

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02129

研究課題名（和文）世界最高性能の3次元雷放電路可視化システムの開発とこれを用いた最終雷撃過程の解明

研究課題名（英文）Development of 3-D lightning visualization system with the highest capability in the world and the clarification of the final jump process of return strokes based on this system

研究代表者

高木 伸之（Takagi, Nobuyuki）

岐阜大学・工学部・特任教授

研究者番号：80179415

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では当研究室が開発した雷雲内外の雷放電路の三次元進展様相可視化装置（FALMA）を高度化した。これを用いて落雷地点が決定される最終雷撃過程のデータ取得を行った。さらにデータの信頼度を高めるために受信周波数の異なる三次元雷放電路可視化装置DALMAと、電波源の標定原理が異なる三次元雷放電路可視化装置InLMAの開発と実測データの取得に成功した。また、当研究室が開発した最終雷撃過程用の光学観測装置LAPOSと高速度ビデオカメラや上記装置等を用いた雷観測により日本海側地方の雷放電に関して新たな知見を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

雷撃地点が決定される物理的メカニズムが明らかにされると、これまでの経験則に基づいて作られた避雷設計のためのJIS規格を理論に基づいた避雷設計規格に刷新する事が可能となる。新規格では経験則にない建造物や条件下の避雷設計も効率的かつ効果的に行うことができる。このシステムは落雷地点をピンポイント（誤差1m）で特定できるため、現在電力会社等が利用している誤差が300m～1km程度のシステムを用いて被害を確認するためのコストを大幅に削減できる。また、このシステムは気象庁が行っている雲のレーダーエコーを用いた落雷予測とは異なり実際に電荷のある場所（放電に伴う電波放射源）を用いた落雷予測も可能となる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we improved the FALMA, which was developed in our laboratory, to visualize the three-dimensional progression of lightning discharge channels inside and outside thunderclouds. Using this, we obtained data on the final lightning stroke process, in which the lightning strike point is determined. Furthermore, in order to improve the reliability of the data, we developed a three-dimensional lightning discharge path visualization device called DALMA, with a different receiving frequency, and a same one called InLMA, using a different radio wave source location principle, and succeeded in obtaining actual measurement data. By using LAPOS, an optical observation device for the final lightning stroke process developed by our laboratory, high-speed video cameras, and the above-mentioned devices, we were able to obtain new knowledge about lightning discharges in the Japan Sea region.

研究分野：電気電子工学

キーワード：雷 雷放電路の可視化 最終雷撃過程 落雷の予知

## 1. 研究開始当初の背景

雷研究において3次元雷放電路可視化システムは革命をもたらしたといっても過言ではない。3次元雷放電路可視化システムは10台程度の電波受信システムを20km~30km離して設置することで100km四方内の雷放電全ての3次元動画(時間分解能100 $\mu$ s以下)を記録することができる。一方、同程度の価格の高速度ビデオカメラで記録できる範囲は10km先までの雷雲雲底下の水平方向の幅1km内の放電路だけで、その撮影可能な地上面積は3次元雷放電路可視化システムの1/2000以下、体積比で1/20000にすぎない。さらに3次元雷放電路可視化システムに記録のためのデッドタイムが無いのに対して高速度ビデオカメラには1秒間の撮影に対して10分程度のデッドタイムが生じてしまう。また、高速度ビデオカメラの画像は2次元画像であるのに対して、3次元雷放電路可視化システムで得られる画像は文字通り3次元画像である。従って、3次元雷放電路可視化システムは広範囲に発生する雷放電を見逃すことなく記録することができるため大量の価値の高いデータを蓄積できる。

本研究は世界最高性能を有する3次元雷放電路可視化システムを開発し、これを利用して広範囲の落雷データを取得し最終雷撃過程の物理的メカニズムを明らかにすることを目的としている。通常、最終雷撃過程の撮影には高速度カメラが用いられる。ただし、前述したようにデータを取得できるチャンスはほとんど無い。そこでロケットとワイヤーを用いて落雷を決まった地点に発生させるロケット誘雷を利用して、取得できるデータ数は極めて少ない。落放電路からは可視光以外に可視光より周波数が低い電磁波も放射されている。電磁波であれば全方位から受信可能で受信可能距離も100km以上となり、大量の落雷データが取得可能となる。最終雷撃過程の測定のために電波を利用するのは本研究独自の手法である。

