

令和元年6月27日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01273

研究課題名(和文) 二重偏波レーダーによる豪雨の高精度直前予測手法の開発

研究課題名(英文) Development of high-precision prediction method of heavy rainfall with dual polarization radar

研究代表者

足立 アホロ (ADACHI, Ahoro)

気象庁気象研究所・気象衛星・観測システム研究部・主任研究官

研究者番号：80354520

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：近年多発している「局地的大雨」は数値モデルによる予測が困難なため、事前に気象レーダーで捉えることが重要である。しかし気象レーダーで推定される降水強度は誤差が100%にも及ぶことがある。そこで近年、各国は二重偏波レーダーを導入し高精度化を図っている。具体的には二重偏波レーダーで観測された偏波パラメータに経験式を適用して降水強度を推定している。しかし厳密には経験式は気温や降水の型、時間、場所に応じて変える必要があり、実質不可能である。そこで本研究では経験式を用いずに、観測された偏波パラメータだけから理論的に降水強度を推定するという、従来は困難とされていた手法を世界で初めて開発することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「局地的豪雨」による被害を減らすには積雲が発達する前にレーダーで捉える必要がある。しかし従来の気象レーダーによる降水強度の推定精度は必ずしも十分ではない(最大誤差100%程度)。近年米国(2013-)や日本(2016-)を始め世界各国で気象用二重偏波レーダーが導入されつつあり、観測される偏波パラメータから経験式を用いて降水強度を従来より高い精度(誤差30%程度)で推定している。しかし厳密にはこの経験式は場所や時間などにより変更する必要がある。そこで本研究では経験式を用いずに、観測された偏波パラメータだけから理論的に降水強度を推定するという、従来は困難とされていた手法を世界で初めて開発した。

研究成果の概要(英文)：Since prediction of local heavy rainfalls, which occur frequently in recent years is difficult even for advanced numerical models, it is important to observe heavy rain with weather radar in advance. However, the rainfall estimated from the conventional radar may have an error of up to 100% in some conditions. Therefore, many countries have been introducing dual polarization radar to achieve high accuracy in recent years. Specifically, empirical formulas are applied to the polarization parameters observed by polarimetric radar to estimate rainfall. However, strictly speaking, the empirical formula needs to be modified according to the temperature, type of precipitation, time, and location, which is virtually impossible. Thus, in this study, we succeeded in developing a method that has been considered difficult, in which the rainfall is theoretically estimated only from the observed polarimetric parameters without using any empirical formulas for the first time in the world.

研究分野：レーダー気象学

キーワード：二重偏波レーダー 降水の粒径分布推定 降水強度推定

## 1. 研究開始当初の背景

近年、「局所的な大雨」による災害が頻発している。これは積雲が急激に発達し大雨を降らせるもので、数値モデルによる予測がまだ困難なため、事前に気象レーダーの観測で捉えることが重要である。豪雨を発生させる積雲を探知するには、豪雨の発生直前に積雲内部で形成される雨の降水強度をレーダーで高精度に推定することが一つの鍵となる。通常気象レーダーはアンテナから電波を放射し、雨粒に反射され戻ってきた信号の強さから降水強度を推定している。しかしこの方法は誤差が **100%** にも及ぶことがある。これは降水強度が単位体積の大気中の雨粒の大きさとその数(粒径分布)に依存するため、受信信号の強さだけでは精度よく推定することができないためである。またアンテナから放射された電波が、伝播途中の雨粒に吸収され減衰してしまうことの影響も大きい。そこで気象庁など各国では、アメダスのような雨量計を用いてレーダーによる降水強度の推定値の補正を行っている。しかし風があるとレーダーで観測した雨が必ずしもその真下の雨量計で観測されず正しく補正できないこと、また雨量計のない海上では補正できないなどの問題が指摘されている。このため雨滴の粒径分布をレーダーから推定し、これから高精度に降水強度を推定する手法の開発が望まれていた。

