発雷と雨水に着目した都市型局地的豪雨をもたらす積乱雲の探求

女子聖学院中学高等学校 藤原 博伸

1. はじめに

本研究の目的は、理科の物理・化学・地学の3分野の基礎的な知識を組み合わせることで、極端気象による都市型局地的豪雨(以下:局地的豪雨)の原因を探求することである。局地的豪雨 を研究課題とした理由は、直近10年間の気象庁の観測結果によるとその発生数が全国平均で約 3割程度増加しており、一度発生すると都市に甚大な被害をもたらしているためである。しかも 局地的豪雨に関してはその原因も明らかになっていない。気象場の研究は生徒たちの身近にある SDGsの目標13「気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を考える」に関連した課題研 究の一つとしても最適なテーマである。また、本テーマは課題研究を通じて複合的観点からの思 考力を養う上でも有意義なものであり、2022年度から開始される高等学校学習指導要領に基づ く「総合的な探求時間」に於いても、教科や科目等の枠を超えて学習できる課題にもなり得る。

また、本テーマでは課題研究を通じて、マイコンを利用した自動分割型雨水採水装置の開発を 行うことでプログラミングの方法やモータ、LED ライト、RTC など各種デバイスの利用の仕方を 学習する。また、簡易分析器(HORIBA_LAQUAtwin シリーズ)を用いて、分割して採取された雨 水の水素イオン濃度、電気伝導度、ナトリウムイオン濃度や硝酸イオン濃度などの化学的分析を 行い、雨水が海洋由来のものか人為由来のものかについて判断する。また、大学や専門機関の協 力により X-band multi-parameter radarの echo data(以下:レーダーデータ)を利用し、局 所的豪雨地域における積乱雲(以下:雷雲セル)の移動や発達の状況を俯瞰しつつ、学習した知 識を基に雷雲セル内部の凝結核(CCN)の生成や、氷晶粒子の衝突による大気電気的な現象を考 察する。特にレーダーデータ解析では、公開されている DIAS(データ統合・解析システム)か ら得られるデータと雷データとを本研究で提示する条件で統計処理することで、雷雲セルの移動 や発達の状況を可視化し、雷雲セル内部の電荷の偏りについて考察する。ただし、生徒が自動観 測した雷データでは、発雷時刻と位置の十分な精度を得ることができないため、フランクリン・ ジャパン(株)が運用する JLDN (Japanese Lightning Detection Network)のデータを利用した。

2. 雷雲セルの化学的分析・結果と討論

(1) 都市の温暖化と局地的豪雨の関係

前述のように、都市温暖化にも起因していると考えられる局地的豪雨の発生機構は明瞭になっ ていない。先行研究では、都心部(新宿)で都市型豪雨の観測の結果、都市型豪雨には酸性物質 濃度が高く硫酸アンモニウムおよび硝酸アンモニウムのような二次生成無機粒子が豪雨生成に深 く関与する凝結核の生成原因になりうるとともに、海塩粒子が巨大雲凝結核(G-CCN)として関 与することが知られている¹⁾。このような、局地的豪雨の全容解明には、雨水分析の他に降水を もたらす雷雲セルを追跡する必要がある。局地的豪雨の全容解明には、時間ごとの雨量変化、化

学成分の変化、雷雲セルの位置および移動状況を 総合的に解析することが必要である。

これを実現するには自動分割型雨水採水装置²⁾ を設置し、雨水を降り始めから自動分割採水する 必要がある。本研究では、作成が容易な PIC マイ コン制御による装置を高校の物理の課題研究とし て新規作成し、採水した雨水の化学的分析結果よ り、局地的豪雨の雨水成分について調査する。



雷雲の発生メカニズム¹⁾ 図1

(2) 分割型自動雨水採水装置の作成

本装置の役割は、局地的豪雨の雨水を一定量(現在は100 mL)で採水し、その採水時刻を記 録することである。これにより降り始めから雨水成分が雨量に伴いどのように変化するのかを調 べることができる。