## 2. 研究の目的

通常の落雷の場合、図1左に示すように雷雲内から先行雷撃(図中の負極性ステップドリーダ)が地上に近づくにつれて地上の突起物先端で電界が高まり、その先端から正極性コネクティングリーダ(図1右)と呼ばれる雷撃が進展を開始し、雲からの先行雷撃と結合すると大電流で強い発光を伴う帰還雷撃へと移行する。コネクティングリーダの発生から帰還雷撃の発生までを最終雷撃過程と呼び、コネクティングリーダの発生場所(雷撃地点)とその発生時の先行雷撃までの距離を雷撃距離と呼ぶ。最終雷撃過程はその過程内において雷撃地点が決定され、直後に雷撃電流がピーク値に達することから防雷および対雷技術において最も

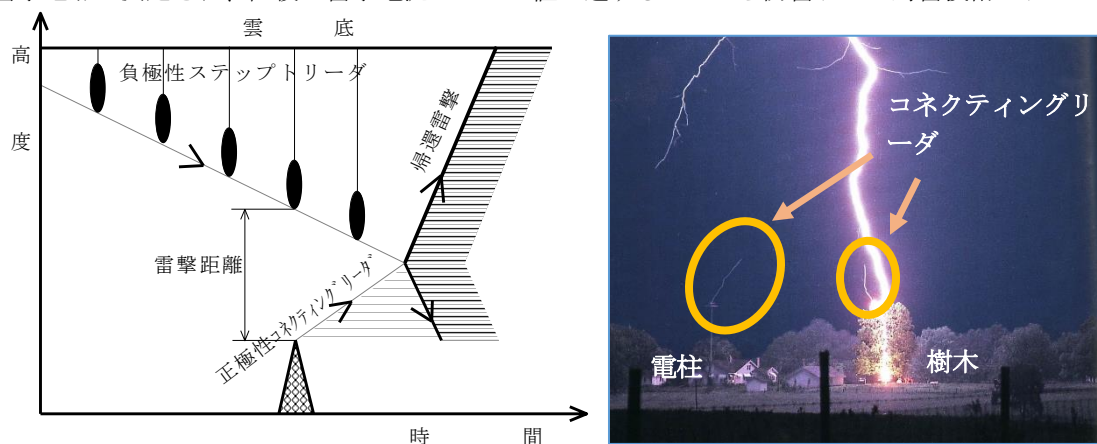


図1 最終雷撃過程の模式図(時間は左から右)(左)と地上から伸びるコネクティングリーダの写真(右)。コネクティングリーダは電柱と樹木から伸びている。

重要でかつ解明されていなければならない雷撃過程である。また雷撃距離は避雷針の保護範囲を決定するのに利用されている。この最終雷撃の撮影に当研究室が世界で最初に成功している<sup>(1)</sup>。しかし、高速度ビデオカメラの視野内に雷撃が入る確率は極めて低いため取得された有用なデータ数は世界中で数例程度しかない。一方、世界中で避雷針等による落雷からの保護に関する規格が制定されているが、これらは経験

上の知識を反映させて作られており、観測結果を反映された規格制定とはなっていない。従って、理論的に確立された雷保護のための規格を制定するためには様々な条件下での落雷地点と雷撃距離等のデータが必要となっている。これを与えてくれるのが開発する3次元雷放電路可視化システムである。

### 3. 研究の方法

本研究において開発した電波放射源標定装置 FALMA、DALMA、InLMA について紹介する。

#### 3.1 FALMA<sup>(2)</sup>

FALMA(Fast Antenna Lightning Mapping Array)は図 2 に示すファストアンテナで雷放電に伴う 500Hz-500kHz の電磁放射を受信し、各サイトで受信した際の時間差と放射源の  $x,y,z$  座標を変数とすることによって雷の3次元位置情報と放射時刻を得ることができる。その放射源の標定原理を図 3 に示す。

このシステムを日本海側の雷の観測のため、石川県河北郡内灘町を中心に 14 ヲ所に観測機器を設置し、雷観測を行った。



図 2 FALMA のアンテナ

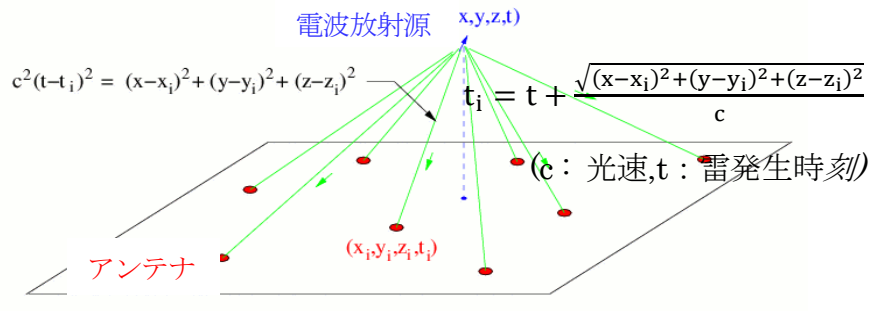


図 3 FALMA による放射源標定の原理図

#### 3.2 DALMA<sup>(3)</sup>

DALMA(Discone Antenna Lightning Mapping Array)は図 4 に示す垂直ダイポール付きディスコアンテナで 500kHz-50MHz の範囲の電波を受信する。電波放射源の標定は FALMA と同様にアンテナ(12 地点)間の受信時間差で決定する。

