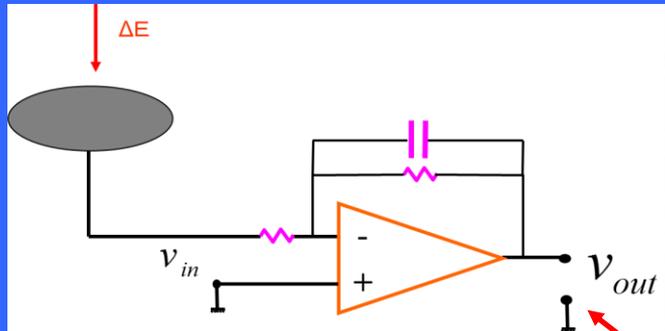


主な方法:異なるセンサーへの電波到達時間差を利用

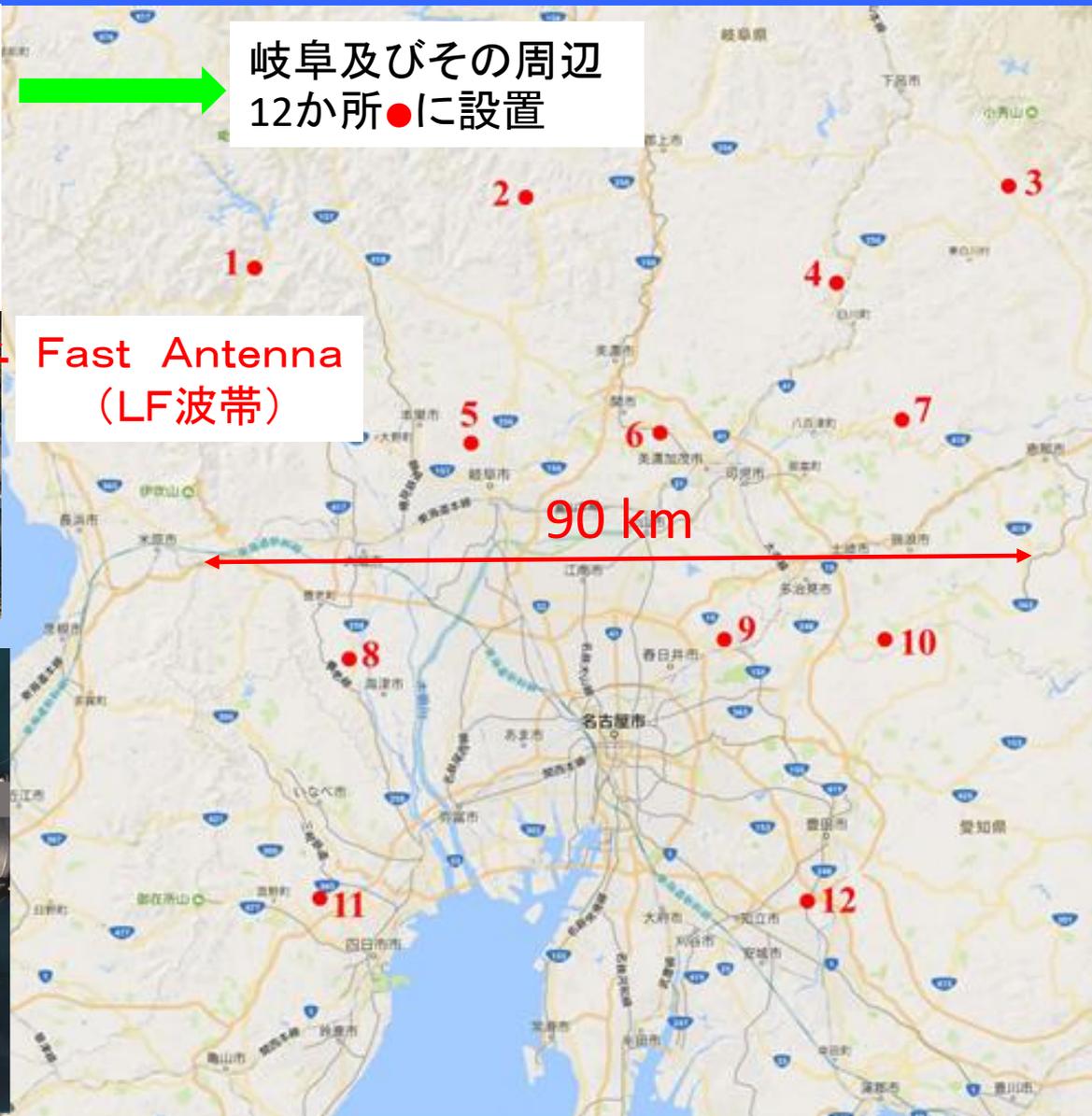
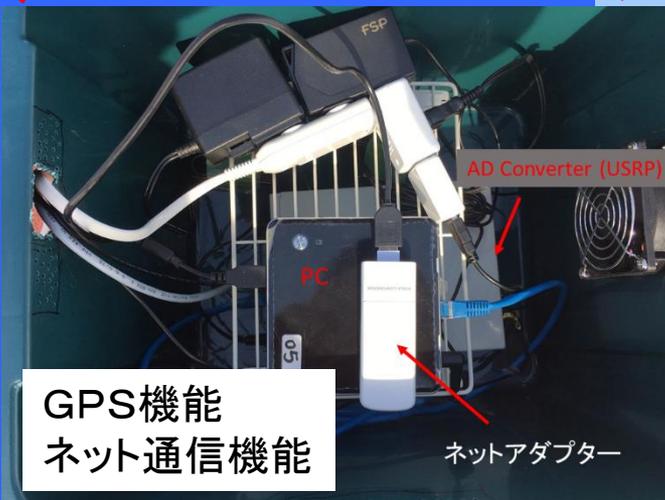
$$t_i = t + \frac{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2}}{c}$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(t_{mi} - t_{ci})^2}{\sigma_i^2}$$

雷放電3DマッピングシステムFALMAの構成(2017)

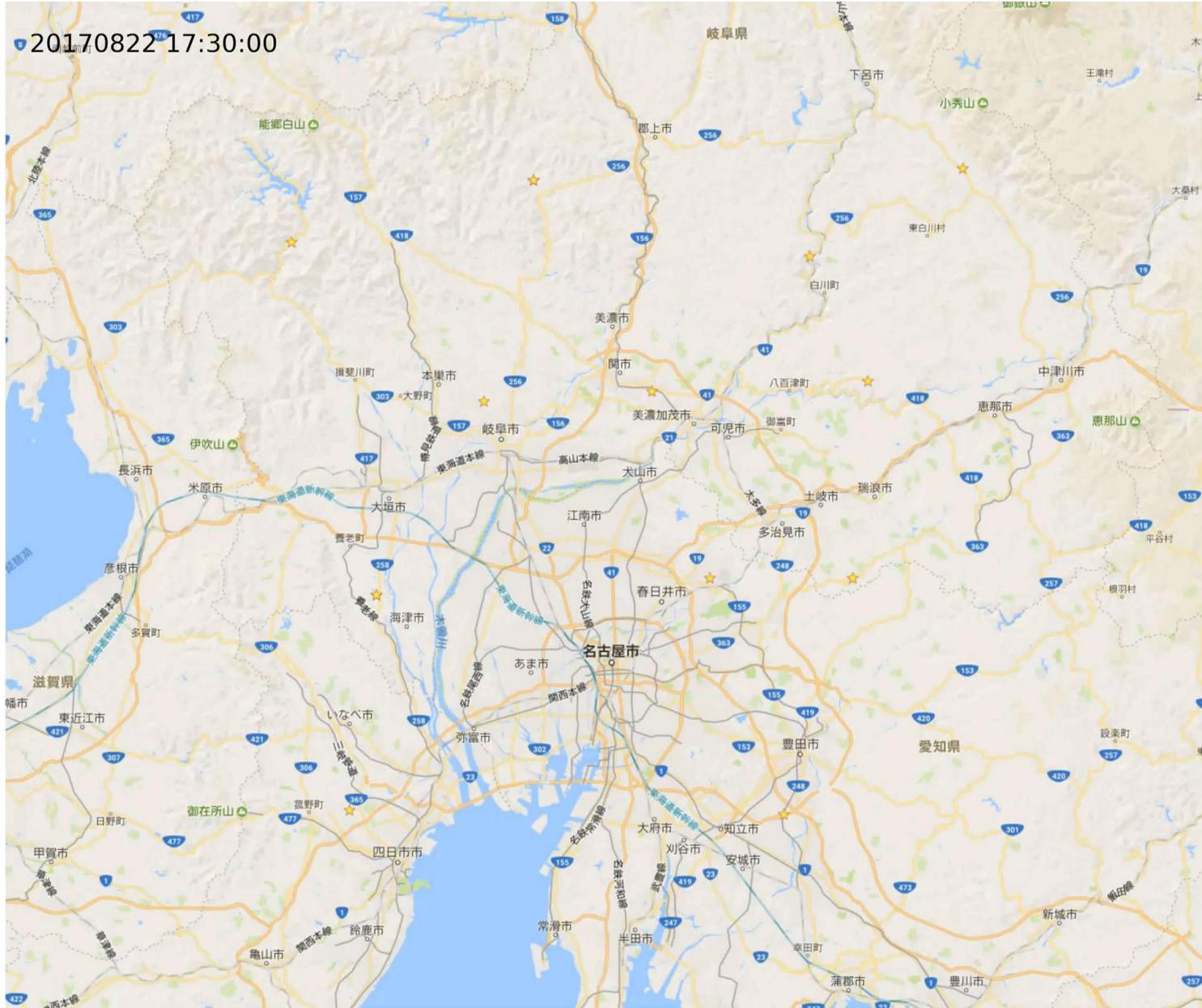


Fast Antenna
(LF波帯)