雨水採水装置のブロック図と装置の設置状況を図2に、同じく模式図と内部の構成を図3に示す。 本装置は①雨水センサーで雨を感知すると②のマイコン制御により採水するための③蓋(モー ター)を開きロートに集められた雨水が④鹿威しに流れ込む、ここに一定量が溜ると鹿威しが作 動し雨水を⑤ロータリーテーブル上のサンプル瓶へと流し込むようになっており、採水した時刻 をSDカードに記録することができる。本装置を作成する過程で基礎的な電子回路やデバイスの



雨水採水装置のブロック図(上段)と装置 図3 雨水採水装置模式図(上段)と装置の内部 図2 の設置状況(下段)

構成(下段)

特徴、プログラミングの初歩を身に付けることができる。採水保存部はペルチェ素子により低温 に保たれ、回路中枢部は乾電池数本で作動するので、強風や落雷などによる商用電源の喪失の影 響を全く受けることがない。

採水された雨水は化学的手法により成分分析を行う。特に局地的豪雨や台風による豪雨、梅雨 前線などによる豪雨と通常降雨との顕著な違いは硝酸イオン濃度や硫酸イオン濃度に現れる。ま た、pHには雨水の採水場所の特徴が表れるので、その地域の地理的自然由来特性や人為的由来 特性についても考察することができる。しかしながら雨水の成分濃度は極めて薄く高校化学の実 験装置では分析が困難なイオンなどもあり、より詳しくは専門の研究室に分析を依頼することに した。詳しい解析には高大の連携が必要であり、高校生ができる基礎的な分析や理論を学習する ために外部講師(大学院の学生2名)を招聘し、物理の授業時間に具体的にご指導いただいた。

3. 授業風景

写真1は2人の院生(早大)をお招きして、研究に関しての心構えや、具体的なパックテスト (図4(2)(3))、「HORIBA_LAQUAtwinシリーズ」の使い方の解説と実演をしていただいた。また、 上述したように採水した雨水が都市型豪雨や台風、梅雨前線によって成分にいかなる違いがある かについて、それぞれの特徴についても解説していただいた。また、野外活動の際の注意点など についてもアドバイスをいただいた。

写真2は物理授業での雷観測の様子である。2021年7月14~15日にかけて、都内に局地的 豪雨がありその際に発生した落雷を観測するため、本校で開発したプレトリガー式の自動雷観測 器³⁾を設置完了したところである。この装置は、PICマイコンにより制御され、発雷のあった日 時と観測電圧を自動でSDカードに記録できる。

データ処理のプログラミングの練習に関しては、UNIX (OS) で利用できる初歩的なコマンドの 使い方に関するリモートソフト (Cygwin と GMT、Anaconda) で学習している。



写真1 須合俊貴さん、長谷川朝香さんに よる高大連携受業



写真2 高II物理 雷の観測(2021年7月15日)

4. 化学的分析の結果と討論

図4は生徒達による雨水成分の分析結果である。専門機関(大学)での解析も終了しており、

本校で行われた結果と少し異なるが、今回はあえて本校での分析結果(HORIBA_LAQUAtwin使用)のみを示した⁴⁾。

一般的に通常の雨の pH はおよそ 5.6 程度であることが知られており、酸性雨では二酸化炭素 以外の酸性物質が雨水に溶け込むことにより pH が 5.6 より低い値を示すことになる。しかし、 台風の場合は雷雨と比較しやや高めの値を示す傾向を示している(図4(4))。この理由は、雷