近年、二重偏波レーダーと呼ばれる新しい気象レーダーが米国(2013-)や日本(2016-)を始め世界各国で導入されつつある。この種のレーダーは従来の受信強度に加えて偏波パラメータと呼ばれるデータを観測することが可能となる。偏波パラメータは雨滴の粒径分布の情報を含むため、粒径分布や降水強度を推定する手法の開発が各国で進められている。その多くは、地上付近の雨をレーダーで観測し、その値と地上観測データから事前に作成した経験式を用いて粒径分布や降水強度を推定している。しかしこの経験式は気温や降水の型(層状性・対流性)などで変化することが知られており、季節や時間・場所ごとに経験式を求めるのは不可能である。その一方、経験式を用いずにレーダーで観測された偏波パラメータだけから、理論的に粒径分布を推定するのは極めて困難なためこれまで提案はされていない。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、二重偏波レーダーの観測から雲内部の雨滴サイズ(粒径分布)と降水強度の鉛直分布を推定する手法を開発して、豪雨をもたらす可能性のある積雲を事前に探知し、豪雨の開始・終了時刻と降水強度を高精度に直前に予測する技術を開発することである。この目的の達成の鍵となるのは、二重偏波レーダーで観測した偏波パラメータから粒径分布を抽出する手法の開発である。一般に雨滴の落下速度は直径の関数なので、粒径分布がわかれば降水強度は一意に決まる。加えて雨の粒径分布が分かれば電波の経路途中の減衰量もわかるのでその補正も可能となる。その一方、今回のように雲内部の粒径分布の鉛直分布を調べる場合には、電波の減衰に加えてレーダーアンテナの仰角などの偏波パラメータへの影響を考慮する必要がある。さらに本研究や気象庁で用いている波長 **5 cm** 程度の電波を用いるレーダーの観測では、他の波長に比べて偏波パラメータに対する雨滴の「温度」の影響が大きいことが予想され、その補正は従来の経験式による方法では不可能である。そこで今回はこれまで困難とされてきた偏波パラメータだけから理論的に粒径分布を推定する手法の開発を行なうこととした。

## 3. 研究の方法

本研究の核となるのは二重偏波レーダーで観測する偏波パラメータである。偏波パラメータは粒子の大きさなどの指標になりうるが、反面、降雨による電波の減衰の影響を受けやすく、特に強雨のときには精度が低下するものが多い。そこで本研究チームがこれまでに開発したレーダーシミュレーターを用いて偏波パラメータから理論的に雨滴の粒径分布を抽出し、これから減衰係数を物理的に推定し、減衰を補正する手法を開発する。このシミュレーターは回転楕円体形状の雨滴による電波の散乱が理論的に計算できるなど、降水の状況を二重偏波レーダーで観測する際の偏波パラメータを厳密に計算できる世界でも有数なものである。そこでこれをさらに改良し、電波の減衰の影響を考慮できるように改良を行う。

シミュレーションの結果に基づき、減衰補正を以下のように行う。まずレーダーに最も近い1番目の降雨域から反射された電波は途中経路に降雨がないため減衰はないとみなすことができる。そこでこの領域の粒径分布をまず推定する。次にこの領域の雨による減衰量を粒径分布から計算し、その値を用いて2番目の領域の受信信号を補正した上で2番目の領域の粒径分布を推定する。このようにして順次粒径分布と減衰量を推定していく。この方法は forward モデルと呼ばれるもので、後方ほど誤差の影響が大きくなることが知られている。そこで計算の精度を確認するため、推定した粒径分布から偏波間位相差 ( $\delta p$ ) と呼ばれる偏波パラメータの一つを別に計算する。この  $\delta p$  は位相量なので減衰の影響を受けない。またレーダーの観測からも直接得られるので、計算値と観測値を比較し両者が一致することを確認して精度を担保する。

今回の研究の目的のためには先に述べたような電波の減衰の補正だけでなく、他の影響も考慮し補正する必要がある。まず通常のレーダー観測では地上付近の降水強度を推定するためにアンテナの仰角を抑えて観測することが多い。しかし今回は積雲内の粒径分布や降水強度の鉛直分布を推定するため、仰角を変えて積雲の立体的な観測を行う必要がある。一方、偏波パラメータは仰角によって変化するため、粒径分布を推定する際には仰角による効果も補正する必要がある。その効果についてはシミュレーターで表現している雨滴の角度をアンテナ仰角に対