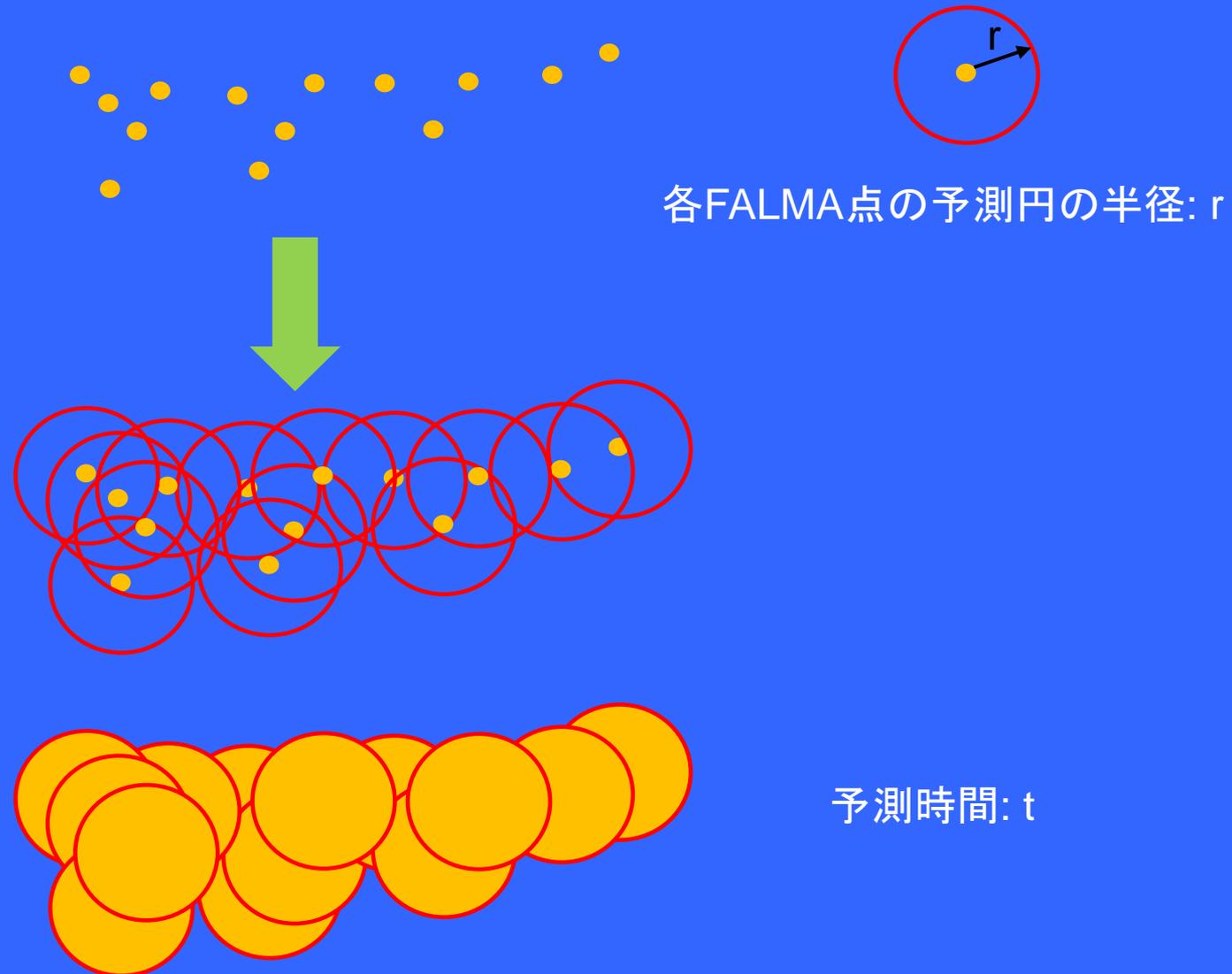
Fast Antenna Lightning-Mapping-Array (FALMA)

雷活動の動画例

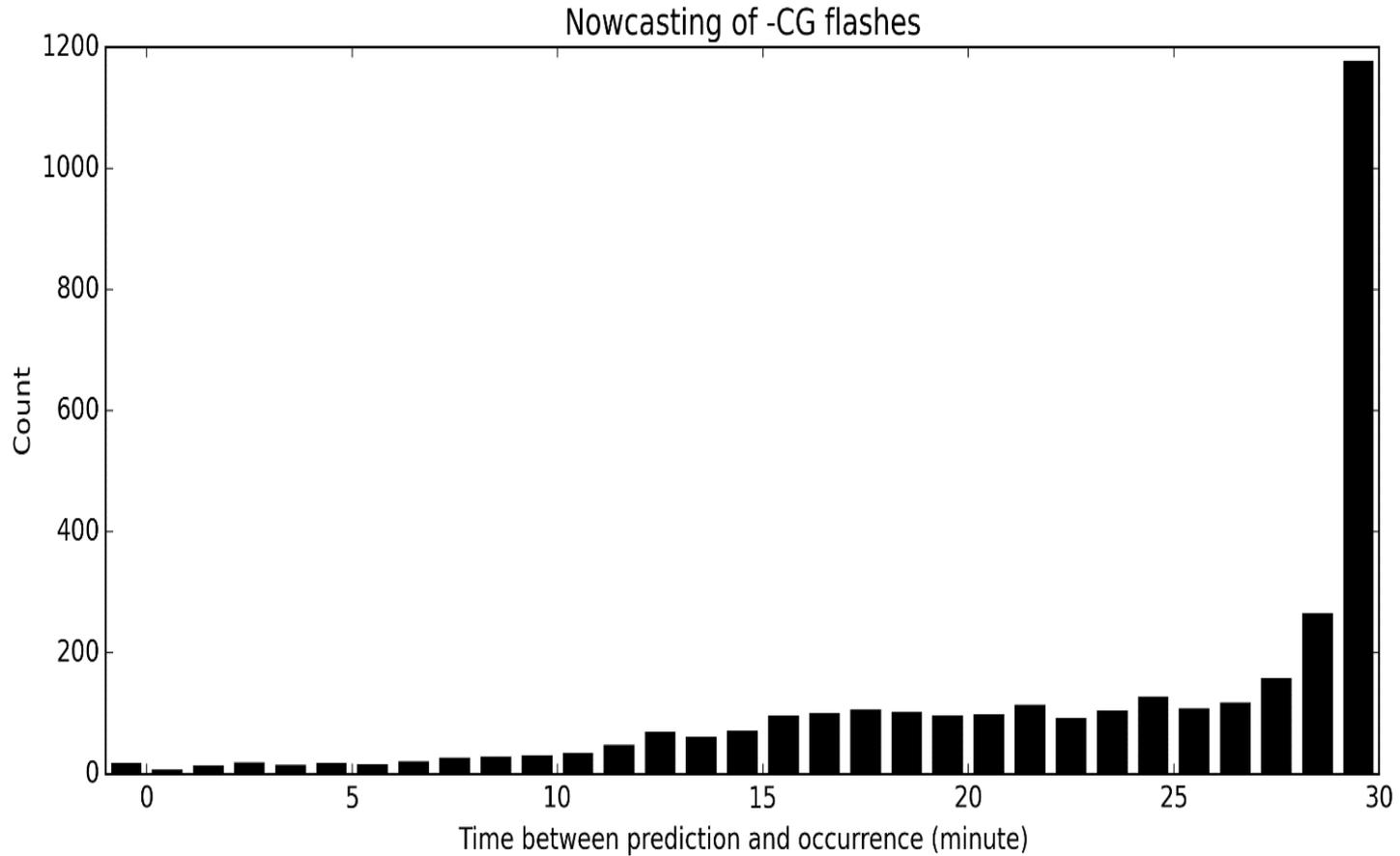


FALMA の実時間のデータを利用して 落雷の予測 (2D)