図4 雨水の成分分析 横軸はサンプル番号

雨とは異なり台風は広域的に強風を伴い様々な物質を巻き上げるため二酸化炭素や酸性の原因 となりうる粒子が雨に吸収され降雨したためと考えられる。また、数値が大きいほど電流が流 れやすいことを示す電気伝導度は、イオン成分の含有量の程度を示している(図4(5))。イオ ン成分の例として、自然(海水)起源のC1⁻やNa⁺、人為(化石燃料)起源のN0³⁻やS0^{4²}など が考えられる。雨水中には、H⁺,C1⁻,N0³,S0^{4²⁻},Na⁺,K⁺,Mg²⁺,Ca²⁺などが含まれており、本 来はすべてのイオンを分析することが必要であるが、装置の関係で本校での雨水の分析ではNa⁺ とN0³の2種類だけで、すべての成分を分析することはできない。今回分析したNa⁺は海水中に 多量に含まれるため、海水から生成した塩が雨水にどの程度含まれているかを判断するために用 いた。また、大気中の硝酸イオンは、そのほとんど全てが化石燃料起源であり、その燃焼で生じ たNOx が太陽光による「光化学反応」を経て生成されたものである。大気中の硝酸イオンの自然 発生量は極めて少なく、人為由来物質の指標とすることができる。自動車のエンジンからもNOx が排出されるので、自動車の交通量の多い都市部ではNO3 –の値が高くなることがある。9月11 日(雷雨)の分析では、Na⁺が計測できないほど低濃度であった(図4(6))。これは雷雲の接近 が観測地点に対し東京の北西から接近したためで、海水の影響を受けていないためと考えられる。

5. 雷雲セルと発雷との関係

一般に雷雲セルの上層部おいて霰(直径5 mm以下)の落下時の融解と、上昇時の再凍結によ り過冷却水滴の捕捉を繰り返し、雹(直径5 mm以上)に大きく成長すると考えられ、その際に 雲内に存在する氷晶と霰が上昇気流によって衝突し雲内に電荷が蓄積されると言われている。こ の過程では、高度が-10℃レベルより上位の層において霰は負に帯電し、下位の層において霰は 正に帯電する。質量の小さい氷晶は正電荷となり、より上位の層まで持ち上げられ、雷雲セルに は空間電荷の三極構造が形成されると考えられる⁵⁾。過冷却水滴が上昇気流によって-10℃層よ り上層に持ち上げられて生じた霰は雲内を対流し、その過程で周囲の過冷却水滴の供給により成 長して霰が巨大化していくと雹となる。雲放電(雲間放電)は雷雲内の電荷分離に伴い、雷雲セ ル内で対をなす正負電荷領域の間で起こる放電現象である。落雷(対地雷)は雷雲下部の電荷 と、大地に誘導された電荷との間の電界が強められることにより起こる⁶⁻⁷⁾。

6. 利用データ(①~③)及び解析方法(④)

①レーダーデータは関東・船橋の基地2局(国土交通省)

経験式⁸⁾を用いて雷雲内の霰・雹と雨を判別し、雷雲内に存在する霰・雹の体積を算出した。 また、両基地局のデュアルドップラー解析により雷雲内における上昇流を算出した⁹⁾。

② 雷のデータは JLDN によるものを使用した¹⁰⁾。

③解析日時は、次の2日である。

2020年8月13日14:00-18:10

埼玉県越谷市や東京都練馬区周辺で、強風を伴い降水量9 mm/10 min.の局地的豪雨が観測 された。

- また、この雷雲の特徴として雷雲セルの合体が確認された。
- 2019 年 5 月 04 日 15 : 00 − 16 : 00

東京都府中市や立川市、埼玉県所沢市などに激しい降雹をもたらした局地的豪雨が観測された。 また、この雷雲の特徴として雷雲セルの分裂が確認された。

④レーダーデータ観測時刻の±5 min. 間の雷データの位置(緯度・経度)の中央値を雷雲セルの中心とし、雷雲セルの解析円を半径10 kmとした。また、それらの中心の平均の位置をレーダーの解析中心とし、東西南北±20 kmを解析範囲とした。雷カタログの範囲も中心の平均の位置から半径30 kmとした。

7. 結果と考察

ここで、正極性落雷を+CG (positive cloud-to-ground lightning)、負極性落雷を-CG (negative cloud-to-ground lightning)、雲間放電IC (intra-cloud discharge)と示す。