#### 3.3 InLMA<sup>(4)</sup>

InLMA(Interferometer-type Lightning Mapping Array)は 75m 間隔で DALMA と同じアンテナを 3 台設置し、アンテナに入射する電波源(1MHz-1200MHz)の方位角と仰角を干渉法により決定する。このシステムを 3km~5km 離して 3 箇所に設置した。これにより電波放射源の3次元位置情報と放射時刻を得ることができる。



図 4 DALMA と InLMA のアンテナ

## 4. 研究の成果

### 4.1 FALMA

雷撃地点が決定される最終雷撃過程を解析するには図 1 左に示す地上の突起物からの上向きリーダを記録する必要がある。ただし、負極性リーダは数メートルずつステップ状に進展するためステップ毎にパルス状の電磁波が発生するが、正極性リーダは連続的に進展するためにパルス状の電磁波はほぼみられない。そこで上向きリーダが負極性となる正極性落雷のデータを調べた<sup>(5)</sup>。上向きリーダからのパルス状の電磁波は強度が小さいので検出することが難しいが、調べた 674 例の正極性落雷の内 232 例で大きな電流が

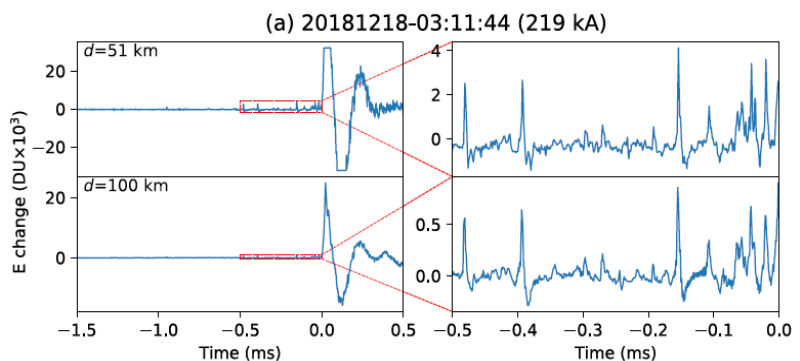


図 5 正極性落雷に伴う電界変化波形。左側が全体波形で、右側は帰還雷撃前の拡大波形。上下は同じ落雷の異なる距離のアンテナで受信された波形。

流れる帰還雷撃以前に正極性のパルスが見られた。図 5 に示す正極性落雷では帰還雷撃(図左の上方向への大きな変化)の約  $500\mu\text{s}$  前からパルスが発生している。上向きリーダの進展速度が  $10^5\text{m/s}$  のオーダーであることを考慮すると上向きリーダの進展距離(上からのリーダとの接合高度)は  $50\text{m}$  から  $250\text{m}$  と概算され、他の観測結果と合致している。また、この帰還雷撃前に見られるパルスのピーク電流が陸地から発生する場合に比べて抵抗率の低い海上から発生する場合の方が大きくなる傾向があり、このパルス列が上向きリーダの進展に伴うものであることを強く示唆している。ただし、光学観察との同時観測された例はなく 100% 図 5 で示すパルス列が上向きリーダによるものであるとの結論に至っていない。今後、数例の高速ビデオ等の光学観測との同時観測に成功し、図 5 に示すパルス列を同時記録できれば一気に 232 例の正極性落雷の上向きリーダのデータを得ることになる。

FALMA で地上からの上向きデータを抽出するには抽出したデータが必ず落雷である必要がある。最初に関与された電波を用いた落雷位置情報システム LLS の落雷の認識精度は 50%~92%程度あると報告されている。そこで、機械学習を用いて FALMA の落雷認識精度を高めるためのアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムにより FALMA の落雷認識精度を 98.84%に高めることに成功した<sup>6)</sup>。

