

平成 22 年 5 月 1 日現在

研究種目： 若手研究(B)  
 研究期間： 2008 ～ 2009  
 課題番号： 20740271  
 研究課題名(和文) 日本海帯状降雪雲の固体降水粒子形成機構に関するマルチパラメーターレーダー観測  
 研究課題名(英文) Multi-Parameter Radar Observation on the Formation Mechanism of Solid Precipitation Particles in a Broad Cloud Band Developed over the Sea of Japan in Winter  
 研究代表者  
 大東 忠保 (OHIGASHI TADAYASU)  
 名古屋大学・地球水循環研究センター・特任助教  
 研究者番号： 80464155

研究成果の概要(和文)：日本海帯状降雪雲とは、冬季寒気吹き出し時に最も活発な降雪をもたらす雲システムの一つで、降水の集中化を引き起こすことによってしばしば大雪をもたらす。本研究では、マルチパラメーター(偏波ドップラー)レーダーを用いた観測を行うとともに、雲システム内の雪や霰といった粒子タイプを識別する手法を開発し、粒子タイプの出現頻度について調べた。作成した粒子識別手法によって、長時間活発な降雪をもたらした帯状降雪雲を調べたところ霰として降っていた時間は全降水期間の30～40%に達した。最も多かった雪片は50%ほどであった。

研究成果の概要(英文)：A broad cloud band developed over the Sea of Japan is one of the cloud systems causing active snowfall during cold air outbreaks. This cloud band concentrates precipitation and occasionally causes a heavy snowfall. In this study, we conducted an observation using multi-parameter (polarimetric-Doppler) radar. A method identifying a main hydrometeor category from the radar data was developed and occurrence frequency for each hydrometeor type was examined. Applying the method to the case for a cloud band occurring during the observation period, the graupel type accounted for 30 to 40% of the total precipitation time. The snow aggregates type, which was the primary one, was about 50% of the total time.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：固体降水、マルチパラメーターレーダー、偏波レーダー、日本海、帯状降雪雲、豪雪・大雪、粒子識別法

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 帯状降雪雲は冬季日本海上に形成され、最も活発な降雪をもたらす雲システムの1つであり、しばしば長時間停滞し上陸部に大雪をもたらす。帯状降雪雲の降雪機構を明らかにすることは、降雪の集中化機構を理解するために重要な気象学的課題である。加えて、帯状降雪雲は人口密集地に大雪をもたらす、水資源とも関係するため人間生活との関わりも大きい。

(2) 降雪機構の解明には大きく分けて力学的側面と、雲・降水粒子の形成などの雲微物理学的側面の両方の理解が不可欠である。

(3) これらを調べるために有効な観測測器としてレーダーがあるが、日本ではこのレーダーを用いて特に前者の力学的側面に関する研究が行われてきた。しかしながら、マルチパラメーター機能を持たないレーダーでは、雲内の降水粒子の種類を特定する精度が低かった。航空機による直接観測は行われてきたが、経費もかかるため観測例は十分ではなく、観測の観点から雲微物理学的側面の理解は十分には行われていなかった。

近年、雲内部の気流場のみならず、降水粒子の形状、相、落下姿勢や向きなどを偏波機能によって観測できるマルチパラメーターレーダーが日本にも導入され、研究が行われるようになってきた。

(4) 一方、数値モデルについて、降水粒子のタイプとその量の観測的事実との比較は十分ではなく、降水粒子の形成機構まで踏み込める状況ではなかった。

## 2. 研究の目的

降水粒子の形状、相、落下姿勢や向きなどを観測することができるマルチパラメーターレーダーを用いて、冬季日本海寒気吹き出し時に形成される帯状降雪雲の降雪機構を明らかにすることが本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

本研究は観測と、観測データの解析により行った。主要な解析手法として、降水粒子識別の手法を開発した。

(1) 名古屋大学の可搬型 X バンドマルチパラメーターレーダー 1 台を、石川県宝達志水町押水庁舎屋上 (図 1) に設置 (図 2) し、2008 年 12 月 20 日から 2009 年 2 月 28 日までレーダー稼働しデータを取得した。この間、金沢大学角間キャンパス (図 1) 内に待機し、地上において降雪粒子の接写観測を行うとともに、状況に応じてインターネット経由でレーダー走査を行った。

