

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 27 日現在

機関番号：53301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22360164

研究課題名(和文) ライダとレーダの同時観測による雲から地上までの時空間降雪解析

研究課題名(英文) Spatio-temporal analysis of snowfalls from the cloud to the ground surface using radar and lidar from the cloud to the ground surface

研究代表者

村本 健一郎 (MURAMOTO, Ken-ichiro)

石川工業高等専門学校・その他部局等・校長

研究者番号：70042835

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円、(間接経費) 3,810,000円

研究成果の概要(和文)： 降水のレーダ観測は、降水量をレーダ反射因子Zと降水強度Rとの関係(Z-R関係)により推定する。降雪現象は降雨現象に比べて多くの要素が複雑に関与していて、レーダ反射に影響を与える降雪粒子の諸特性が降雪の種類によって様々になるため、降雪のZ-R関係を決定するには、ZとRを短い時間間隔で高精度に測定する必要がある。また、降雪粒子を雪片とアラレに分類するために降雪粒子の特徴量(形状、落下速度、密度等)も調べなければならない。

本研究では統合型降雪観測装置を構成し、様々な地上観測装置を一カ所に設置し、レーダとライダによる下層大気層の広範囲の降雪観測と実際の地上観測とを対応させた。

研究成果の概要(英文)： Radar measurements of precipitation are based on the relation between the radar reflectivity factor Z and precipitation rate R. In order to determine the Z-R relationship for snowfall, Z and R have to be measured independently with high accuracy within a short time intervals. It is also important to examine snow particle characteristic (shape, velocity, density, etc.) distinguish between snowflakes and graupels.

In this research, the integrated measurement system for snowfall characteristic evaluation is presented. Various measurement utilities are gathered in one place to allow the snowfall observation on the wide scale by the radars and lidars scanning the lower atmosphere.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：レーダ反射因子 降雪強度 Z-R関係 降雪粒子特徴量 降雪プロファイル 雲情報

1. 研究開始当初の背景

気象レーダは降水粒子を広範囲の空間について時間的に連続してリアルタイムで観測できるので、降雨・降雪(両者をまとめて降水と呼ぶ)の広域観測や予測に広く用いられている。一般にレーダ反射因子 Z と実際の地上の降水強度 R との関係は Z-R 関係と呼ばれる。この関係は降雨についてはほぼ確定しているが、降雪については確定していないのが実状である。この原因は降雪現象が降雨現象に比べて多くの要素が複雑に関与していて、レーダ反射に影響を与える降雪粒子の諸特性(形状、落下速度、密度等)が降雪の種類(雪片、アラレなど)によって様々になることに原因がある。従って、降雪の場合の Z-R 関係は降雪の種類ごとに確定する必要があった。このため、短い時間間隔で変動する降雪粒子の種類ごとの観測を行い、さらに上空の気象レーダの観測空間の降雪粒子と地上で観測される降雪粒子とを対応させる必要があった。

2. 研究の目的

本研究では、下層大気圏下における降雪プロファイルを高分解能で測定する新システムの開発を行う。また、雲は降雨・降雪現象の源であり、大気状態の解析において重要な要素となる。そこで、ライダを用いて後方散乱係数を測定し、雲情報の取得を行う。具体的な研究目標は、以下の通りである。

- (1) 降雪プロファイルの高分解能測定
- (2) 降雪粒子粒径と落下速度の同時測定
- (3) 雲情報の取得

3. 研究の方法

本研究で使用する小型ドップラーレーダ (METEK 製, MRR-2) は軽量で可搬性に優れ、地上付近から高度数千 m (最小 35m 間隔) までの鉛直方向降雪プロファイルを連続的に測定することが可能である。複数のレーダを配置することにより、高分解能降雪プロファイル測定システムの構築を目指した。

一方、ライダ (LIDAR : Laser Imaging Detection and Ranging) はパルス状のレーザー光を上空に放射し、大気の状態を測定する装置であり、雲底高度計や視程計に用いられている。本研究で使用したライダは、Vaisala 社のシーロメータ CL31 であり、使用波長は 910nm である。高度 7700m までの後方散乱係数を 10m 間隔で 30 秒ごとに測定する。後方散乱係数 $\beta(h)$ はライダから放射されたレーザー光が、高度 h において反射(後方散乱)する強さを表すパラメータで、この分布を用いて解析を試みた。