#### 4.2 DALMA

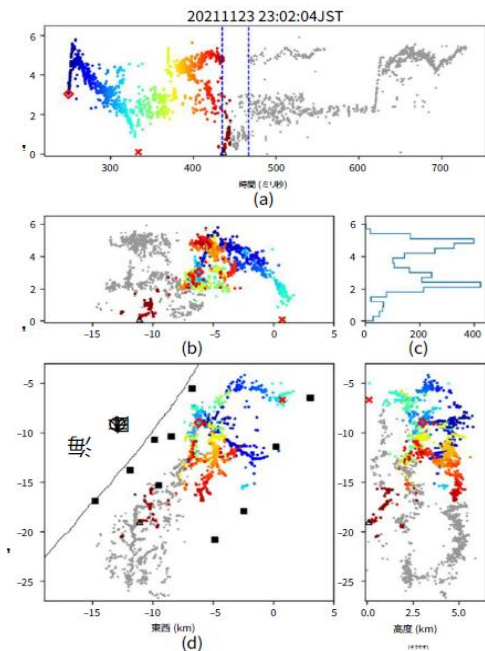


図 6 負極性落雷の 3次元マッピング結果

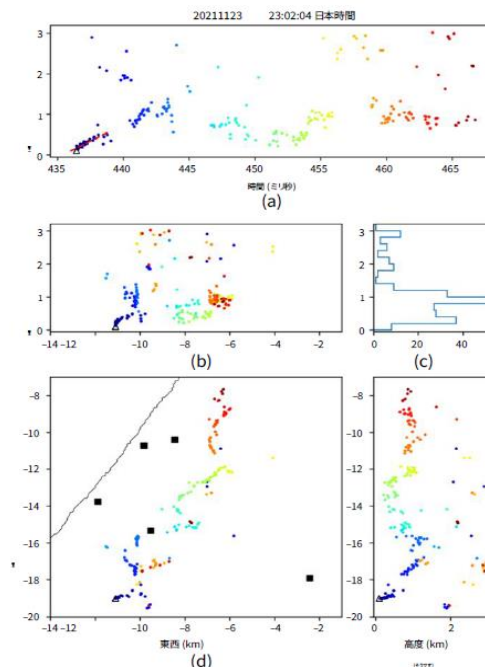


図 7 左図上向き進展放電部分の拡大図

FALMA は LF 帯の電波を使用するために受信電波波形より各放電過程を認識することが容易で、リアルタイムで放射源を標定できる。一方、LF 帯の電波を使用するためリーダでの細かな放電を全て受信することは苦手としている。また、地上付近での感度が低いという欠点もある。そこで地上付近の感度も高く、細かな放電も受信可能な DALMA が開発された。ただし、受信した電界波形から放電の進展過程を特定することは難しいという短所を有する。

日本海側地方の冬季雷の DALMA による観測結果を図 6 と図 7 に示す<sup>7)</sup>。図 6 では非情に多くの電波放射源が標定できている。図 7 は図 6(a)の破線部分を拡大したものであり、図 7(a)で時間と共に高度を上げて進展している上向き放電が記録できている。まだ FALMA と同時に取得できたデータ数が少ないので最終雷撃

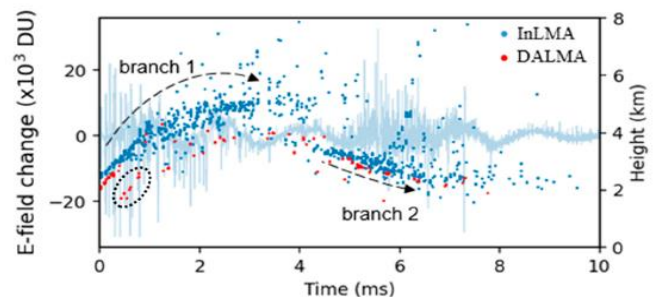


図 8 雷放電に伴う 3次元高度の InLMA と DALMA の比較

データの特定には至っていないが、データ数の増加と共に特定できるデータが増えたと期待できる。

### 4.3 InLMA

InLMA はアンテナに入射する電磁波の位相差を干渉法によって位置標定を行うため、電波の到達時間差によって位置標定する FALMA と DALMA とは原理的に異なる。原理の異なるシステムでも同じ地上からの上向き放電が記録できればデータの信頼度は増す。さらに受信する周波数が InLMA はより高くなるために受信できる放射源の数も増える。図 8 に示す雷放電は InLMA と DALMA で同時観測できた事例である<sup>(4)</sup>。赤点の DALMA の放射源の数より青点の InLMA の放射源の数の方が圧倒的に多いことが分かる。InLMA の取得データの増加に伴い上向き放電のより細かな進展様相の解析が可能となると思われる。

### 4.4 LAPOS

最終雷撃課程の高速度撮影用に当研究室で開発された光学観察装置が LAPOS である<sup>(8)</sup>。マイクロ秒以下以下の時間分解能で地上近傍の高度別発光強度の時間変化を測定できる。観測された一例を図 9 に示す。