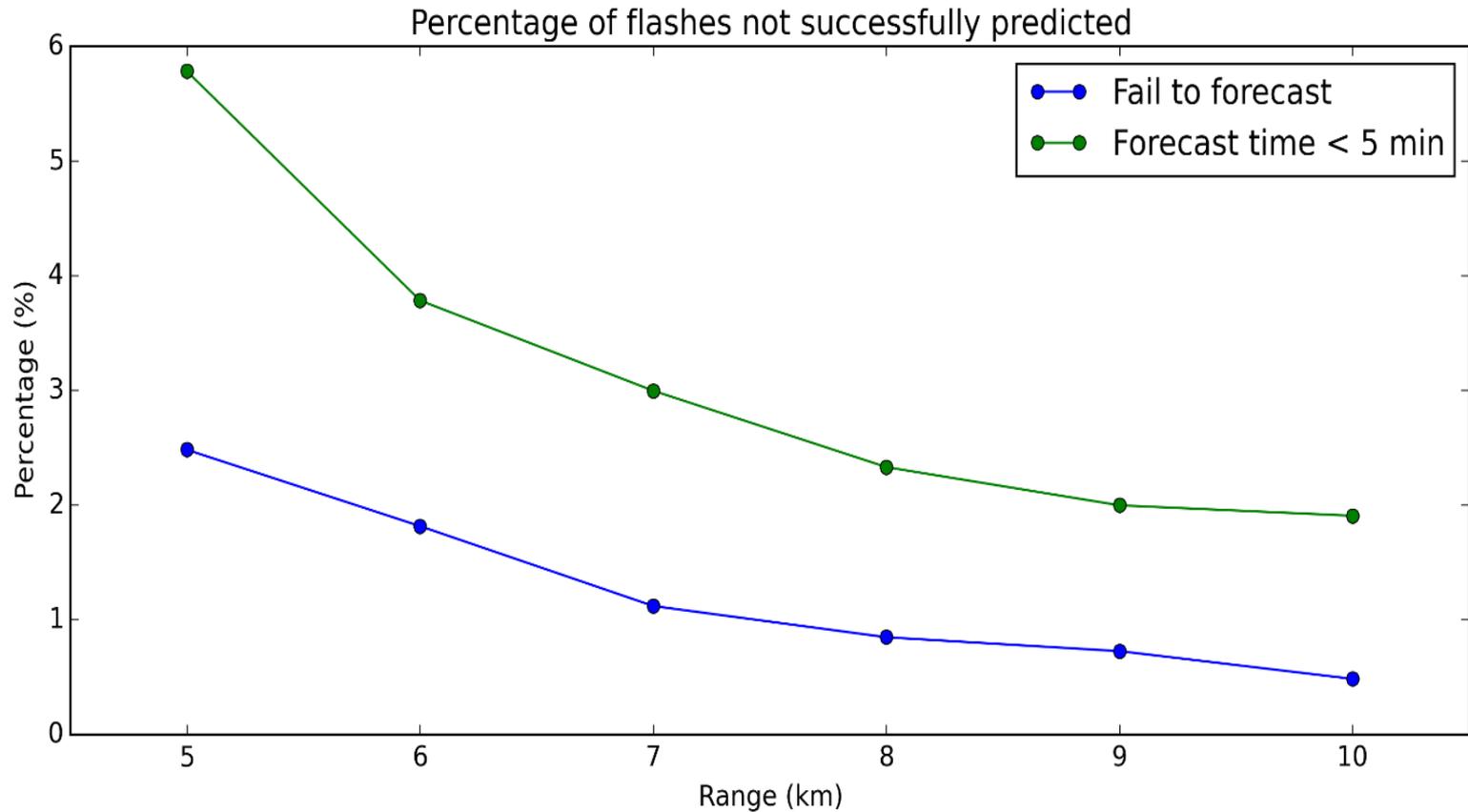
例



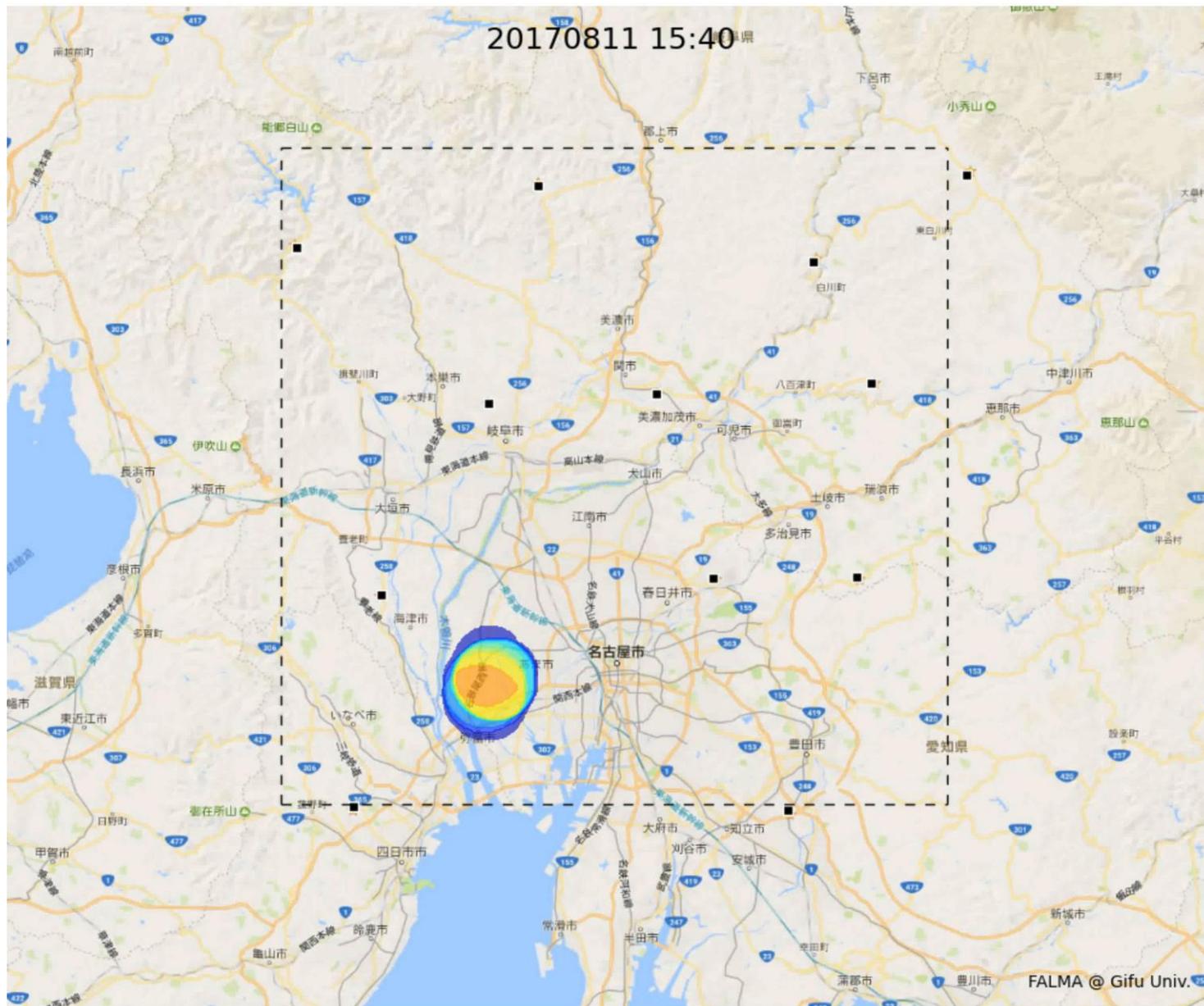
予測時刻と実際落雷時刻の時間差

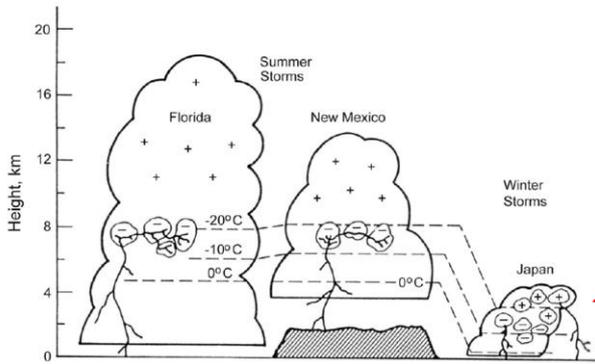


予測失敗率と予測円の半径との関係



雷活動予測の動画例





The location, shown by the small irregular contours inside the cloud boundaries, of ground flash charge sources observed in summer thunderstorms in Florida and New Mexico and in winter thunderstorms in Japan, using simultaneous measurements of electric field at a number of ground stations. Adapted from Krehbiel (1986).

日本海沿岸における冬季雷

- エネルギー大きいものが多い
- 上向き雷が多い
- .
- .

中部・北陸地方リアルタイム雷放電状況

Lightning Realtime Monitoring by FALMA

©Wang·Wu Lab@Gifu Univ.

過去1時間雷放電状況(Updated every 100 seconds)

1 hour: 20250310 08:33:20~09:33:20



王・呉研究室

岐阜大学 工学部

電気電子・情報工学科 電気電子コース

HOME MEMBER RESEARCH PUBLICATION GALLERY ENGLISH



Welcome to 王・呉研究室

研究室概要

電力系統で発生する事故の半数以上が落雷により引き起こされています。また、近年注目されている風力発電の設備も落雷による事故が多発しています。当研究室はより完全な雷事故対策の確立を念頭に、各種雷観測実験を通じて、雷の監視、予知、制御技術の開発に挑戦しています。また、次世代の電力システムとなるスマートグリッドの確立に向け、当研究室ではスマートグリッドの雷害対策と太陽光発電システムに関する研究も行っています。

NEWS

2025.03.17

RESEARCHES

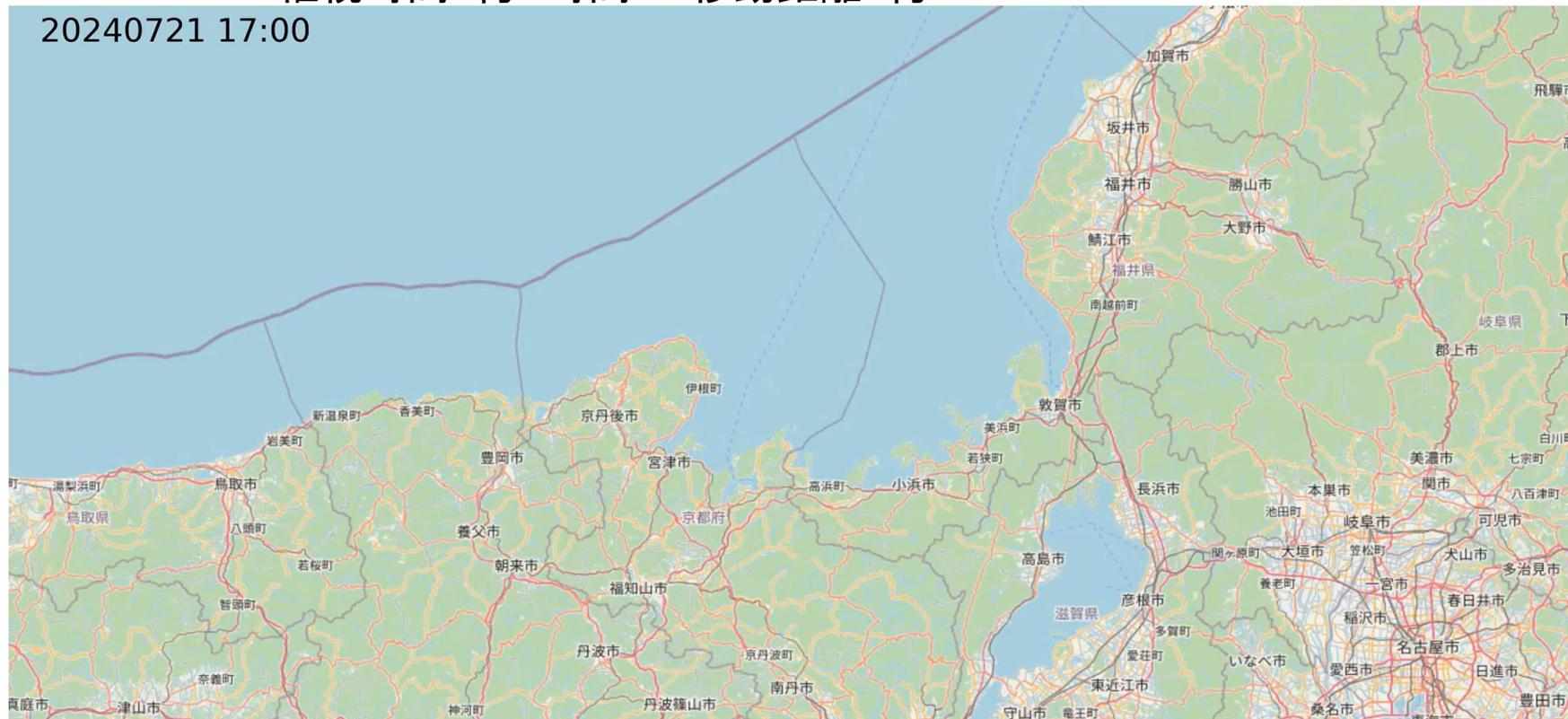
- ✦ 中部・北陸雷放電実況
- ✦ フロリダ誘雷実験
- ✦ 冬季雷観測
- ✦ 雷三次元検定(FALMA)
- ✦ ドローン誘雷技術
- ✦ 雷害電界測定
- ✦ スマートグリッド雷害対策
- ✦ 太陽光発電システム診断法

- 雷発生後3分以内に表示される
- 過去のデータ(2021.11~)も確認できる

2024年7月21日雷雲事例(動画)