(1) 2020 年 8 月 13 日の解析について

須合らは10分間の降水量が5.0 mm以上である場合局地的豪雨としている⁴⁾。本件研究でも局地的豪雨の条件は同じとした。図5(a)は落雷及びレーダーデータの解析範囲を、また色付きの小円は雷雲セルの解析半径10 kmを示しており、移動した雷雲セルの位置が描かれている。また、図5(b)はレーダーからの水平偏波が降水粒子により反射されたエコーの水平反射強度(Reflectivity [dBZ])を示す図上に、落雷の位置をプロットし破線円(赤・黒・茶)で示される3つの雷雲セルの融合を時系列で示したものである。しかし、図5(b)で示される雷雲セルの融合が、雷の増減や降雨にどのような影響を与えるのかについては現時点では不明であり、今後の課題である。図6は、レーダーデータの観測時刻の±5 min.(10 min.の間)の落雷に関する特徴を示したものであり、± CG の落雷数、ピーク電流値の合計、平均ピーク電流値及びレーダーデータによる水平反射強度及び上昇気流速度、アメダスによる降水量を示している。これによると降雨が始まると± CG 数が減少し、15:40には± CG 数が最小値となり、降雨が減少すると± CG 数が増加し始める(図6(a)(f))¹¹⁻¹²⁾。ピーク電流の合計は± CG 数に比例(図6(b))して



図5 (a)解析範囲 落雷解析範囲 赤円:半径 30 km,X-Band MP Radar 解析範囲 黒四角:40×40 km, 雷雲セル解析範囲を示すカラー円(半径10 km)。右端のカラーバーは、移動するカラー 円の地図上の時刻を示す。(b)X-Band MP Radar ▼:-CG, ▲:+CG ×:IC



図6 (a)10分間のカウント数 上段+CG 下段—CG (b)10分間のピーク電流の合計 (c)10分間の ピーク電流の平均 (d)各セルの中心点から半径500 m 高度15 kmの円筒部の水平反射強度 (e)上昇気流 5.0 m/s.以上 (f)雨量(埼玉県越谷市) (g)雨量(東京都練馬区)

おり、平均ピーク電流はほぼ一定(図6(c))であることが分かる。この時、レーダーデータに よる水平反射強度は20 dBm(図6(d))、上昇気流は5 m/s. 以下まで減少している(図6(e))。 その後落雷数は増加し16:00頃に±CG数は最大値に達するがその10分程度前に、降水量は一 時的に減少し、その時の上昇気流は5 m/sec.を超えている。その後、水平反射強度が減少し、 降水が増すにつれて±CG数は終息に向かっていることが分かる(図6(a)(g))。

(2) 2019年5月4日の解析について

2019 年 5 月 4 日の気象場は 15:00 ~ 15:30 ごろまで降雹を伴ったまましばらく停滞(図 7 (a)) し、15:40 頃から降雹を伴ったままの雷雲セルと、豪雨だけの雷雲セルの二つに分裂し始 め、降雹を伴った雷雲セルは北の方に向かい、豪雨のみの雷雲セルは南の方に向かった(図 7 (b))。レーダーデータの観測時刻から雷雲セルの相対移動距離を計算すると分裂直後の 5 min. 間に 20 km と極めて速い速度で移動していることが推定される(図 7 (b)下)。また、雷雲セル とレーダーデータの観測時刻から分裂前後での落雷セルの移動距離から移動速度を求めたものが 図 7 (c) である。これらから 15:05 ~ 15:35 の分裂前の速度は 10 m/s.前後であり、通常の移 動速度(13 m/s 程度)以下であった。ただし、分裂後の 15:40 以降の最高速度は北に向かう雷 雲セルでは 50 m/s.南に向かう雷雲セルでは 40 m/s. に達しており、これは猛烈な台風の最大風