応して変化させその補正係数を計算しておくことで対応する。また一般に雨滴の回転軸は平均すると重力方向に一致するが、乱流などがあると重力方向を中心に軸の角度は変化する（標準偏差で10度程度）。これらの軸のブレについてもシミュレーターでは考慮する。さらに今回使用する波長5cm程度の電波では偏波パラメータは温度によっても大きく変化する。一方気温は高度とともに減少するため粒径分布の鉛直分布を推定する際には気温の影響も大きい。そこでシミュレーターには雨滴の温度も考慮してシミュレーションを行う。

次に本提案の手法を気象研究所の二重偏波レーダーで得られた観測データに用いて粒径分布や降水強度を推定し、これを地上に設置したディストロメーターなどと比較してアルゴリズムの精度を評価する。ディストロメーターはレーザー光線をシート状に出しシートを横切る雨粒の影のサイズと時間を計測することで各雨粒の大きさと落下速度を計測する装置である。これにより雨滴の粒径分布を測定できる。さらに粒径分布から降水強度を計算することができる。降水強度を推定できる点でディストロメーターは雨量計と似ているが、時間分解能が雨量計の10分に比べて1分と格段に早いこと、また粒径分布が測定できるという点で異なる。特に強い雨は持続時間が短い高い時間分解能が必須となる。ただし装置の仕組み上、ディストロメーターは強風時には精度が低下するので、これを担保するために重量式雨量計（時間分解能1分）を併設し精度の確認に用いた。これらの装置は二重偏波レーダーがある気象研究所から北西に約30km離れた関宿と60km離れた熊谷地方気象台に設置しアルゴリズムの検証に用いた。

#### 4. 研究成果

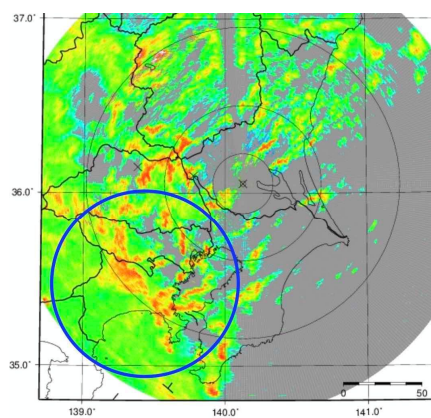
開発したアルゴリズムの詳細については論文(Adachi et al. 2015)に譲り、ここではアルゴリズムを実際のデータに用いた主な成果を示す。第1図は2011年の台風21号の際に気象研究所の二重偏波レーダーで観測された受信信号強度（レーダー反射因子）の分布である。この時の台風の中心は静岡県沖付近だと推定されるが、台風接近に伴い関東地方では南西部に台風に伴う強いエコーが観測されている。しかし強い雨域があるということは電波の減衰がそれだけ大きいこと本来はより強いエコーであったことが推定される。

第2図に今回開発した方法で電波減衰を補正し、推定した粒径分布から計算したレーダー反射因子（受信強度）の分布を示す。減衰補正により全体に推定された反射因子が増加しているが、特に南西部でその効果が顕著となっている。この減衰補正の精度については後に検証結果を示すが20-30dB以上補正されている箇所もある。

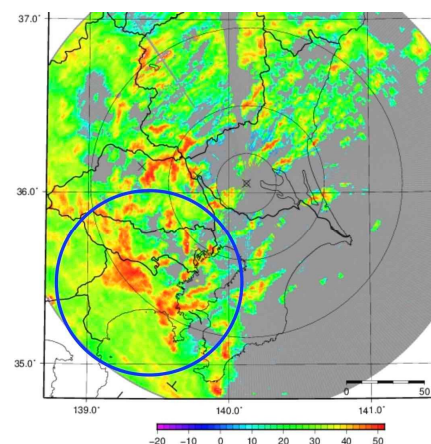
第3図左はこの時の反射因子（受信信号強度）から従来の手法を用いて推定した降水強度の分布である。反射因子の強いところで比較的強い雨（60mm/h程度）の雨が見られるが、電波の減衰の補正をしていないため、実際にはより多くの雨が降っていると考えられる。第3図右に今回の手法で粒径分布を推定し減衰補正をした後に計算で求めた降水強度の分布を示す。第3図右に比べて明らかに降水強度が増加（最大130mm/h程度：誤差100%以上）している。この補正精度の検証を地上観測と比較して行なった。