継続時間:約5時間 移動距離:約300km

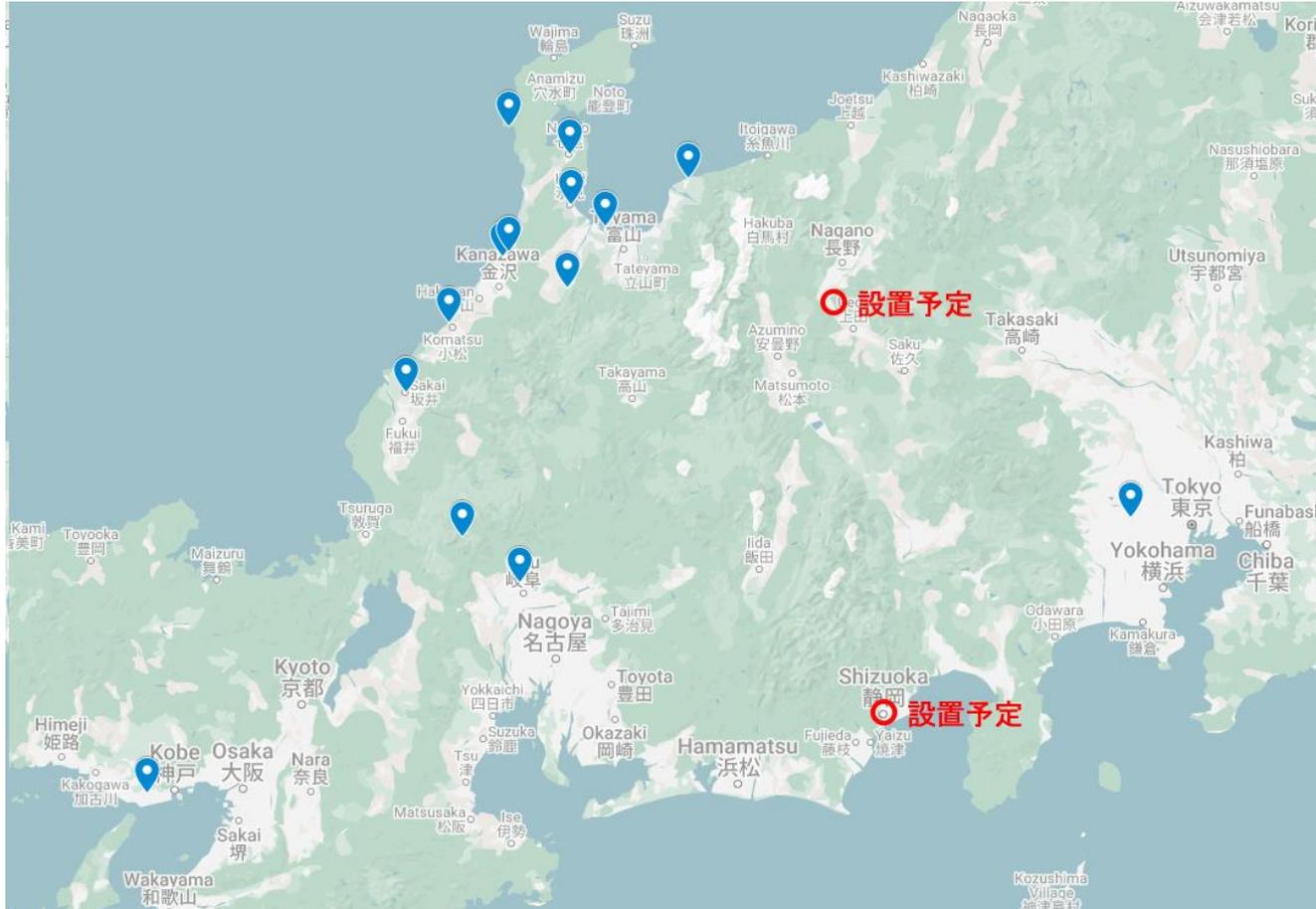
20240721 17:00



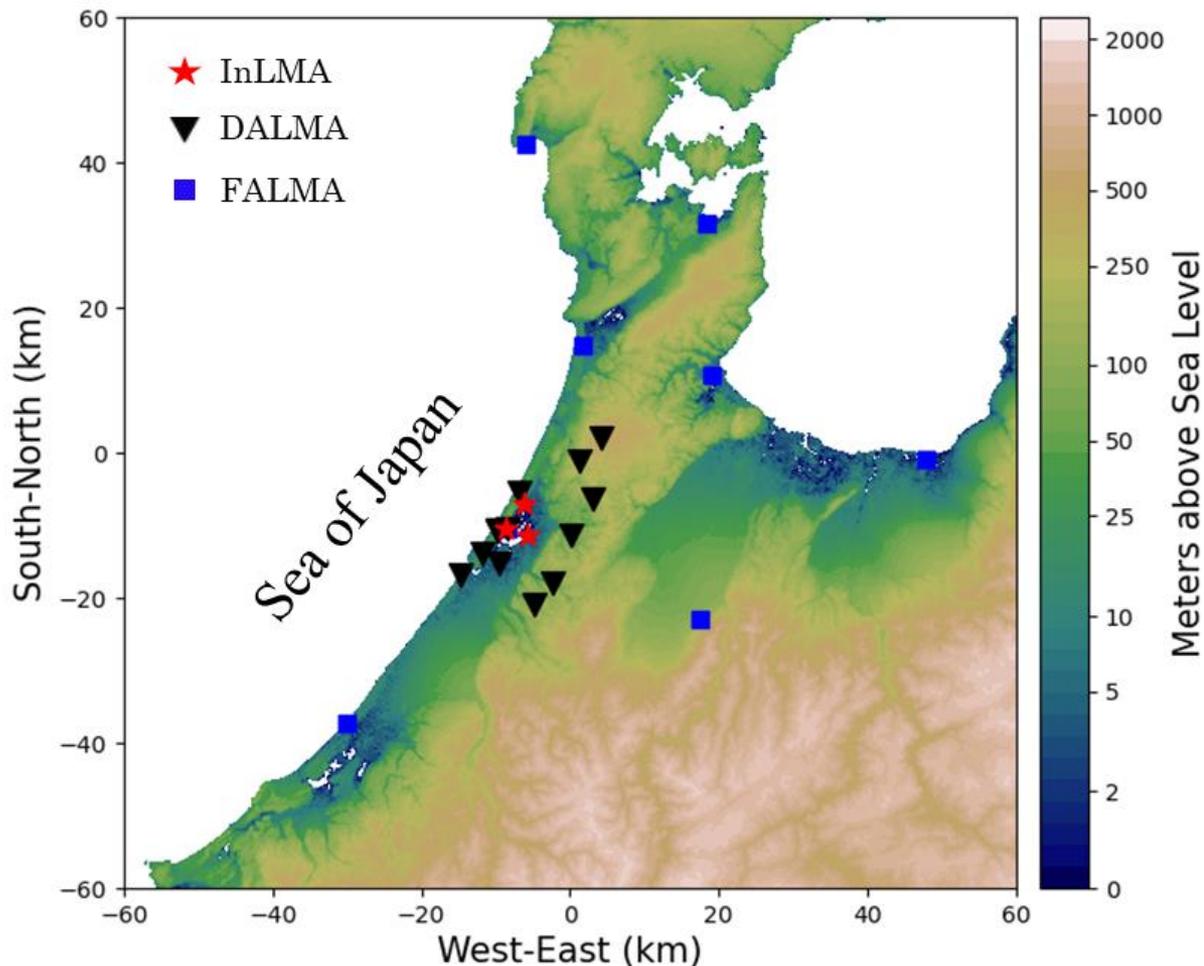
中部・北陸地方の雷活動を常時監視している(2021年11月～)

関西・関東も一部カバー(2024年10月～)

FALMAネットワーク(2025年3月)



DALMAとInLMAの開発・運用



DALMA

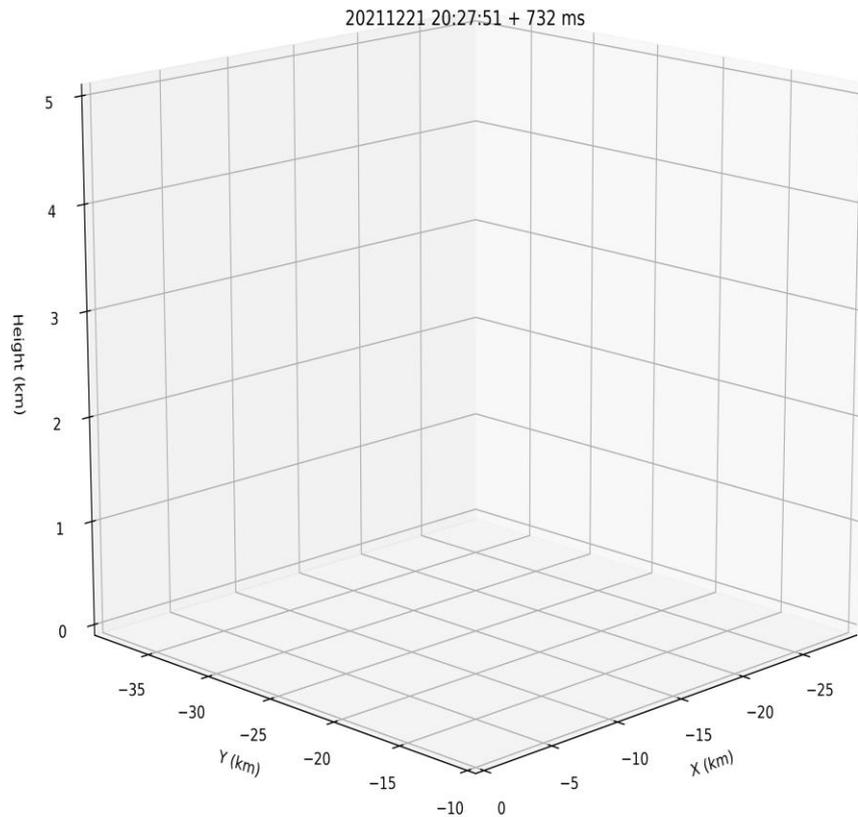
ディスコーンアンテナ
アンテナ、原理的に
FALMAと同じ、周波数
帯域：1MHz-12.5MHz

InLMA

干渉計の原理の利用、
ディスコーンアンテナ
アンテナ、周波数帯域：
1MHz-250MHz



冬季スーパーボルトの3D進展様相



Duration: 475.9ms Dimension: 25kmx 21km Sources:5256



Copyright © Lightning Research Group @ Gifu Univ.