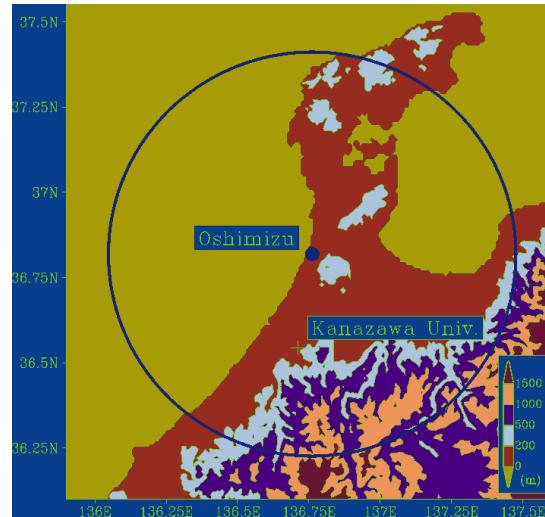


図 1 石川県宝達志水町押水庁舎に設置した名古屋大学マルチパラメーターレーダーの観測範囲。



図 2 石川県宝達志水町押水庁舎に設置した名古屋大学のマルチパラメーターレーダー。

(2) 観測範囲は図 1 に示される円内である。観測は 5 分ごとに 1 2 仰角の空間走査 (PPI によるボリュームスキャン) を基本とし、必要な時には鉛直断面走査 (RHI) を行った。名古屋大学のマルチパラメーターレーダーでは送信機を水平・垂直両偏波用別々に 2 台備えており、これらを同時送信することによってデータを取得した。取得されたデータから導出される偏波パラメーターはレーダー反射因子 (Zh)、レーダー反射因子差 (ZDR)、偏波間相関係数 ( $\rho_{hv}$ )、偏波間位相差変化率 (KDP) である。これの他にドップラー速度 (V) も観測される。

(3) マルチパラメーターレーダーにより取得された偏波パラメーターデータを用いて降水粒子識別の方法を開発した。レーダーデータを用いた降水粒子識別には、簡単なもの

を含めて多くの方法があるが、粒子の形状などを反映する偏波パラメーターを使用することでより真実に近い推定ができることが期待される。本研究で使用したのは、偏波パラメーターを使用した粒子識別の中でも、最近の主流であるファジーロジックを用いた。

① ファジーロジックでは、各パラメーターにおいて想定する粒子タイプの存在頻度に似た値（メンバーシップ関数）を計算し、粒子タイプごとにその値の和や積などを計算し、粒子タイプを順位づけする。

② 粒子タイプの種類とメンバーシップ関数は本研究で使ったのと同じ X バンドレーダーのために作成された Dolan and Rutledge (2009) のものを使用した。すなわち、粒子タイプは霧雨 (drizzle)、雨 (rain)、雪結晶 (ice crystals)、縦長姿勢で落下する雪結晶 (vertically aligned ice)、雪片 (aggregates)、低密度の霰 (low-density graupel)、高密度の霰 (high-density graupel) の 7 種類である。また、気温についてもメンバーシップ関数を作成した。

#### 4. 研究成果

(1) 図3に示すように観測期間中には5回の強い寒気吹き出しが起こった(図3)。そのうちのほぼ全ての時間において、ほぼ欠測することなくレーダーデータを取得できた。

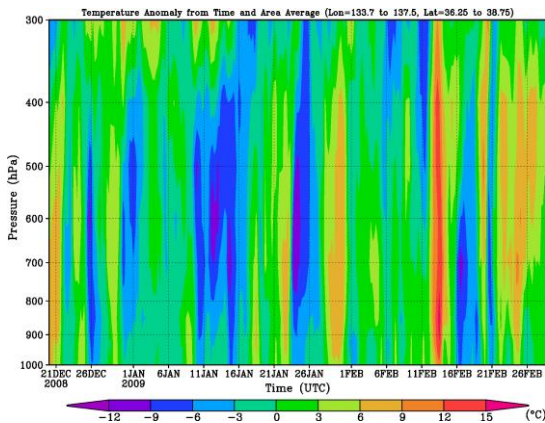


図3 客観解析 (JCDAS) より得られた観測期間中 (2008年12月20日～2009年2月28日) の同期間平均からの気温偏差 (°C) の時間-高度断面。石川県付近の約150 km 四方を平均した値で、1000 hPa から300 hPa までの高度を示す。

(2) 2009年1月25日から27日にかけて、山陰から北陸の海岸部に沿って帯状降雪雲が長時間停滞した(図4)。この帯状降雪雲は従来から知られている日本海西部において、朝鮮半島の付け根付近から伸びるも

のとは異なった向きに形成されていた。名古屋大学マルチパラメーターレーダーによって、この帯状降雪雲の下流部を観測することができたので、この事例について詳しく調べた。