第3図右の円で示す場所に熊谷気象台が位置しており、その観測露場にディストロメーターや重量式雨量計を設置した。この台風が関東を通過した際に二重偏波レーダーから推定された値と比較した結果が第4図と第5図である。第4図は熊谷地方気象台における地上で観測された降水強度とレーダーで推定された降水強度の比較結果を示す。赤色が反射因子だけから降水強度を推定する従来の手法(R(Z))による推定値である。明らかに過小評価（70%以上）となっている。この手法は現在も気象庁で使われているが、アメダスなどの地上観測データを用いて補正しているため実際には精度はこれより高いと考えられるが、地上観測のない海上ではこの程度の精度だと考えられる。

一方、緑色は偏波パラメータの一つである比偏波間位相差(Kdp)から経験式を用いて推定した降水強度R(Kdp)である。この手法は国交省のXRAINをはじめ世界各国で用いられている手法の一つである。過小評価の経過がやや見られ



第1図 観測した反射因子 Z [dBZ] . (2011/09/21 12:08:41 JST)



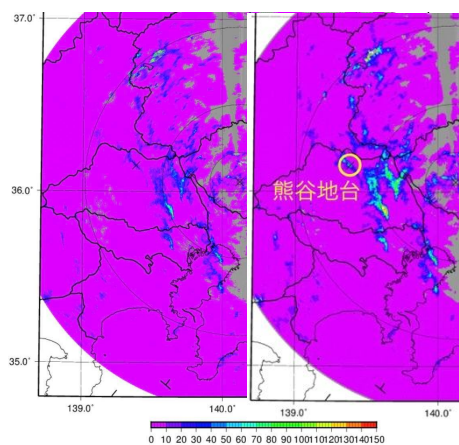
第2図 減衰補正後の反射因子 Z [dBZ] . (2011/09/21 12:08:41 JST)

る(7%程度)が、反射因子だけから推定した降水強度よりも精度は高い。ただしこの手法は粒径分布が得られないためどのような雨粒で構成されているかの情報は得ることはできない。青色は今回の手法で推定した降水強度R(DSD)でほぼ地上観測と一致(誤差2%程度)している。このように今回開発した手法の降水強度の推定精度が高いことは他の事例でも確認することができた(Adachi et al. 2015 参照)。

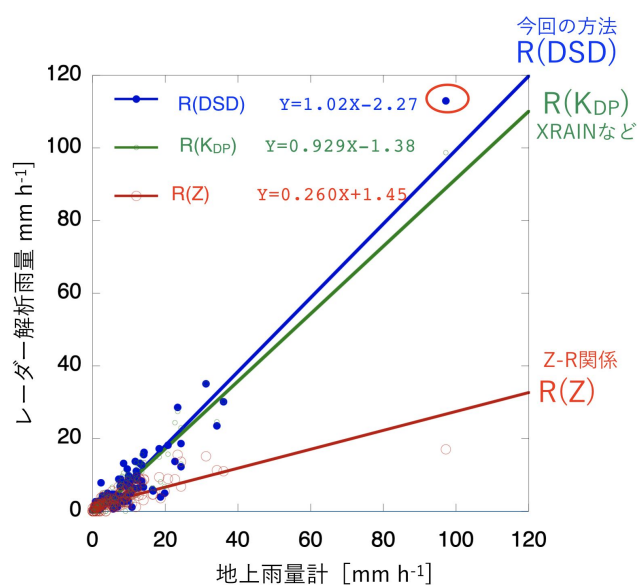
今回の手法の精度が高いことの一因は、粒径分布を正しく推定することができることにある。第5図は地上で約100[mm/h]の強い降水強度が観測された時の粒径分布の比較で第4図の楕円内のデータに対応する。横軸が雨滴の直径、縦軸が各直径の雨滴の単位体積あたりの個数である。この時地上のディストロメータで観測された粒径分布が赤線なのに対して、今回の手法で二重偏波レーダーのデータから推定された粒径分布は青線で表示されている。ここで論文として公表した際には最適値の一部を手動で決定する必要があったが(青破線)その後全て自動化し(青色実線)その結果推定された粒径分布も地上観測値により近くなった。一方、従来の反射因子だけから降水強度を推定する手法について様々な仮定(Z-R関係、M-P分布)により求めた粒径分布が黒色の破線である。実際の観測値(赤色)からの乖離が大きい。

