

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：53203

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K05037

研究課題名（和文）小型鉛直レーダ網を用いた豪雨・豪雪防災科学システムの構築

研究課題名（英文）Construction of a scientific system for disaster prevention of heavy rain and heavy snow using a small vertical radar network

研究代表者

椎名 徹（SHIINA, Toru）

富山高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：80196344

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：小型鉛直ドップラーレーダを一定距離間隔にて3台配置し、レーダで囲まれた三角地帯内において、3次元空間内の降水現象を捉えた。更に地上付近を落下する降雨および降雪粒子の形状、含水率と落下速度を光学式ドップラーレーダにて測定した。

レーダによる後方散乱量とディストロメータによる粒径・落下速度分布から、降雨・降雪粒子の後方散乱断面積を推定する手法を構築した。次に光学式ディストロメータにて得られた降水粒子の粒径・落下速度分布の十分統計量を利用した降水種の分類を試みた。更に畳み込みニューラルネットワークモデルにて、小型ドップラーレーダによるレーダ反射スペクトルから降水種判別を行うシステムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究手法により、光学式ディストロメータにて得られた粒径・落下速度分布ならびにドップラーレーダのレーダ反射スペクトルから降水種判別を行うことが可能である。更に、得られた降水種ごとに、ドップラーспекトルから降雪粒子の粒径・落下速度分布を推定することにより、降水種の密度を考慮した高精度な降雨・降雪強度推定への適用が期待される。

研究成果の概要（英文）：Three small vertical Doppler radars were deployed at fixed distance intervals to measure precipitation phenomena in three-dimensional space. In addition, the shape, water content, and velocity of rain and snow particles falling on the ground were measured by two disdrometers. A method was developed to estimate the backscattering cross section of rain and snow particles between the backscattering cross section by radar and the particle size and fall velocity distributions using a disdrometer. We attempted to classify precipitation types using sufficient statistics of the size and fall velocity distributions obtained by an optical disdrometer. Furthermore, a convolutional neural network model system was constructed to classify precipitation types using radar reflection spectra of a small Doppler radar.

研究分野：防災科学

キーワード：鉛直レーダ 豪雨・豪雪 防災科学

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

2018年の7月豪雨や北陸豪雪のような線状降水帯による雷雨・集中豪雨、南岸性低気圧による大雪は、レーダや衛星を用いて水平方向の降水分布が観測されている。局所的で急激に変化する気象現象のメカニズムを解明するには、メソガンマスケール(2~20km)の気象学が重要であり、積乱雲から地上までの高分解能による降雨・降雪の鉛直・水平分布の解明が急務であり、降水強度予測等の防災情報提供に役立つ。

一般の気象レーダでは、球形を仮定した降水粒子からの電波散乱強度から降水強度を推定する。豪雨時の大きな雨滴は、形状が上下方向につぶれた扁平形状となり、降水強度推定の重大な誤差要因となる。更に、雪片は複雑な形状と異なる雪質を有するため、降雪時の電波散乱特性は十分に解明されないままに利用されている。レーダ実測値から得られる降雨・降雪粒子情報が如何なる物理量を表しているかを明らかにすることは、防災科学の基本要素である。

### 2. 研究の目的

小型鉛直ドップラーレーダ(METEK社製, Micro Rain Radar, 以下MRR2と略す)を一定距離間隔にて3台配置し、レーダで囲まれた三角地帯内において、最大高度6000mまでの3次元空間内の降水現象を10秒間隔の時系列で捉える。更に、地上付近を落下する降雨および降雪粒子の形状、含水率と落下速度を測定し、降水雲から地上までの降雨・降雪過程を高精度測定し、機械学習により降水強度予測を行う防災科学システムの構築を目指す。

### 3. 研究の方法

2種類の光学式ディストロメータ Parsivel および LPM による降水粒子の粒径・落下速度、粒子種を測定する環境整備を初年度実施した。また、小型鉛直ドップラーレーダ1台のオーバーホールも行い、各観測機器と同期測定可能なシステムを構築した。更に、降水強度を測定する(グラントゥールス)ため、電子制御ヒータ式雨量計を設置した。

#### (1) 降雨・降雪粒子の電磁波散乱特性

光学式ディストロメータにより、各粒子の粒径および落下速度とその分布を測定する。次に、上下非対称な扁平雨滴単体の消散・散乱効率を点整合法により求め、降水粒子の散乱特性を解析した。更に、レーダMRR2による後方散乱量とディストロメータによる粒径・落下速度分布から、降水粒子の電磁波散乱特性の解明を行った。

#### (2) メソガンマスケール降雨・降雪現象の時空間解析

3台のレーダMRR2を数百m以上の間隔で三角配置し、高時間分解能(10秒間隔)で地上付近から最高高度6000mまでの電磁波散乱強度分布を同期測定した。次に、降水粒子の消散効率を用いて、測定経路(高度)によるレーダの減衰補正を行った。更に、機械学習による降水種類の自動判別を行い、散乱効率から高度ごとの粒子種類、粒径と落下速度分布を解析した。

### 4. 研究成果

#### (1) 降雨・降雪粒子の電磁波散乱特性

レーダによる後方散乱量とディストロメータによる粒径・落下速度分布から、降水粒子の電磁波散乱特性の解明を試み、降雨・降雪粒子の後方散乱断面積を推定する手法を構築した。降雨粒子の場合において、本研究手法で推定した後方散乱断面積と扁平降雨粒子の数値解を比較し、提案手法の評価を行い良好な結果が得られた。更に、降雪粒子の後方散乱断面積推定を行い、球形を仮定した氷粒子の厳密解との比較を行った。