- (1) 降雪プロファイルの高分解能測定

小型垂直ドップラーレーダを数十 m 以上の間隔で複数台配置し、各レーダから得られた鉛直方向降雪プロファイル相互の時空間解析により、レーダ間の降雪プロ

ファイルの解析を行う。

- (2) 降雪粒子粒径と落下速度の同時測定
CCD カメラを使用し、観測空間内を落下する降雪粒子の粒径と落下速度を測定する画像処理システムの開発を行う。
- (3) 雲情報の取得
ライダから得られた散乱係数の高度分布から、雲底の高度、雲層の厚さとその数を算出し、雲情報取得を行う。

4. 研究成果

主に、以下の成果が得られた。

- (1) 降雪プロファイルの測定
複数レーダ間での反射強度の時間相関解析を行うことにより、降雪プロファイルの面分布測定を試みた。降雪の一例として、雪片とアラレの混合が降っている時間帯の 2012 年 1 月 26 日の 7~8 時における高度ごとのレーダ反射因子の時間変化を図 1 に示す。

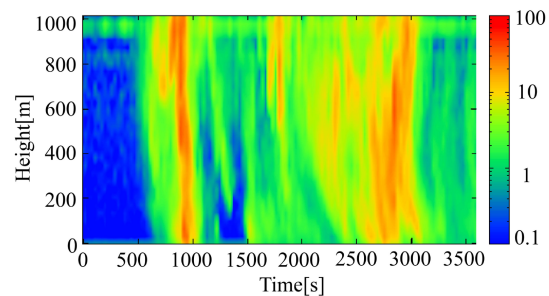


図 1 高度ごとのレーダ反射因子の時間変化

- (2) 降雪粒子の粒径と落下速度

降雪粒子観測装置によって取得された降雪粒子の落下残像画像の水平および鉛直方向の分散を算出し、分散共分散行列を求める。この行列の主成分分析を行うことにより、第一主成分として分散を最大にする方向、すなわち移動方向のベクトルと第二主成分として移動方向に垂直なベクトルが得られる。垂直方向より粒径を求め、粒子の鉛直方向長さから露光時間から落下速度を求める。図 2 は取得した画像に主成分を示したものである。取得画像には、風の影響により上昇した粒子が含まれている可能性がある。降雪強度と関係

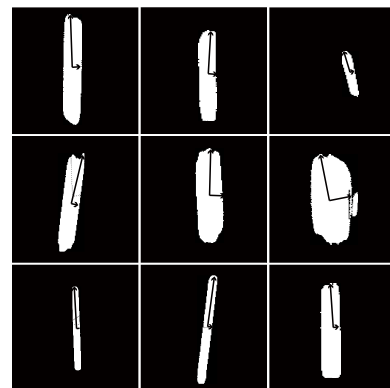


図 2 降雪粒子の落下画像と主成分分析

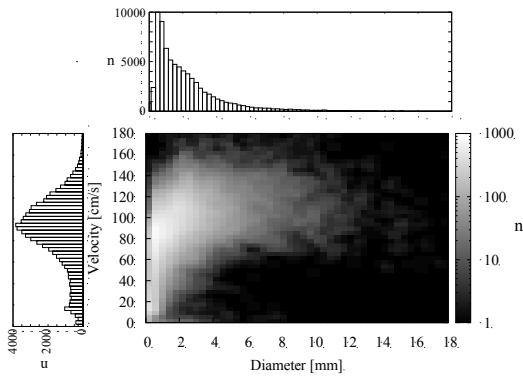


図3 降雪粒子の粒径と落下速度

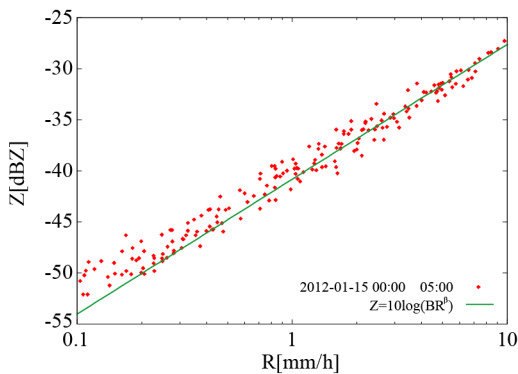


図4 レーダ反射因子と降雪強度の関係

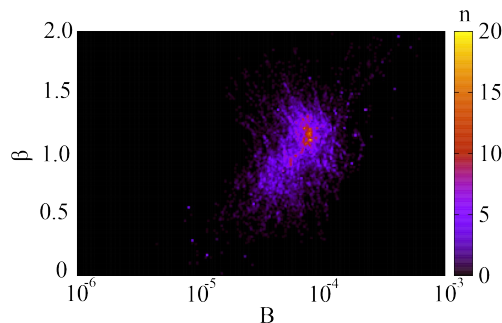


図5 レーダ反射因子と降雪強度の関係

する落下速度の算出にはこのような粒子は除外する必要がある。粒子の上昇、落下の判定には連続した2枚の撮影画像を比較し、移動前後の粒子を各々対応づける。移動前後の位置より上昇した粒子を判別し、これを除外した。図3は本手法によって得られた2012年1月15日1時の粒径と落下速度の分布を示す。