図7 (a)分裂前 ○:解析セル(半径10km), ○:JLDNによる解析に利用した雷の範囲(半径 30km), □:レーダー解析範囲(40×40km), ◆:女子聖学院中学高等学校(JSG:N35.7414, E139.7518), ●:LCT1 利用した雷カタログの中心点(N35.6328, E139.4479) (b)分裂後 カ ラー円:解析セル(半径10km), □□:レーダー解析範囲,右下のグラフは同時刻の相対移動距 離, ●:LCT2 利用した雷カタログの中心点 (N35.78218,E139.45242), ●:LCT3 利用した 雷カタログの中心点 (N35.42278,E139.44308) (a)(b)共通 ●:-CG, ○:+CG, ×:IC (c) 雷雲セルの移動速度

速と同程度である。

図8は、この分裂前後の上昇気流速度を3Dで示したものである。南東斜め上空から俯瞰した 図8上、高度1 kmごとが図8下である。赤の点線が北方向に向かう雷雲セルを示し、緑の点線 が南方向に向かう雷雲セルを示している。この図は水平方向の速度ではなく鉛直方向の速度を示 しているが、もしも鉛直方向の速度の位置が分裂雷雲セル内で相対的に同じ位置にあると仮定す れば、分裂の際上空から南北に剥がれるように分離するのではなく、高度15 kmから地上近くま で割りばしを割るように同時に分離したと考えられる。この現象を起こした原因についてもまだ 解析途中で現時点では不明であり、今後の課題である。

図9は時系列でまとめたものである。図9(a)では-CGの数が夏季落雷数(-CG:+CG=10:1) とは全く異なった割合を示している。これは図9(b)の府中の降水量で示すように、すでに分 裂前の15:00には降雹が伴っており、降雹とともに負電荷が地上に落ちたためと考えられる。



図8 分裂前後の南北セルの移動図 上:上空から見た上昇気流 下:高度毎の上昇気流



図9 (a)分裂前の10min.の対地落雷数 (b)降水量(府中:JMA) (c)降水量(相模原中央:JMA) (d)北 に向かう雷雲セルの落雷数 (e)南に向かう雷雲セルの落雷数 (f)分裂前の雷雲セルの中心か ら半径500 m、地表から高度15 kmまでの円筒内の水平反射強度 (g)分裂後、北に向かう雷雲 セルの水平反射強度 (h)分裂後、南に向かう雷雲セルの水平反射強度 (i)分裂前の霰体積 (j)分裂後の北の霰体積 (k)分裂後の南の霰体積

雷雲セルの負電荷が減少したことによる +CG の増加がみられる。図8 で示しているように15: 40 ごろに一つの雷雲セルが南北の雷雲セルに分裂するが、図9(d)(e)とも降水量の減少とと もにわずかではあるが±CGの上昇がみられる。また、各雷雲セル中央から半径 500 m、地表か ら高度15 kmまでの円筒内の水平反射強度に関しては、分裂前(図16(f))の強度が二つに分 離したような特性を示している(図9(g)(h))。また霰体積に関しては、図9(i)の分裂前で は高度が0℃で2.6 km、-10℃で4.1 kmと低いにもかかわらず、120 km³以上と大きい霰体積 を示し降雹を伴っていることが確認できる。また、分裂後の北に向かった雷雲セル(図16(j)) でも-10℃で同様に120 km³以上と大きい霰体積を示しているのに対し、南に向かった雷雲セル では、降水量の減少と同時に-CG は増加(図9(c)(e))しているが、霰体積は30 km³以下と極 めて小さくなっており、降雹に至らなかったことが示されている(図9(k))。

8. 結論

(1) 雨水の分析について

分割型自動採水装置により採水時刻を正確に記録することができ、レーダーデータ時刻を参考 にして雷雲セルと採取された雨水サンプルの関係を明らかにすることができた。一方、簡単な分 析装置を使って、雨水成分が人為由来物質又は海洋由来物質のどちらの影響を強く受けたかを確 認できるようになっており、その経時的変化を雷雲セルの挙動と結びつけて論じることができる ようになった。

(2) 雷の統計処理を利用した大気電気的解析について

落雷位置の統計的処理から雷雲セルの追跡が可能となりその結果、局地的豪雨である降水・降 雹が始まると、雷雲セル中の電荷が地上に落ちることで負極性落雷が減少することが確認でき た。特に降雹を伴う場合はより 著であることも確認された。雷雲セルの分裂に関しても同様の 結果となった。