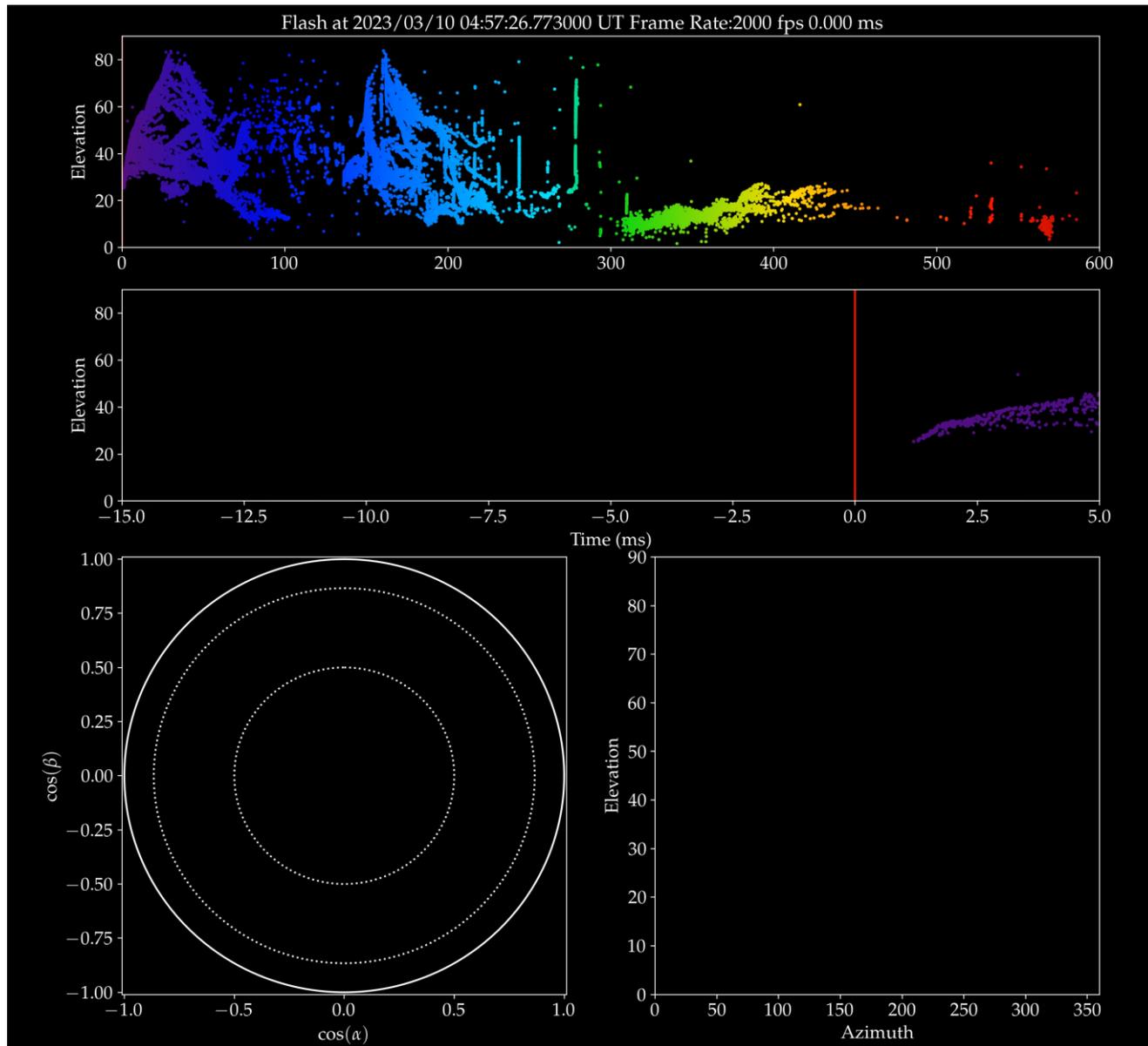
この雷がNHKの下記の番組にも放送された

コズミックフロント「雷 ～知られざる全貌に迫る～」

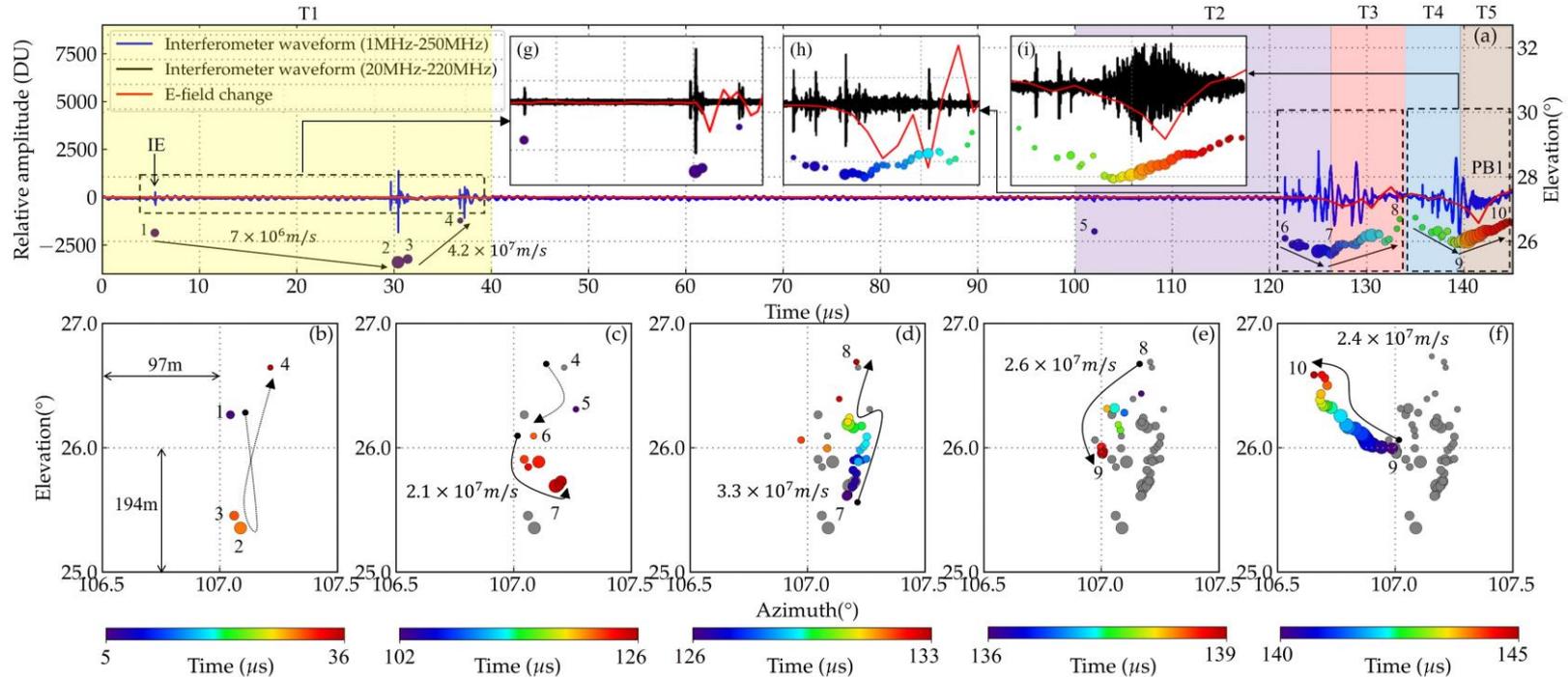
・本放送 BSプレミアム&BS-4K 2022年12月1日(木)

午後10時00分～10時59分

より高い時間分解能、より細かい空間分解能

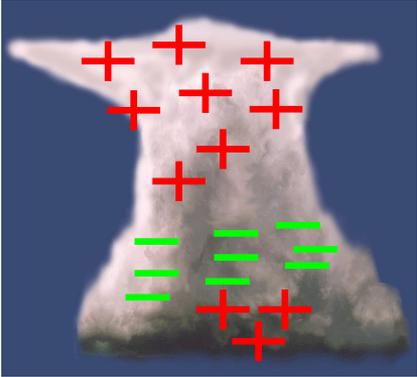


雷放電の開始メカニズムに関する発見

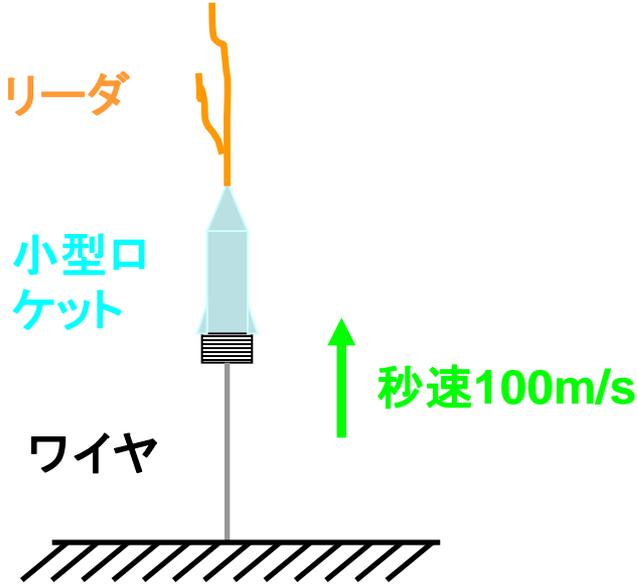


Yang, Q., Wang, D., Yang, J., Liu, H., Wu, T., & Takagi, N. (2025). Initiation process of a winter cloud-to-ground lightning flash. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 130, e2024JD041672. <https://doi.org/10.1029/2024JD041672>