(3) レーダ反射因子と降雪強度の関係

降雪粒子画像情報と地上付近のレーダ強度との関係を解析した。図4に降雪粒子情報より得られた降雪強度Rとレーダ反射因子Zの関係を示す。図5にZ-R関係のパラメータB, β 分布を示す。2012年1月の1ヶ月間のデータを30秒ごとに10分間隔で区切り、それぞれのデータについてBと β を求めた結果を

図に示す。

以上より、降雪粒子の粒径と落下速度から降雪強度を算出し、レーダ反射因子とのZ-R関係を雪質ごとに求めることが可能となった。さらに、(2)よりレーダから降雪粒子の分類が可能であり、雪質と降雪強度の同時測定の可能性が示唆された。

(4) 雲情報の取得

観測された後方散乱係数の高度分布の例を図6(a)に示す。雨滴や氷の粒が浮遊する高度に、強い散乱が現れる。本研究では、後方散乱係数の高度分布を高度ごとの散乱回数に関するヒストグラムであると解釈する。さらに、後方散乱係数の高度分布を生成する各クラスにt分布を仮定し、1つのクラスが1つの雲に由来するものとみなす。図6(a)では、雲のない2800m以上の高度領域でもノイズや外れ値が含まれる。本研究では、このノイズや外れ値を含む性質を考慮したモデルとして、混合t分布を仮定する。推定には、混合t分布モデルに対する変分ベイズ法であるロバスト変分ベイズ法を用いた。ベイズ推定の枠組みでは、データへのフィッティングとモデルの複雑さの自動的なトレードオフが行われる。ロバスト変分ベイズ法では、混合比にディリクレ事前分布を仮定し、クラス数Kに大きな値を選んでも、収束後は必要なクラスだけ残る。この効果と推定されたパラメータを用いて、雲の数、雲底、雲層の厚さの算出を試みた。図6(a)の観測データにロバスト変分ベイズ法を適用し、散乱係数の推定を行った結果を図6(b)に示す。図6(c)は推定した各クラスごとのt分布を重ねたものである。2800m以上のノイズや外れ値の影響を抑えて推定されていることがわかる。ロバスト変分ベイズ法による精度の高いライダーデータの特徴量抽出を実現し、雲情報の推定が可能であることを示した。

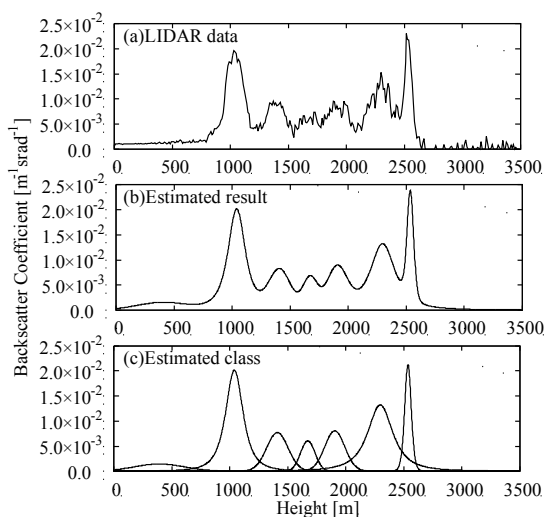


図6 ライダによる取得データの解析

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 14 件)

M. Ishizaka, H. Motoyoshi, S. Naki, T. Shiina, T. Kumakawa, K. Muramoto, A new method for identifying the main type of solid hydrometeors contributing to snowfall from measured size-fall speed relationship, Journal of the Meteorological Society of Japan, 査読有, vol. 91, No. 6, 2014, 747-762.

<http://www.jstage.jst.go.jp/>

太田守, 椎名 徹, ガンマ分布のベイズ推定における一般逆ガウス分布と高階微分係数を用いた近似法, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J97-D, No. 3, 2014, 635-645.

<http://www.ieice.org/>

K. Nurzynska, M. Kubo, K. Muramoto, Shape parameters for automatic classification of snow particles into snowflake and graupel, Meteorological Applications, 査読有, Vol.20, Issue 3, 2013, 257-265.