9. 謝辞

本研究は下中記念財団の2020年度研究助成により行われたものです。この場をお借りして深 くお礼申し上げます。また、本研究の遂行にあたりご指導、ご協力いただきました以下の方々に 心より感謝申し上げます。

- ・大河内 博 (早稲田大学 教授)
- ・鴨川 仁 (静岡県立大 助教)
- ・鈴木 智幸 (静岡県立大・研究員)
- ・稲崎 弘次 (音羽電機工業株式会社)
- ・須合 俊貴 (早稲田大学 創造理工学研究科 地球・環境資源理工学専攻)
- ・長谷川 朝香 (早稲田大学 地球・環境資源理工学)

【参考文献】

- Uchiyama R., H. Okochi, H. Ogata (2017), The impacts of air pollutants to the formation of "Urban-induced heavy rainfall (UHR)" in down town Tokyo, Japan., J. Geophys. Res.
- 藤原博伸,大河内博,須合俊貴,内山竜之介,中野孝教.鴨川仁 (2019),第60回大気環境 学会ポスター,P-134
- 3) 藤原博伸(2010), 自動雷観測器を用いた大気電場の研究 PIC マイコンによるプレトリガー を利用した雷追跡装置の開発,財団法人理工学振興会
- 4) 須合俊貴,藤原博伸,大河内博,内山竜之介,中野孝教,鴨川仁,荒井豊明(2020),大気 環境学会誌 第55巻第3号,都市型豪雨生成に及ぼす大気汚染物質の影響評価―新規開発 した分割型豪雨採取システムと地理情報システムの活用―
- 5) Takahashi T (1978), Riming electrification as a charge generation mechanism in thunderstorms, J. Atmos. Sci., Vol. 35, pp.1536-1548
- 6) 北川信一郎編著,大気電気学,東海大学出版会(1996)
- 7) 北川信一郎編著, 雷と雷雲の科学, 森北出版株式会社 (2001)
- Balakrishnan N., D.S. Zrnić. (1990), Estimation of Rain and Hail Rates in Mixed-Phase Precipitation, J. Atmos. Sci. 47, pp. 565-583.
- 9) Doviak R.J., D.S. Zrnić. (2006), Doppler Radar and Weather Observations, 2nd ed.; Dover Publications: New York, NY, USA, pp. 209-279, ISBN 10: 0486450600.
- 10) Matsui, M., K. Michishita, S. Kurihara, N. Honjo (2016), Discussion on Location Accuracy Improved by Propagation Delay Correction for Japanese Lightning Detection Network. Proc. of the 33rd ICLP) Estoril, Portugal, 25-30 Sep.
- 11)藤原博伸,大河内博,鴨川仁,鈴木智幸,林修吾(2020.01),2014年6月24日の降雹と
 非降雹セルの雷活動について,日本大気電気学会
- 12)藤原博伸,大河内博,鴨川仁,鈴木智幸,林修吾(2021.01),2017年7月18日の降雹と
 非降雹セルの雷活動について,日本大気電気学会



藤原 博伸 先生 (ふじわら ひろのぶ)

<略 歴>

1956年 秋田県生まれ
1975年 秋田県立本荘高等学校卒業
2000年 早稲田大学大学院 理工学研究科 物理及び応用物理専攻 修士課程終了
2003年 同大学院 研究科 博士後期(単位取得退学)
2021年 地球・環境資源理工学専攻 博士後期課程在学