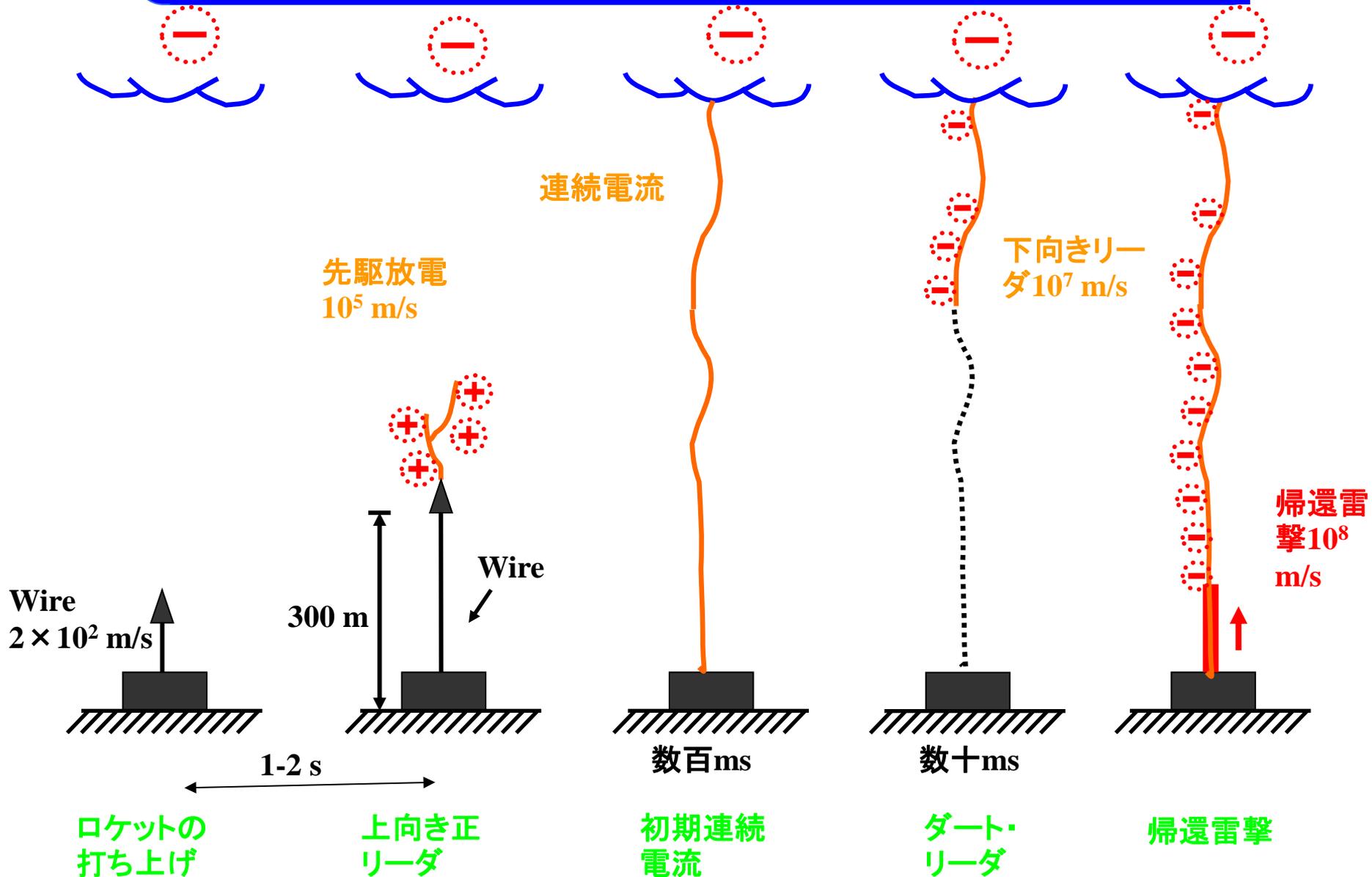
ロケット誘雷とは



フロリダ大学のロケット誘雷用ロケット



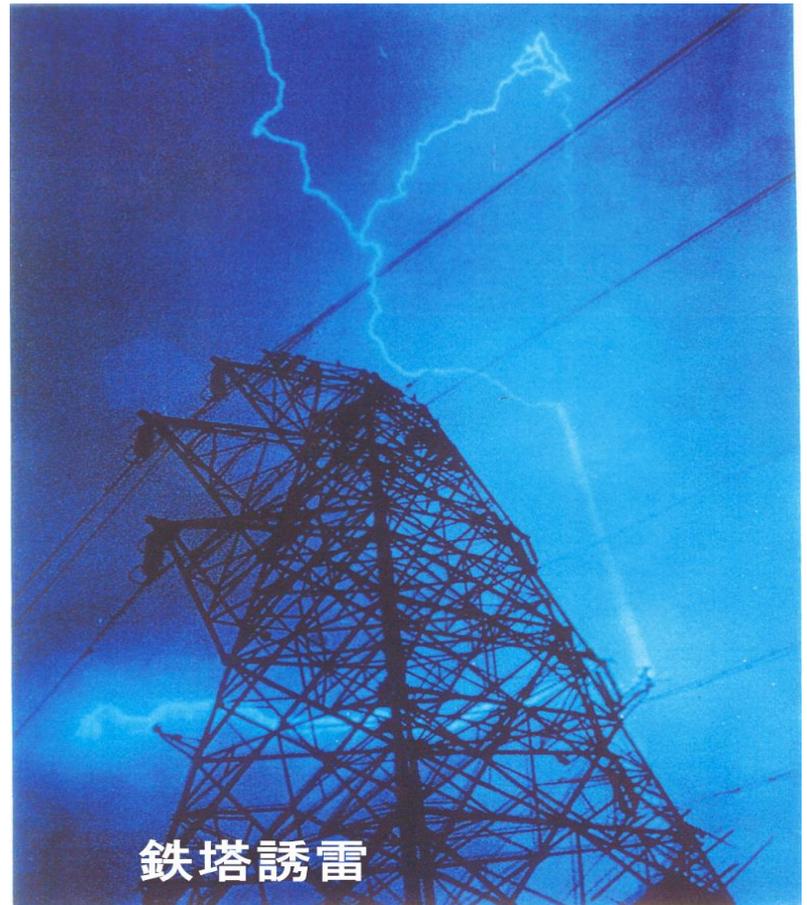
ロケット誘雷の基本的な放電過程



フロリダ大学のロケット誘雷写真例

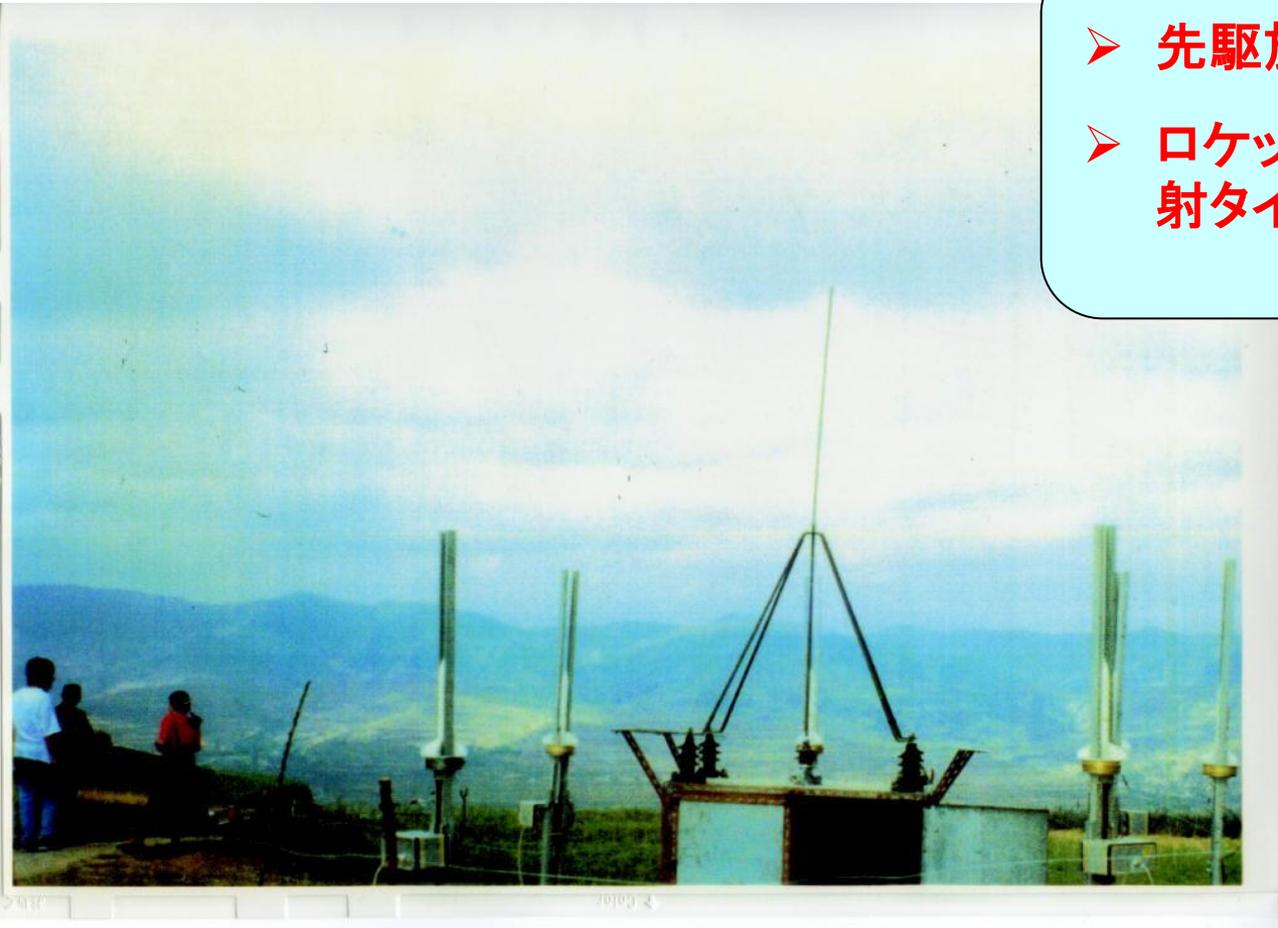


80年代の日本におけるロケット誘雷

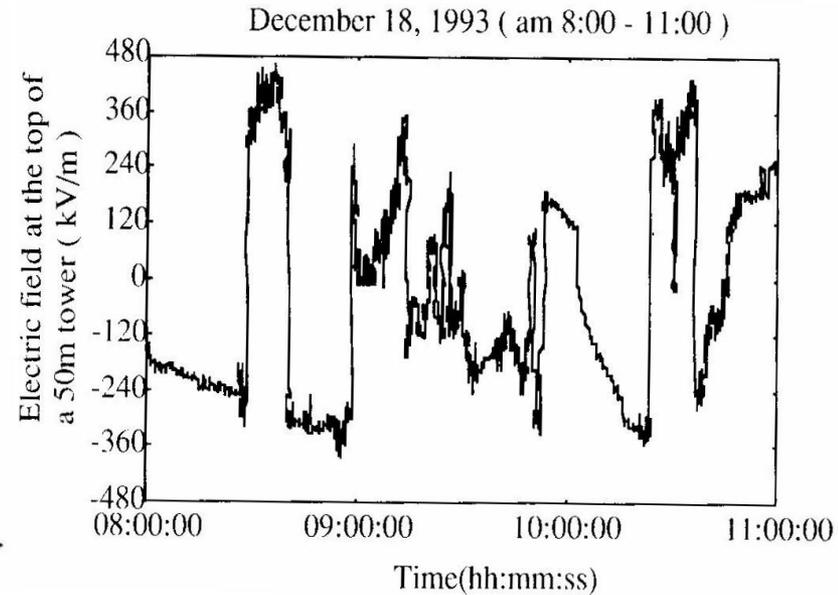
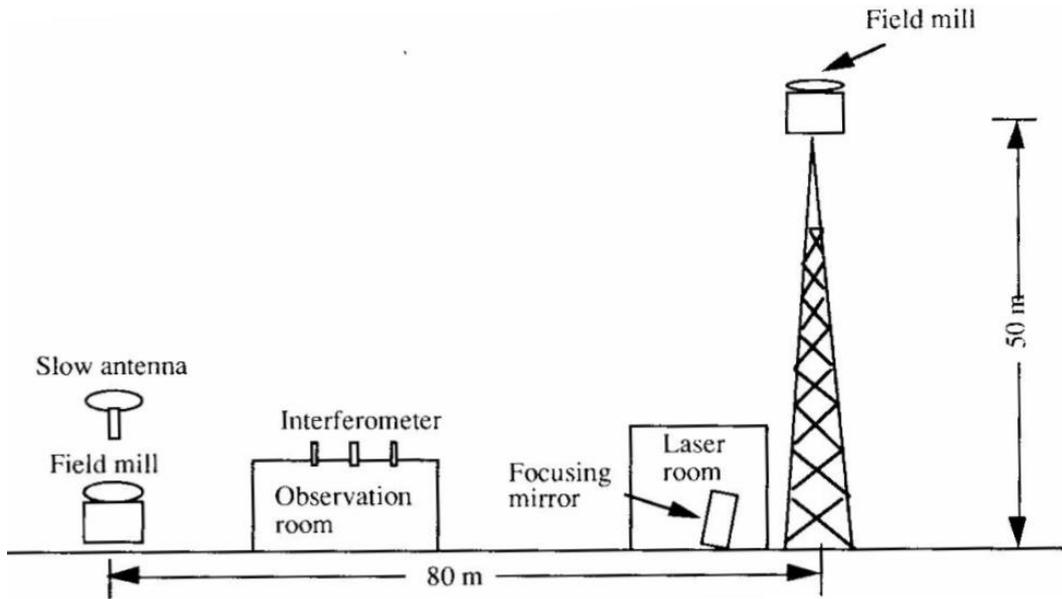