これらの違いは粒径分布から計算される降水に関するパラメータにも反映される。第5図の表に示すように、地上で観測された粒径分布から計算すると反射因子(Z[dBZ])は52dBZ程度となる。しかしレーダーで実際に観測された反射因子は42.5[dBZ]である。これは経路途中の強い降雨により電波が減衰したためだと考えられる。その一方、粒径分布から電波の減衰量を推定しそれを補正すると51-53[dBZ]とほぼ地上で観測された反射因子(52[dBZ])と同じ値が得られている。これらの補正前後の差が第1図と第2図の差であり、第2図で行われた補正が適正であったことを示している。また表に示すように降水強度では、地上観測が95[mm/h]であるのに対し、レーダーから推定された粒径分布から計算した降水強度は98-107[mm/h]とほぼ同程度(2-10%の誤差)であるのに対し、従来の手法では17[mm/h]以下と過小評価(-80%以上)となっている。一方平均直径は地上観測が2.2[mm]なのに対してレーダーからの推定値は1.8-2.6[mm]とやや誤差が大きくなっている。この原因の一つは、粒径分布のパラメータの一つである形状パラメータ( $\mu$ )の誤差がやや大きいことがある。

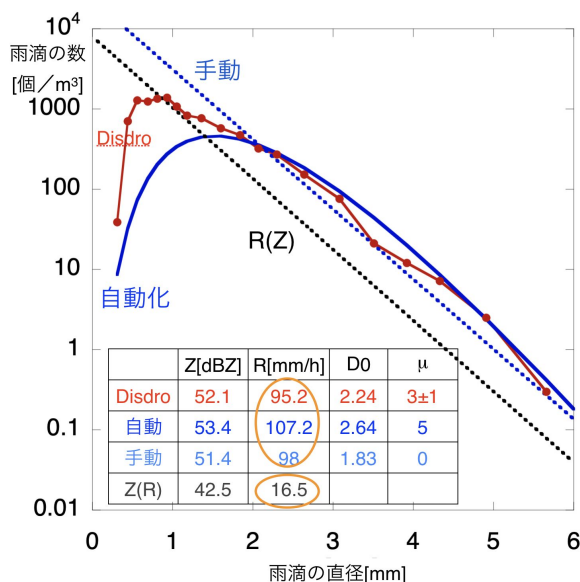
一般に粒径分布は粒子密度( $N_0$ )、平均直径( $D_0$ )、形状パラメータ( $\mu$ )で記述される。このうち形状パラメータは粒径分布全体の形を決めるパラメータであるが、ほかのパラメータに比べて推定するのが難しいとされている。今回も $N_0$ や $D_0$ はレーダーからの各距離・方位の地点ごとに推定したが、 $\mu$ はレーダーからの視線方向の平均値しか推定できず、各地点における値は推定できていない。平均値が正しいことは検証した(Adachi et al. 2015)が、しかしそれは必ずしも各地点での値を反映しているわけではない。これは今後の研究の課題である。



第3図 (左) 反射因子から推定した降水強度、(右) 粒径分布から推定した降水強度 R[mm/h] (2011/09/21 12:48:41 JST)



第4図 地上観測とレーダー推定値の降水強度の比較 (2011/09/21)



第5図 地上観測とレーダー推定値の雨滴粒径分布の比較の例 (2011/09/21)

このような課題はあるものの粒径分布をある程度の精度で推定することができるようになったため、ドイツ気象局の二重偏波レーダーのデータにこのアルゴリズムを適用し、粒径分布を含む様々な観測値から推定した液水量  $q$  (単位体積あたりの大気中の雨水の重さ) を数値モデル(WRF Var)に同化してその感度実験を行なった (Kawabata et al. 2018a, b)。

また今回の手法は雨を対象として減衰補正や粒径分布の推定を行なっている。しかし実際の気象では雨だけでなく、あられなどの氷粒子が混在する場合がある。そのような時には今回開発した手法は直接的には使えない。しかし固体降水を検出するアルゴリズムを開発し、氷粒子が高度の低下とともに融解し、冷気層で再び凍結する様子を解析した(Nagumo et al. 2019)。