雨滴の後方散乱断面積の粒径ごとの推定値とその平均値および扁平雨滴の数値解を図1に示す。2022年5月の観測データからの推定例である。本提案手法によって扁平雨滴の後方散乱断面積が得られている。雪とあられの後方散乱断面積の粒径ごとの平均推定値と、球形を仮定した氷粒子の厳密解を図2に示す。

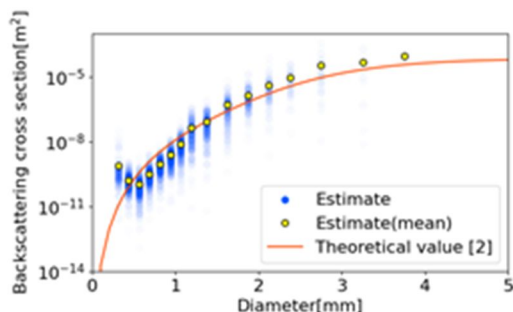


図1 雨の後方散乱断面積

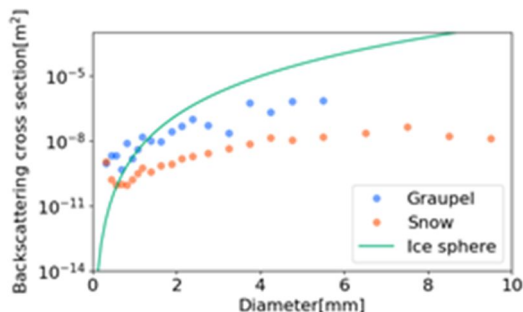


図2 雪とあられの後方散乱断面積

#### (2) 粒径-落下速度分布の十分統計量を用いた降水種判別

光学式ディストロメータで観測された降水粒子の粒径-落下速度分布の十分統計量を用いて、降水種の判別を行った。粒径-落下速度分布がガンマ分布の一般形である一般化逆ガウス分布の確率密度関数に従うと仮定する。一般化逆ガウス分布の確率密度関数に従う独立データに対す

る尤度は、十分統計量である相加平均：E，幾何平均：G，調和平均：Hで表現できる。本研究では、これらの特徴量とし、降水粒子特徴量間のマハラノビス距離を用いて降水種の判別を行った。本研究により、降水粒子の粒径-落下速度の十分統計量から、表1のようにF値0.81以上で降水種の判別が可能である。また、霧雨と雪、あられの判別精度が優れていることが確認された。本特徴量判別により、各降水粒子の質量密度や降水強度の算出に役立つことが期待される[1]。

表1 降水種の判別結果

降水種		判別された降水種					再現率	適合率	F値	F値[1]
		DZ	RADZ	RA	SN	GS				
実際の降水種	DZ	200	0	0	0	0	0.995	1.000	0.998	0.944
	RADZ	1	157	42	0	0	0.853	0.785	0.818	0.886
	RA	0	25	175	0	0	0.806	0.875	0.839	0.888
	SN	0	0	0	200	0	0.985	1.000	0.993	0.916
	GS	0	2	0	3	141	1.000	0.966	0.983	0.892

更に、ディストロメータ2機種によって得られた降水粒子の粒径・落下速度分布から降水種を自動判別する機械学習システムを構築した。本システムにより、ディストロメータから得られる降水種をさらに詳細に分類することが可能となった。

(3) ドップラーレーダを用いて降水種判別システムの構築

本研究では、畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network, CNN) モデルにて、小型ドップラーレーダから得られるレーダ反射スペクトルから降水種判別を行うシステムを構築した。CNNモデルのスコアを表2に示す。従来の提案手法 NN モデル[2]と比較して、スコアが大きく上回った。

表2 CNNを用いた降水種判別

Precipitation Type	Recall	Precision	F-measure
No Precipitation	0.981	0.950	0.966
Drizzle	0.946	0.977	0.961
Drizzle with Rain	0.955	0.941	0.948
Rain	0.946	0.962	0.954
Snow	0.979	0.956	0.967
Graupel	0.954	0.977	0.965
Total	0.960	0.960	0.960

(4) レーダを用いて降水強度推定の試み

(1)で得られた降水種ごとの後方散乱断面積を用いることにより、ドップラーレーダスペクトルから粒径-落下速度分布を逆問題として推定することが可能である。また、降雪時のドップラーレーダスペクトルから降雪粒子の粒径-落下速度分布を推定することにより、降雪粒子の密度を考慮した高精度な降雪強度推定が期待される。ドップラーレーダ MRR2 が観測したレーダ反射率と推定した後方散乱断面積から算出したレーダ反射率の時間推移例を図3に示す。



図3 雪のレーダ反射率

参考文献

[1] Ishizaka, M., Motoyoshi, H., Yamaguchi, S., Nakai, S., Shiina, T., & Muramoto, K., Relationships between snowfall density and solid hydrometeors, based on measured size and fall speed for snowpack modeling applications. The Cryosphere, Vol. 10, pp. 2831-2845, 2016.  
 [2] Makino, K., Shiina, T., & Ota, M. (2019). A precipitation classification system using vertical doppler radar based on neural networks. Radio Science, Vol.54, No.1, pp.20-30, 2019.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 廣野 幸里, 椎名 徹, 太田 守
2. 発表標題 気象観測データに基づく降水粒子の後方散乱断面積の推定
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 廣野幸里, 椎名徹
2. 発表標題 気象レーダデータを用いた降水種判別システムの改良
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河合美樹, 椎名徹, 太田守
2. 発表標題 一般ガウス分布の十分統計量を用いた降水種判別可能性
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 釣谷那津, 椎名徹
2. 発表標題 変分オートエンコーダによる生成モデルを用いたZ-R関係
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------