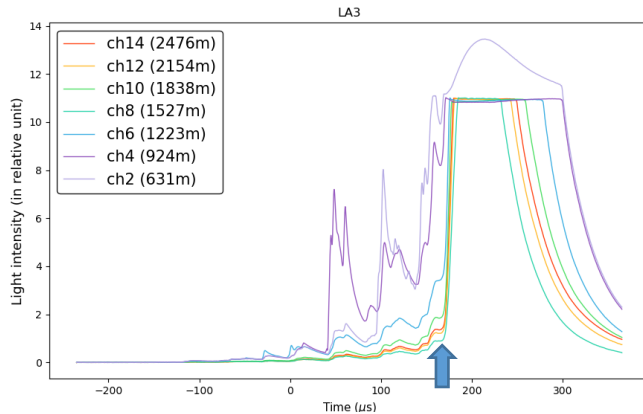


図 9 LAPOS によって記録されたリーダと直後の帰還雷撃(↑)

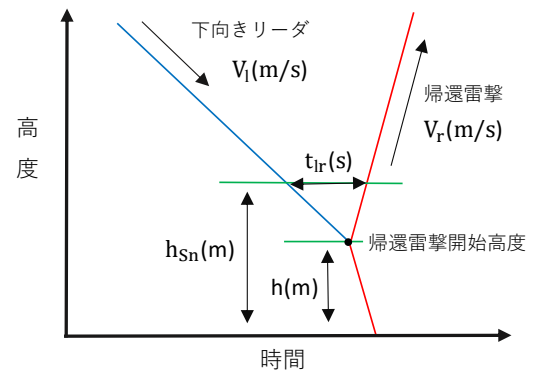


図 10 帰還雷撃高度の算出方法

す。青色の矢印が帰還雷撃の開始を示しており、それ以前はリーダによる発光の高度別時間変化である。発光の高度別時間変化よりリーダと帰還雷撃の速度を算出できる。さらに帰還雷撃開始高度は図 10 に示すパラメータを用いて次式で算出できる。

$$h = \frac{h_{sn}(V_r + V_l) - t_{lr}V_rV_l}{V_r + V_l}$$

この算出方法により日本海側地方で発生する落雷の特性を夏季と冬季で比較した。

図 11 に示すようにリーダの速度が夏季より冬季の方が速いことが分かる。これは冬季の方が電荷高度が低く雷雲下の電界が高いためにリーダ速度が速くなると思われる。また図 11 右の帰還雷撃開始高度は冬季の方が高く、避雷針の保護範囲が冬季と夏季では大きく異なり、避雷針の設計基準の見直しが必要であることを示唆している。

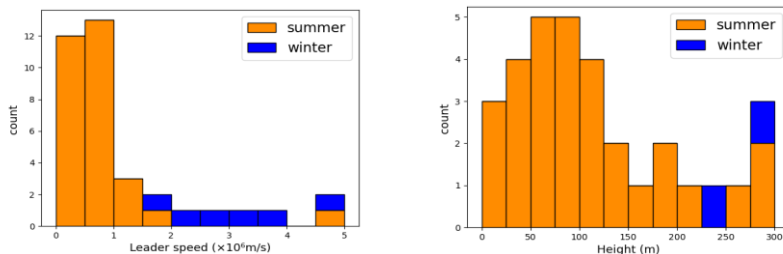


図 11 リーダ速度分布(左)と帰還雷撃開始高度(右)の夏季と冬季の比

### 参考文献

- 1.D.Wang, et al J.G.R, 104, D2, 2143-2150, (1999)
- 2.Ting Wu, et al, Geo. Res.Lett., (2018)
- 3.Wang, D.et al, IEEJ, 7, 1606-1612, (2022)
- 4.Yang, J.et al,. Remote Sens, 15, 1923. (2023)

5.Wu, T. et al, J.G.R., 127, e2022JD037282. (2022).

6.Wu, T., et al. J.G.R., 128, e2023JD038715.(2023)

7.Wang, D.et al, IEEJ. (2022).