今回の研究では減衰補正に加えてアンテナ仰角の補正など当初の目的であった降水強度の鉛直分布を推定する手法はほぼ開発できた。しかし同時に気象庁などが運用する波長 5cm 程度の電波を用いるレーダーでは温度の補正も重要であることも判明した。当初は地上観測や数値モデル、ラジオゾンデなどから推定した温度の鉛直分布を使用する予定であったが、その誤差が粒径分布や降水強度の推定精度に大きく影響することがわかった。そこで大気の気温の鉛直分布を電波と音波で観測する手法について別途研究を行なった(Adachi and Hashiguchi 2019)。

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

Adachi, A., T. Kobayashi, and H. Yamauchi, Estimation of Raindrop Size Distribution and Rainfall Rate from Polarimetric Radar Measurements at Attenuating Frequency Based on the Self-Consistency Principle, *J. Meteor. Soc. Japan*, 査読有, 93, 2015, 359-388, doi.org/10.2151/jmsj.2015-020.

KAWABATA Takuya, BAUER Hans-Stefan, SCHWITALLA Thomas, WULFMEYER Volker, ADACHI Ahoro, Evaluation of Forward Operators for Polarimetric Radars Aiming for Data Assimilation, *J. Meteor. Soc. Japan*, 査読有, 96A, 2018, 157-174, doi.org/10.2151/jmsj.2018-017.

Kawabata, T., T. Schwitalla, A. Adachi, H.-S. Bauer, V. Wulfmeyer, N. Nagumo, and H. Yamauchi, Observational operators for dual polarimetric radars in variational data assimilation systems (PoIRad VAR v1.0), *Geosci. Model Dev.*, 査読有, 11, 2018, 2493-2501, doi.org/10.5194/gmd-11-2493-2018.

Nagumo Nobuhiro, Adachi Ahoro, Yamauchi Hiroshi, Geometrical properties of hydrometeors during the refreezing process and their effects on dual-polarized radar signals, *Mon. Wea. Rev.*, 査読有, 147, 2019, 1753-1768, DOI: 10.1175/MWR-D-18-0278.1

Adachi, A. and Hashiguchi, H., Application of Parametric Speakers to Radio Acoustic Sounding System, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, 査読有, 2019, doi.org/10.5194/amt-2019-92.

〔学会発表〕(計 24 件)

Ahoro Adachi, Takahisa Kobayashi and Hiroshi Yamauchi, Estimation of Raindrop Size Distribution from Polarimetric Radar Measurements at Attenuating Frequency Based on the Self-Consistency Principle, 37th Conference on Radar Meteorology, 2015.

Ahoro Adachi, T. Kobayashi and H. Yamauchi, An Automatic DSD Parameter Retrieval Algorithm for Polarimetric Radar at Attenuating Frequency Based on the Self-Consistency Principle, 4th International Symposium on Earth-Science Challenges(招待講演), 2015.

足立アホロ、小林隆久、山内洋、小司 禎教, C-band 二重偏波レーダーによる粒径分布と降水強度の推定精度, 日本気象学会 2015 年春季大会, 2015.

Hiroshi Ishimoto, Teruo Aoki, Satoru Adachi, and Satoru Yamaguchi, Shape modeling of ice particles using micro-CT data for snow radiative transfer calculations, International Symposium on snow and avalanche in Niseko, 2015.

Ahoro ADACHI, Takahisa KOBAYASHI and Hiroshi YAMAUCHI, A Methodology for Estimating the Parameters of a Gamma Raindrop Size Distribution Model from Polarimetric Radar Measurements at Attenuating Frequency Based on the Self-Consistency Principle, European Geosciences Union General Assembly, 2016.

A. ADACHI, T. KOBAYASHI and H. YAMAUCHI, A Methodology for Estimating the Parameters of a Gamma Raindrop Size Distribution Model using Redundancy of the Polarization Observations at Attenuating Frequency, 97th Amer. Meteor. Soc. Ann. Meeting, 2017.

石元 裕史,  $\mu$ -CT データから得られた積雪粒子の形状と粒子光散乱特性の計算, 日本気象学会 2016 年度秋季大会, 2016.