<職 歴>

1979年 武蔵野中学高等学校 勤務1984年 女子聖学院中学高等学校 勤務

<受賞歴>

2014年 第一回 東京都私学財団賞 受賞 藤原博伸 小林秀子 受賞理由「防災教育への取り組みの研究」

<研究略歴>

1997年 東京都理化部門研究委員 及び 東京都私立学校中高協会理数専門委員

2019年 東海大学海洋学部個人研究員、東京学芸大学個人研究員

<研究費採択実績>

- 2007年 公益財団法人日産科学振興財団,理科/環境教育助成,大気中の電場の測定とインター ネットを利用したリアルタイム落雷予報システムの構築
- 2008 年 公益財団法人下中記念財団,下中科学研究助成,マイコンを用いた携帯式 AD ロガーの 作成
- 2009 年 財団法人武田科学振興財団,教育研究助成, PIC マイコンによるマルチ観測ロガーの開発
- 2010年 財団法人理工学振興会,教育研究助成,自動雷観測器を用いた大気電場の研究 PIC マ イコンによるプレトリガーを利用した雷追跡装置の開発
- 2011年 財団法人理工学振興会,教育研究助成,簡単なフィールドミルの作成と大気電場の観測
- 2012年 公益法人東京私学財団,学校研究助成,教科(物理)を生かした学校防災の取り組み の研究
- 2013年 公益法人東京私学財団,学校研究助成,女子校設備を利用した防災教育の一考察

- 2014年 公益法人東京私学財団,学校研究助成,女子校設備を利用した女性に優しい防災のあ り方の研究
- 2019年 財団法人武田科学振興財団,教育研究助成,局地的豪雨の発生原因の理解を深める学 習モデルの構築
- 2020年 公益財団法人下中記念財団,下中科学研究助成,発雷と雨水に着目した都市型局地的 豪雨をもたらす積乱雲の探求

<学術論文>

- 2004年 Terr. Atmos. Ocean. Sci.Atmospheric Field Variations before the March 31,2002 M6.8 Earthquake in Taiwan, M. Kamogawa, J. Y. Liu, H. Fujiwara, Y. J. Chuo, Y. B. Tsai, K. Hattori, T. Nagao, S. Uyeda, and Y. H. Ohtsuki
- 2004年 Geophys. Res. Lett. Atmospheric anomalies observed during earthquake occurrences, H. Fujiwara, M. Kamogawa, M. Ikeda, J. Y. Liu, H. Sakata, Y.I. Chen, H. Ofuruton, S. Muramatsu, Y.J. Chuo, and Y. H. Ohtsuki, AGU Atmospheric Electricity Science Edi-tor's choice.
- 2004年 Proc. Jpn. Acad., Development of newly designed VHF inter-ferometer system for observing earth-quake-related at-mospheric anomalies, Yamamoto, I., H. Fujiwara, M. Kamogawa, A. Iyono, V. Kroumov, and T. Azakami
- 2013年 J. Atmos. Elec-tricity, Measurement of the atmospheric electric field inside the nonthun-derstorm clouds on 2012 BEXUS campaign, Tsurudome, C., A. H. Flaquiere, K. Mochizuki, Y. L. Teuff, R. Sakai, J. Tuffenis, Y. Suzuki, Dan Cohen, H. Fujiwara, K. Inazaki, S. Yahi, M. Nakamura and M. Kamogawa
- 2015年 Geophys. Res. Lett., Diurnal variation of atmospheric electric field at the summit of Mount Fuji, Japan, distinctly different from the Carnegie curve in the summertime, Kamogawa, M., Y. Suzuki, R. Sakai, H. Fujiwara, T. Torii, Y. Kakinami, Y. Watanabe, R. Sato, S. Hash-imoto, H. Okochi, K. Miura, H. Yasuda, Y. Orihara, and T. Suzuki

<学会発表等・多数のため直近のみ記載>

https://staff.aist.go.jp/miyagi.iso14000/nkysdb/15/2c/eaf20b934bc5fb41d518c75a6db65ad1 7df8.html

- 2014年6月24日の降雹と非降雹セルの雷活動について,第98回日本大気電気学会,オーラル, 発表プログム61,2020.01
- 2) 2017 年 7 月 18 日の降雹を伴う都市型局地的豪雨の大気の状態と雷活動について,第 99 回日本大気電気学会,オーラル,発表プログラム 50,2021.01

<勤務校>

女子聖学院中学高等学校 〒114-8574 東京都北区中里 3-12-2 電話 03-3917-2277