8.Wang, D.et al, In Proceedings 7<sup>th</sup> Asia-Pacific international conference on lightning. (2011).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Wu Ting, Wang Daohong, Takagi Nobuyuki	4. 巻 128
2. 論文標題 High Accuracy Classification of Radiation Waveforms of Lightning Return Strokes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2023JD038715	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yang Junchen, Wang Daohong, Huang Haitao, Wu Ting, Takagi Nobuyuki, Yamamoto Kazuo	4. 巻 15
2. 論文標題 A 3D Interferometer-Type Lightning Mapping Array for Observation of Winter Lightning in Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1923 ~ 1923
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs15071923	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Wu Ting, Wang Daohong, Takagi Nobuyuki	4. 巻 127
2. 論文標題 On the Intensity of First Return Strokes in Positive Cloud To Ground Lightning in Winter	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022JD037282	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Wang Daohong, Wu Ting, Huang Haitao, Yang Junchen, Yamamoto Kazuo	4. 巻 17
2. 論文標題 Mapping of Winter Lightning in Japan with an Array of Discone Antennas	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 1606 ~ 1612
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tee.23667	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Huang Haitao, Wang Daohong, Yang Junchen, Wu Ting, Takagi Nobuyuki	4. 巻 41
2. 論文標題 Complicated aspects of a CG lightning flash observed in winter storm in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Atmospheric Electricity	6. 最初と最後の頁 11 ~ 29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/jae.41.11	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Junchen Yang, Daohong Wang, Haitao Huang, Ting Wu, Nobuyuki Takagi, Kazuo Yamamoto	4. 巻 LOC2-2
2. 論文標題 Development of an Interferometer-type Lightning Mapping Array System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the International Conference on Lightning Protection 2022	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Huang, H., Wang, D., Wu, T., & Takagi, N.	4. 巻 126
2. 論文標題 Recoil leader and associated discharge features observed during the progression of a multi-branched upward lightning flash	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JD035162	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wu, T., Wang, D., Huang, H., & Takagi, N.	4. 巻 48
2. 論文標題 The Strongest Negative Lightning Strokes in Winter Thunderstorms in Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021GL095525	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wu, T., Wang, D., & Takagi, N	4. 巻 126
2. 論文標題 Compact Lightning Strokes in Winter Thunderstorms	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JD034932	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wang, X., Wang, D., He, J., & Takagi, N.	4. 巻 126
2. 論文標題 Characteristics of Electric Currents in Upward Lightning Flashes From a Windmill and its Lightning Protection Tower in Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JD034346	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wang, D., Zheng, D., Wu, T., & Takagi, N.	4. 巻 16
2. 論文標題 Winter Positive Cloud to Ground Lightning Flashes Observed by LMA in Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ	6. 最初と最後の頁 402-411
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tee.23310	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wang, X., Wang, D., He, J., & Takagi, N.	4. 巻 125
2. 論文標題 A comparative study on the discontinuous luminosities of two upward lightning leaders with opposite polarities	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 e2020JD032533
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JD032533	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