K. Nurzynska, M. Kubo, K. Muramoto, Reconstruction of object surface from multi-view images improved by image forces, SICE JCMSI(Journal of Control, Measurement, and System Integration), 査読有, Vol.6, No.4, 2013, 231-237.

T. Shiina, Y. Mori and M. Ota, The LIDAR analysis using robust variational Bayes, Proc. SICE Annual Conference 2013, 査読有, 2013, 1707-1712.

<http://www.sice.jp>

K. Nurzynska, M. Kubo, K. Muramoto, Texture operator for snow particle classification into snowflake and graupel, Atmospheric Research, 査読有, 118, 2012, 121-132.

K. Matsuda, M. Kubo, K. Muramoto, Observations of lidar backscatter from snowfall at two sites, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symp. Proceedings 2012, 査読有, 2012, 5923 - 5926.

10.1109/IGARSS.2012.6352260

N. Sunmonu, K. Muramoto, N. Kurita, K. Yoshimura, Y. Fujiyoshi, Characteristics of seasonal variation of near-surface water vapor D/H isotope ratio revealed by continuous in situ measurement in Sapporo, Japan, SOLA, 査読有, 8, 2012, 5-8.

doi:10.2151/sola.2012-002.

M. Ota, T. Shiina, M. Kubo, K. Muramoto, The backscattering cross sections of snow particles and the radar reflectivity factor, Proc. SICE Annual Conference 2011, 査読有, 2011,

1823-1828.

<http://www.sice.jp>

K. Nurzynska, M. Kubo, K. Muramoto, 2D feature space for snow particle classification into snowflake and graupel, IEICE Transactions on Information and Systems, 査読有, Vol.E93-D, No.12, 2010, 3344-3351.

T. Shiina, M. Kubo, K. Muramoto, Z-R relation for snowfall using two small Doppler radars and snow particle images, Proc. Int. Geoscience and Remote Sensing Symp. Proceedings 2010, 査読有, 2010, 4122-4125.

<http://www.igarss2010.org>

[学会発表](計 28 件)

椎名 徹, 降雪粒子画像を用いた降雪種類の取得, 電子情報通信学会総合大会, 2013年3月22日, 岐阜大学(岐阜県).

椎名 徹, 降水粒子の粒径-落下速度分布の解析, 電子情報通信学会総合大会, 2013年3月21日, 岐阜大学(岐阜県).

椎名 徹, レーダを用いた降雪粒子散乱特性の解析, 電子情報通信学会総合大会, 2012年3月20日, 岡山大学(岡山県).

椎名 徹, Kバンド小型レーダを用いた降雪情報の取得, 日本気象学会2011年度秋季大会, 2011年11月18日, 名古屋大学(愛知県).

S. Horiuchi, Estimation of the density of the snowfall particle using electric balances and 2DVD, SICE Annual Conference 2011, 2011.09.16, Tokyo.

K. Matsuda, Backscatter distribution analysis of the lower atmosphere layer with two optical lidars in the winter season, SICE Annual Conference 2011, 2011.09.16, Tokyo.

H. Kitayama, Size distribution and snowfall rate dependence for snow particles, SICE Annual Conference 2011, 2011.09.16, Tokyo.

村本健一郎, 統合型降雪観測システム, 第29回レーザセンシングシンポジウム, 2011.09.08, 七尾(石川県).

松田薫, 2地点のシーロメータによる降雪時の鉛直後方散乱プロファイル観測, 第29回レーザセンシングシンポジウム, 2011.09.08, 七尾(石川県).

L. A. Sunmonu, Water vapor isotope ratios in surface air in Sapporo, Japan, 2011年日本気象学会春季大会, 2011年5月18日, 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京).

椎名 徹, Kバンド帯における降水粒子散乱特性の解析, 電子情報通信学会総合大会, 2011年3月15日, 東京都大学(東京都).

6 . 研究組織

(1)研究代表者

村本 健一郎 (MURAMOTO, Ken-ichiro)
石川工業高等専門学校・その他の部局・校長
研究者番号 : 70042835

(2)研究分担者

藤吉 康志 (FUJIYOSHI, Yashushi)
北海道大学・低温科学研究科・教授
研究者番号 : 40142449

椎名 徹 (SHIINA, Toru)
富山高等専門学校・その他の部局・教授
研究者番号 : 80196344

久保 守 (KUBO, Mamoru)
金沢大学・電子情報学系・助教
研究者番号 : 90249772