80年代の中国におけるロケット誘雷

- 先駆放電の持続条件の検討
- ロケット・ワイヤ技術とロケット発射タイミング決定技術の開発



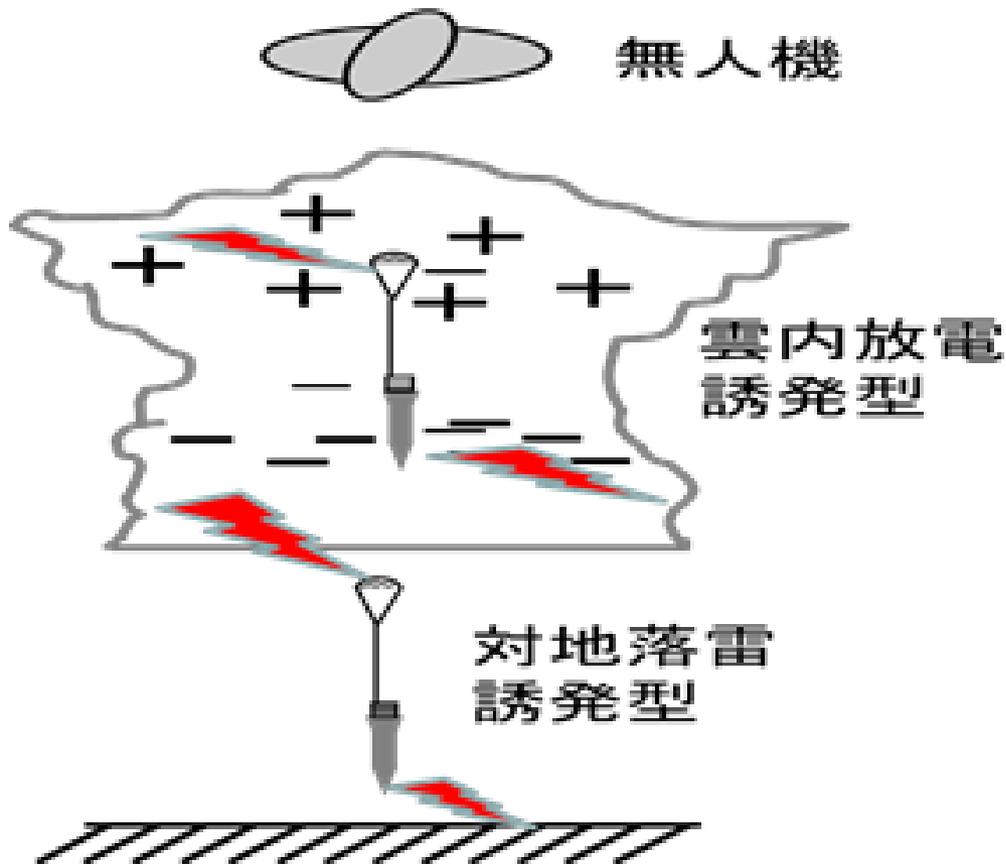
90年代の日本における屋外レーザー誘雷



1. 誘雷塔の塔頂電界と地上電界との関係の計測
2. 鉄塔頂上近辺に誘雷に必要な強電界の計測

D.Wang, et al., A preliminary study on laser triggered lightning, J. Geophys. Res., Vol.99, No. D8, pp.16907-16912, 1994.

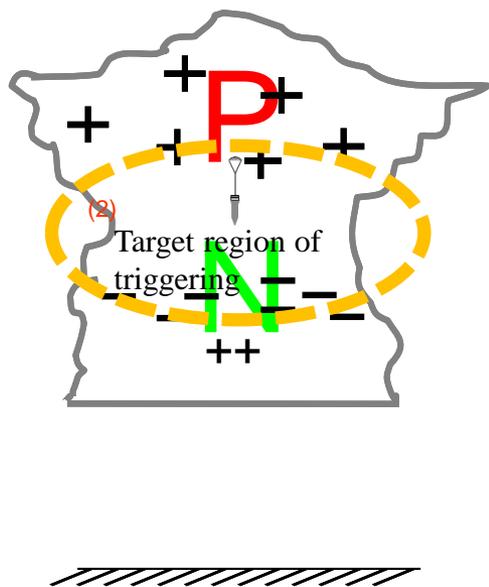
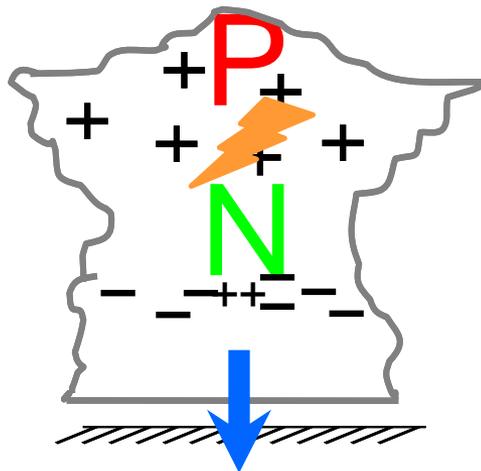
無人機を用いた誘雷方法



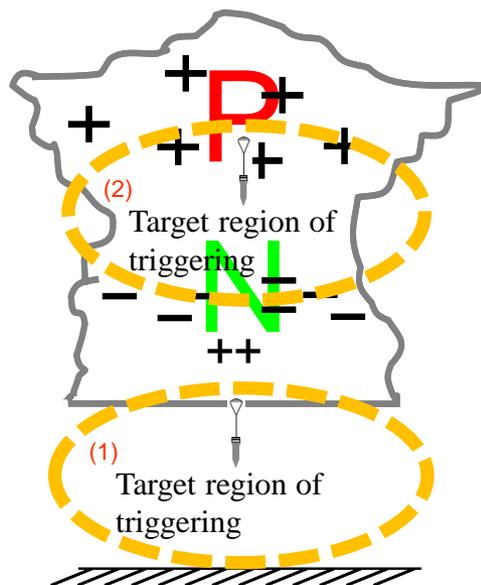
細いワイヤのボビンとパラシュートを装着している無人機を雷雲の上空で巡航させ、誘雷時、無人機からボビンを分離させ、パラシュートを開放することにより、ワイヤを伸ばす。パラシュート開放のタイミングで雲内放電か、対地落雷を誘発する。

ドローンを用いた誘雷技術の展望

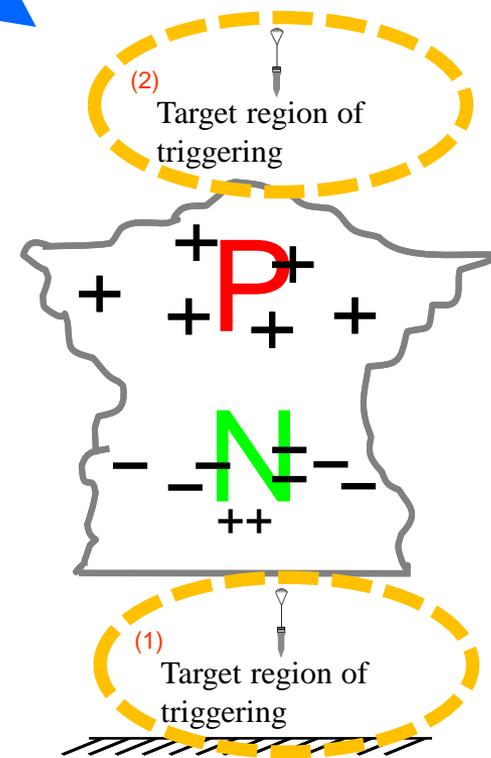
同じ雷雲の電気でも目的に応じ異なる場所と異なるタイミングで誘雷を行うことで異なる形態の雷放電を作り出す



全雲放電型



全落雷型



電離層充電と落雷型

複数のドローンの連携で一つの町全体を雷から守る！

ドローン誘雷を用いて雷雲そのものの制御

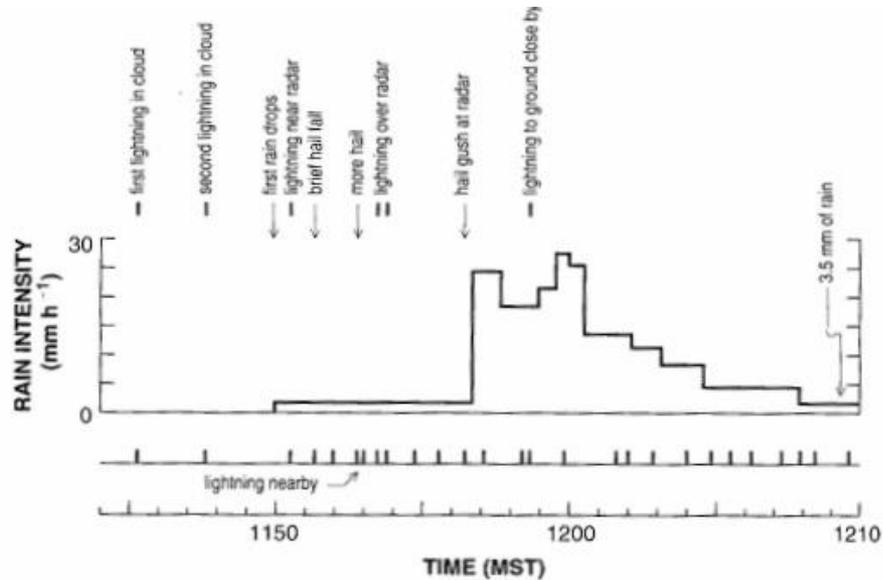
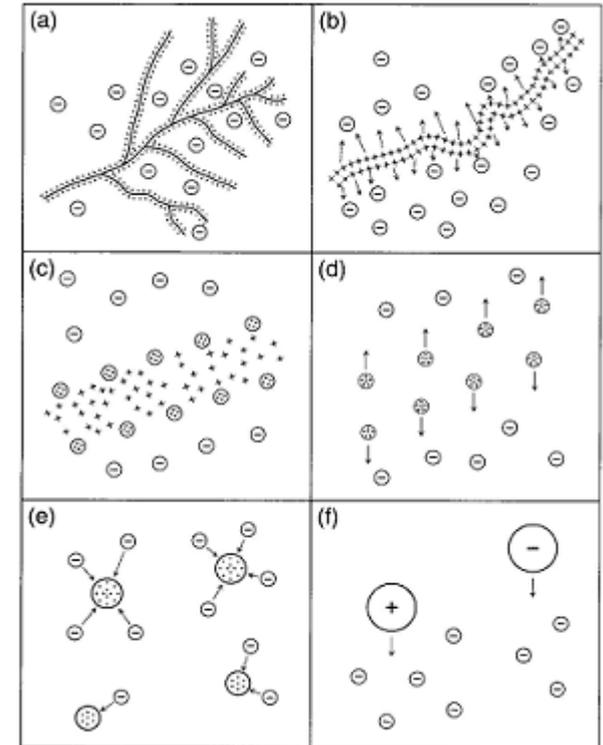


Fig. 10.17. Rain rate and observations of a stationary thunderstorm that produced a hail gush at Mt. Withington, New Mexico, 21 August 1962. The ticks on the line above the time are lightning flashes. (After Moore et al. 1964, with permission.)