1. 著者名 Ting Wu, Daohong Wang, Nobuyuki Takagi	4. 巻 39
2. 論文標題 A negative cloud-to-ground lightning flash initiating at a high altitude and starting without classic preliminary breakdown pulses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Atmospheric Electricity	6. 最初と最後の頁 16-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/jae.39.16	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ting Wu, Daohong Wang, Nobuyuki Takagi	4. 巻 125
2. 論文標題 Upward negative leaders in positive upward lightning in winter: propagation velocities, electric field change waveforms, and triggering mechanism	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JD032851	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shi, D., Wang, D., Wu, T., & Takagi, N.	4. 巻 125
2. 論文標題 A Comparison on the E change Pulses Occurring in the Bi level Polarity opposite Charge Regions of the Intra Cloud Lightning Flashes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JD032996	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wu, T., Wang, D., & Takagi, N.	4. 巻 125
2. 論文標題 Multiple stroke positive cloud to ground lightning observed by the FALMA in winter thunderstorms in Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 e2020JD033039
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JD033039	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Huang, H., Wang, D., Wu, T., & Takagi, N.	4. 巻 39
2. 論文標題 Fine progression features of return stroke luminosity at the bottom of rocket-triggered lightning channels	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Atmospheric Electricity	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/jae.39.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計49件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 T. Wu, D. Wang, N. Takagi
2. 発表標題 New FALMA Observations Reveal Systematic Differences between Lightning Discharges in Winter and Summer in Hokuriku, Japan
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2023. San Francisco, USA (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 J. Yang, D. Wang, H. Huang, T. Wu, N. Takagi, K. Yamamoto
2. 発表標題 A Strong Positive CG flash That Was Simultaneously Recorded by Multiple Observation Systems
3. 学会等名 APL 2023. Langkawi, Malaysia (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 王道洪, ウ ティン , 角 亮佑
2. 発表標題 北陸冬季落雷特性の陸海別の比較検討
3. 学会等名 令和5年度電気学会電力・エネルギー部門大会. 愛知工業大学, 豊田
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 王道洪
2. 発表標題 北陸における冬季雷観測の近況と展望
3. 学会等名 日本大気電気学会第101回研究発表会. 電気通信大学, 東京 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Junchen Yang, Daohong Wang, Haitao Huang, Ting Wu, Nobuyuki Takaki, Kazuo Yamamoto
2. 発表標題 Performance and validation of an interferometer-type 3D lightning mapping array
3. 学会等名 日本大気電気学会第101回研究発表会. 電気通信大学, 東京
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 丸山雅人, 王道洪, 柘田俊久, 長尾篤, 池田高志, 上田稔, 高田尚弥, 大橋秀樹, 黄海涛, ウ ティン, 高木伸之
2. 発表標題 ドローンからの導線投下による人工誘雷
3. 学会等名 日本大気電気学会第101回研究発表会. 電気通信大学, 東京
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 ウティン, 王道洪, 高木伸之
2. 発表標題 正極性帰還雷撃の強さについて
3. 学会等名 日本大気電気学会第101回研究発表会. 電気通信大学, 東京
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本健太郎, ウティン, 王道洪, 高木伸之, 山本 和男
2. 発表標題 風車に流れる電流と関連雷放電の3Dマッピング結果との比較
3. 学会等名 令和5年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高田尚弥, 王道洪, ウティン, 高木伸之, 山本和男
2. 発表標題 FALMAとDALMAによる自発型上向き負極性落雷の観測
3. 学会等名 令和5年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大橋秀樹, ウティン, 王道洪, 高木伸之
2. 発表標題 冬季自然落雷の光学観測
3. 学会等名 令和5年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤歩, ウティン, 王道洪, 高木伸之
2. 発表標題 冬季強帰還雷撃をもたらす雷雲の偏波レーダーエコーの特徴
3. 学会等名 令和5年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川口拓真, ウティン, 王道洪
2. 発表標題 冬季強帰還雷撃の予測可能性について
3. 学会等名 令和5年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ting Wu, Daohong Wang, Haitao Huang, Nobuyuki Takagi
2. 発表標題 Strongest negative return strokes in winter produce special LF waveforms
3. 学会等名 日本大気電気学会第100回研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Haitao Huang, Daohong Wang, Ting Wu, Nobuyuki Takagi
2. 発表標題 An investigation on the correlation between the velocity and electrical current of upward leaders in upward lightning
3. 学会等名 日本大気電気学会第100回研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木遥士, ウティン, 王道洪, 高木伸之
2. 発表標題 FALMA による冬季落雷の予知の可能性について
3. 学会等名 日本大気電気学会第100回研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 遠島賢人, ウティン, 王道洪, 高木伸之
2. 発表標題 冬季負極性落雷の開始に伴う電界変化波形について
3. 学会等名 日本大気電気学会第100回研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩瀬雄大, ウティン, 王道洪, 高木伸之
2. 発表標題 正極性帰還雷撃の直前に発生した電界変化パルスに関する研究
3. 学会等名 日本大気電気学会第100回研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 角亮佑, ウティン, 王道洪, 高木伸之
2. 発表標題 FALMA の観測データに基づく冬季落雷の基礎特性の解析
3. 学会等名 日本大気電気学会第100回研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Junchen Yang
2. 発表標題 Detection of Upward Lightning by Using an Interferometer Type of Lightning Mapping Array
3. 学会等名 電気学会東海支部研究フォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小笠原峻祐
2. 発表標題 冬季落雷の最終雷撃過程に関する研究