Nobuhiro Nagumo, A. Adachi, and T. Kato, Clear air echoes in a sea breeze and their dynamical structures captured in TOMACS dense observation network, ICMCS-XI, 2016.

足立アホロ、小林隆久、山内洋、小司 禎教, 自己整合法に基づく粒径分布抽出手法の C-band 二重偏波レーダーの PPI 観測への利用, 日本気象学会 2016 年春季大会, 2016.

Ahoro Adachi, Takahisa Kobayashi, and Hiroshi Yamauchi, Real-time Auto Calibration and DSD Retrieval for Polarimetric Radar at Attenuating Frequency, International Symposium on Earth-Science Challenges (ISEC) 2017, 2017

Ahoro Adachi, Takahisa Kobayash and Hiroshi Yamauchi, Technique for Calibration of Polarimetric Radars at Attenuating Frequency using ZDR and Phidp, Weather Radar Calibration and Monitoring Workshop Deutscher Wetterdienst, 2017.

Ahoro Adachi, T. Kobayashi, H. Yamauchi, Real-time Auto Calibration and DSD retrieval for Polarimetric Radar at Attenuating Frequency, Weather Radar Calibration and Monitoring Workshop Deutscher Wetterdienst, 2017.

Takuya Kawabata, Hiroshi Yamauchi, Nobuhiro Nagumo, and Ahoro Adachi, Development of assimilation methods for dual polarimetric radar data, Workshop on Dual Polarimetric radar Meteorological Research Institute, 2017.

足立アホロ、小林隆久、山内洋、二重偏波レーダーデータの自己整合性に基づく粒径分布抽出手法の改良, 日本気象学会春季大会, 2017.

足立アホロ、橋口浩之、RASS 観測におけるパラメトリックスピーカーの利用, 日本気象学会 2018 年度秋季大会, 2018.

南雲信宏、足立アホロ、山内洋、凍雨の地上観測に基づく二重偏波レーダーによる凍結域・非凍結域の調査, 日本気象学会 2018 年度秋季大会, 2018.

石元裕史、足立アホロ、安達聖、レーダー反射特性解析のための融解雪片モデルの開発, 日本気象学会 2018 年度春季大会, 2018.

栗花卓弥、川畑拓矢、山内洋、南雲信宏、足立アホロ、二重偏波パラメータに関する統計調査, 日本気象学会 2018 年度秋季大会, 2018.

足立アホロ、小林隆久、山内洋、南雲信宏、二重偏波レーダーによる雨滴粒径分布の形状パラメータ推定の試み, 日本気象学会 2018 年度春季大会, 2018.

南雲信宏、足立アホロ、山田芳則、川島正行、凍雨および雨氷の JMA-NHM の再現性と環境場の特徴 2016 年 1 月 29 日の事例, 日本気象学会 2018 年度春季大会, 2018.

南雲信宏、足立アホロ、山内洋、凍雨の二重偏波レーダー観測と地上検証について, 第 2 回降水と噴火研究集会, 2018.

南雲信宏、足立アホロ、山内洋、固体素子二重偏波レーダーによる雨氷と凍雨の監視に向けた基礎研究, 第 12 回航空気象研究会, 2018.

Ahoro Adachi, Hiroyuki Hashiguchi, Application of Parametric Speaker to Wind Profiler/RASS, 11<sup>th</sup> International Symposium on Tropospheric Profiling, 2019.

Y. Shoji, T. Sakai, A. Adachi, S. Yoshida and T. Nagai, Study of the Mechanisms of Severe Thunderstorm in Tokyo Metropolitan Area using High Frequent Assimilation of Ground-based In-situ and Remote-sensing Observations, ICMCS-XIII, East Asia Weather Research Association, 2019.

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：石元 裕史

ローマ字氏名：**Hiroshi Ishimoto**

所属研究機関名：気象庁気象研究所

部局名：気象衛星・観測システム研究部

職名：室長

研究者番号 ( 8 桁 )：**70281136**

研究分担者氏名：南雲 信宏

ローマ字氏名：**Nobuhiro Nagumo**

所属研究機関名：気象庁気象研究所

部局名：気象衛星・観測システム研究部

職名：研究官

研究者番号 ( 8 桁 )：**30624960**

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：山内洋

ローマ字氏名：Hiroshi Yamauchi

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。