Rain gush or hail gush

Shock-induced freezing

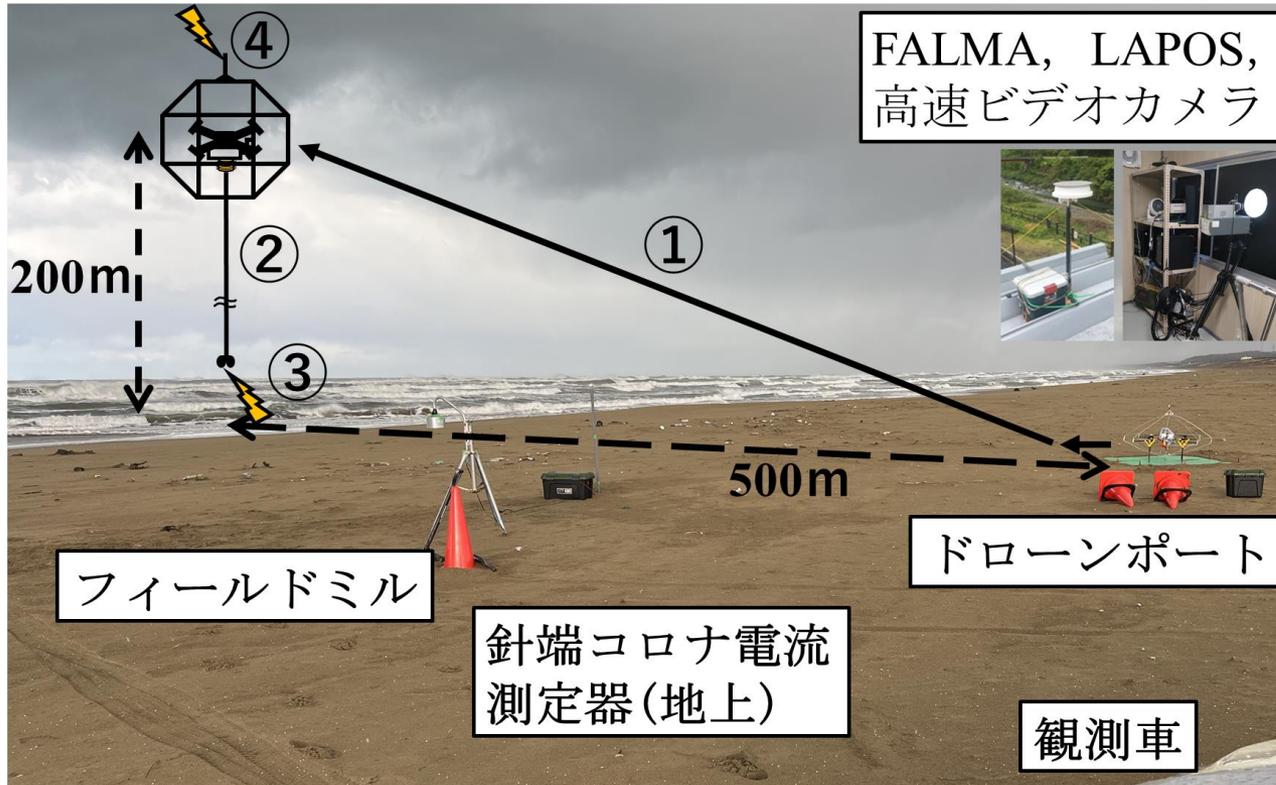
ドローン誘雷実験のための装置開発



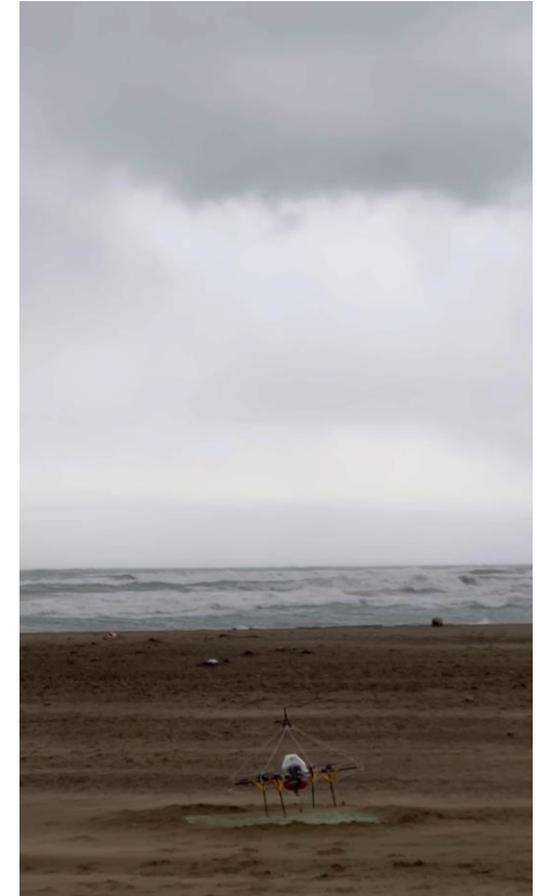
D.Wang, et al., Two new methods of artificially triggering lightning discharges, Proceedings of 30th International Conference on Lightning Protection, Paper number 1204,1-4, 2010.

NTTとの共同研究の実験風景

実験概要

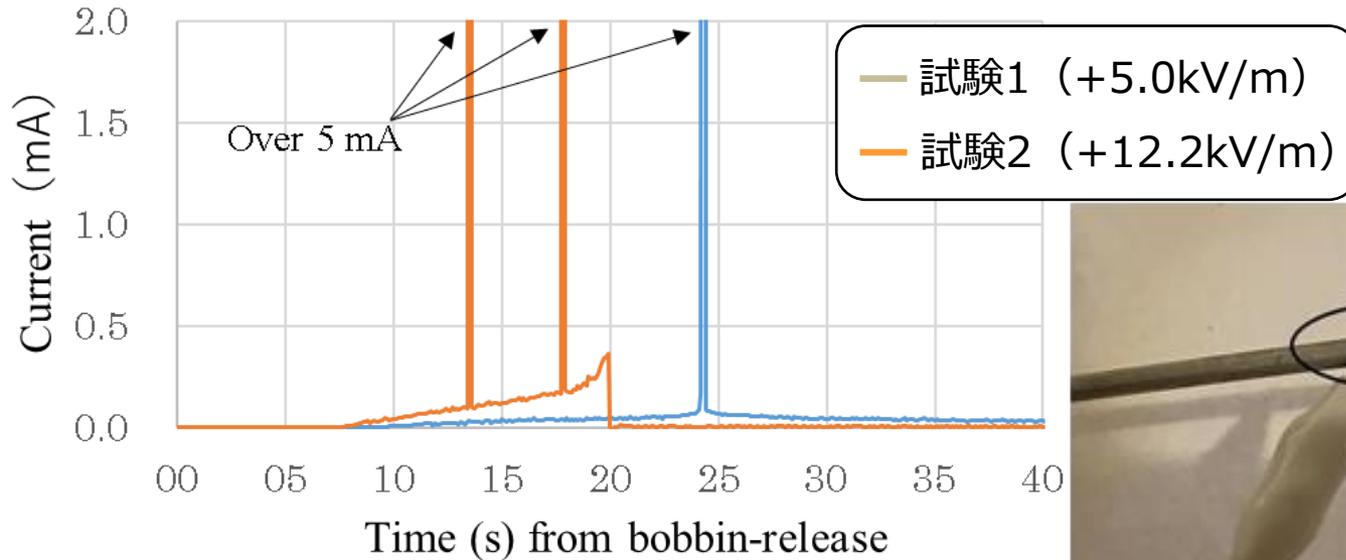


実施したドローン誘雷実験の概略図



実験風景 (動画)

NTTとの共同研究の実験結果例



- ・ 試験1では24秒後に大電流 ……ボビンが海面に到達するのに24秒以上かかっている
- ・ 試験2では13秒後に大電流 ……100m近い放電であった可能性が高い
- ・ 試験2では20秒後に電流が途絶 ……ここでワイヤが切れた可能性

令和5年日本大気電気学会研究会資料より 丸山ら

残念、能登半島地震の影響を受け、実験が中止されたまま



皆さん、雷について
どんな印象を持ってい
ますか？ 大変怖い存

在ですね。しかし、時
には美しい軌跡を残し
て天空を翔(かけ)ま
らに氷晶が集まって霰
(あられ)ができます。

落雷予測と制御技術の追求



すね。
入道雲の中には上昇
気流があり、上空ほど
気温が下がるので、地
上でできた水蒸気は冷
やされ凝結して雲粒と
なり、やがて雲粒が凍
って小さな氷の粒であ
る。

上昇気流の中で氷晶
と霰が衝突すると、氷
晶がプラスに、霰がマ

イナスに帯電します
が、氷晶は軽いので雲
の上部に集まり、霰は
下部に残るので、雲の
上部にプラス、下部に
マイナスの電気がたま
ります。電気がたまり
すぎると一瞬にして強
烈な放電が起こりま
す。これが雷です。
雷の8割は雲内で終
わってしまいますが、
残りは落雷し、さまざ
まな被害をもたらしま
す。私の研究室では雷雲
の発生から落雷に至る
までのさまざまな現象
を研究し、落雷の発生
時刻と場所を予測する
技術、さらに雷雲にた
まった電気を安全に放
電させる雷制御技術の
確立を目指していま
す。
私たちの研究が実
り、落雷の予測と制御
の技術が実現された暁
には、もはや雷は怖い
存在ではなくなるでし
ょう。

夢はなかなか実現される
ものではないですね。これ
からも地道に努力する
所存でございます。

ご清聴ありがとうございました