3. 学会等名 電気学会東海支部研究フォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 丸山雅人, 上田稔, 黄海涛, ウティン, 王道洪, 高木伸之, 栞田俊久, 長尾篤, 池田高志
2. 発表標題 ドローンを利用した人工誘雷実験
3. 学会等名 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 相良勇希, ウティン, 王道洪, 高木伸之
2. 発表標題 冬季上向き負極性落雷のトリガー機構
3. 学会等名 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大島佑太, Ting Wu, Daohong Wang, 高木伸之
2. 発表標題 冬季強帰還雷撃をもたらす雷雲の特徴に関する研究
3. 学会等名 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Haitao Huang, Daohong Wang, Ting Wu, Nobuyuki Takagi
2. 発表標題 Correlation between the velocity and electrical current of upward lightning leaders
3. 学会等名 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Junchen Yang, Daohong Wang, Haitao Huang, Ting Wu, Nobuyuki Takagi, Kazuo Yamamoto
2. 発表標題 Detection of Upward Lightning by Using an Interferometer Type of Lightning Mapping Array
3. 学会等名 令和4年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Daohong Wang, Ting Wu, Masaki Urada, Nobuyuki Takagi
2. 発表標題 Return Strokes with Abnormal Electric Field Change Waveforms
3. 学会等名 ICLP-SIPDA 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Dongdong Shi, Daohong Wang, Ting Wu, Nobuyuki Takagi
2. 発表標題 A Study on the First Return Stroke in a Thunderstorm Cell
3. 学会等名 ICLP-SIPDA 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Haitao Huang, Daohong Wang, Ting Wu, Nobuyuki Takagi
2. 発表標題 An Interesting Discharge Progression Mode Observed in a Multi Branched Upward Lightning
3. 学会等名 ICLP-SIPDA 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Haitao Huang, Daohong Wang, Ting Wu, Nobuyuki Takagi
2. 発表標題 Simultaneous Observations of a Winter Lightning Flash in Japan
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木暹士, 高木伸之, 王道洪, ウティン
2. 発表標題 FALMA による冬季落雷の予知の可能性について
3. 学会等名 令和3年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 遠島賢人, 高木伸之, 王道洪, ウティン
2. 発表標題 冬季負極性落雷の開始に伴う電界変化波形について
3. 学会等名 令和3年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩瀬雄大, 高木伸之, 王道洪, ウティン
2. 発表標題 正極性帰還雷撃の直前に発生した電界変化パルスに関する研究
3. 学会等名 令和3年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 角亮佑, 高木伸之, 王道洪, ウティン
2. 発表標題 雷雲別における日本冬季落雷の基礎的な特性
3. 学会等名 令和3年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武田拓真, 高木伸之, 王道洪, ウティン
2. 発表標題 雲放電内のリコイルリーダ放電の特徴
3. 学会等名 日本大気電気学会第99回発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瓜生光, 高木伸之, 王道洪, ウティン
2. 発表標題 レーダーエコーを統合した 3D 雷放電現象の可視化
3. 学会等名 日本大気電気学会第99回発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 飯塚智也, 高木伸之, 王道洪, ウティン
2. 発表標題 VHF と LF 帯域別の PB の比較検討
3. 学会等名 日本大気電気学会第99回発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村岡首, 高木伸之, 王道洪, ウティン
2. 発表標題 2017 年 8 月22日に東海地方で発生したシピアストームの特性
3. 学会等名 日本大気電気学会第99回発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 馬場翔也, 高木伸之, 王道洪, ウティン
2. 発表標題 Large Bipolar Event の特性とメカニズムの解明について
3. 学会等名 日本大気電気学会第99回発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ウティン, 王道洪, 高木伸之
2. 発表標題 Negative lightning strokes in winter with extremely short preceding discharges
3. 学会等名 日本大気電気学会第99回発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Haitao Huang, Daohong Wang, Ting Wu, Nobuyuki Takagi
2. 発表標題 An Upward Lightning Observed Simultaneously by Multiple Equipment
3. 学会等名 日本大気電気学会第99回発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Huang, Haitao; Wang, Daohong; Wu, Ting; Takagi, Nobuyuki
2. 発表標題 High Speed Optical Observations of an Interesting Multi Branched Upward Lightning
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ting Wu, Daohong Wang, Nobuyuki Takagi
2. 発表標題 Positive cloud-to-ground lightning in winter observed by the FALMA
3. 学会等名 日本大気電気学会第98回発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 王道洪, Dong Zheng, ウ・ティン, 高木伸之
2. 発表標題 冬季正極性落雷の電荷構造と強弱について
3. 学会等名 日本大気電気学会第98回発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Haitao Huang, Daohong Wang, Ting Wu, Nobuyuki Takagi
2. 発表標題 Fine features of dart leader-return stroke transition process
3. 学会等名 日本大気電気学会第98回発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Dongdong Shi, Daohong Wang, Ting Wu, Nobuyuki Takagi
2. 発表標題 Characteristics of pulses in the bi-level channels of the intra-cloud lightning flashes
3. 学会等名 日本大気電気学会第98回発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 瓜生光, 高木伸之, 王道洪, ウティン
2. 発表標題 レーダーエコーを統合した 3D 雷放電現象の可視化
3. 学会等名 令和2年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯塚智也, 高木伸之, 王道洪, ウティン
2. 発表標題 VHF と LF 帯域別の PB の比較検討
3. 学会等名 令和2年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村岡音, 高木伸之, 王道洪, ウティン
2. 発表標題 2017年8月22日に東海地方で発生したシビアストームの特性
3. 学会等名 令和2年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 馬場翔也, 高木伸之, 王道洪, ウティン
2. 発表標題 Large Bipolar Event の特性とメカニズムの解明について
3. 学会等名 令和2年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

王・ウ研究室 <a href="https://www1.gifu-u.ac.jp/~lrg/index.html">https://www1.gifu-u.ac.jp/~lrg/index.html</a>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	王 道洪  (WANG Daohong)  (20273120)	岐阜大学・工学部・教授    (13701)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	ウ ティン  (WU Ting)  (50789774)	岐阜大学・工学部・准教授     (13701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関