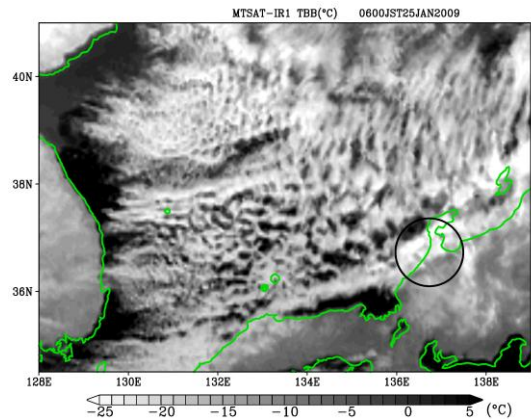


図4 2009年1月25日6時(日本時)のMTSAT衛星赤外画像。円は名古屋大学マルチパラメーターレーダーの観測範囲を示す。

① 環境場を調べたところ、寒気吹き出し中の日本海北部において、24日午後と25日午後には寒気内低気圧が発生し、発達しながら東進していた。この寒気内低気圧の発達によって、山陰から北陸の海岸部における下層では西風の場合が卓越していた。

② 帯状降雪雲によって石川県の海岸部には多量の降雪をもたらされた(図5)。しかしながら、この降水分布は局所的であり、羽咋では27日までの48時間に95.5 mmの降水があり、25日には同地点の1月の日降水量の最大値を更新したのに対し、約25 km 北に位置する志賀では48時間で10.5 mmの降水しかなかった。

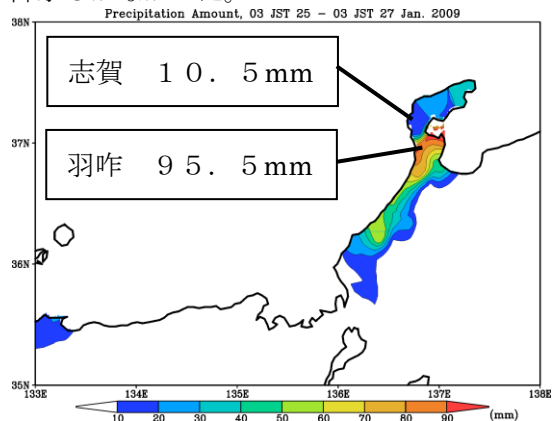


図5 気象庁アメダスによる2009年1月27日3時(日本時)までの48時間降水量 (mm)。

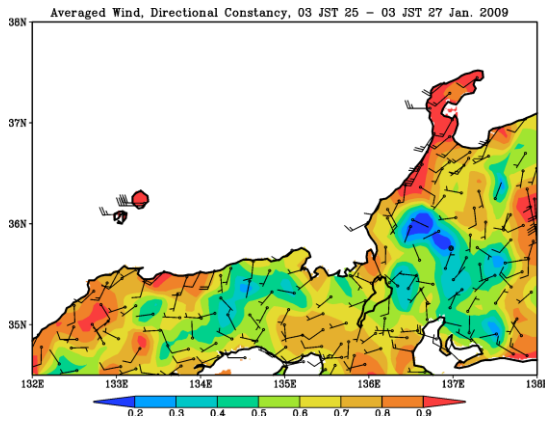


図6 気象庁アメダスによる2009年1月27日3時(日本時)までの48時間のベクトル平均風(矢印、 $\text{m s}^{-1}$ )と風向安定度(カラーシェイド)。

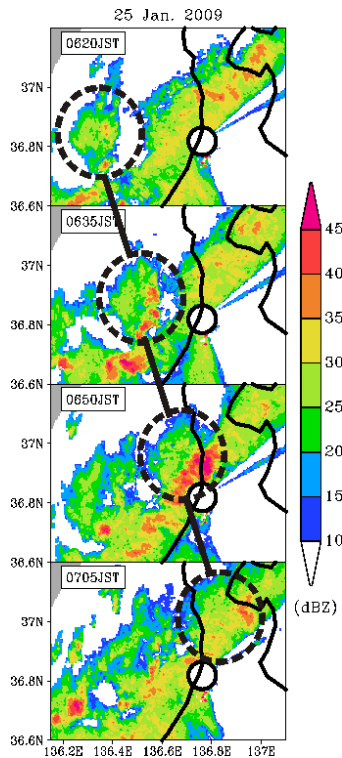


図7 マルチパラメーターレーダーにより観測された2009年1月25日6時20分(日本時)から7時5分まで15分ごとの仰角1.9度におけるレーダー反射強度(dBZ)。

③ 気象庁アメダス地上風のベクトル平均をとってみると(図6)、带状降雪雲の北側にあたる隠岐の島や能登半島の北部ではほぼ西よりの風となっていた。これは環境場の風を示している。一方で、带状降雪雲の南側では風はやや南よりとなっていた。これらの二つ風向の風の収束によって、带状降雪雲は形成されていた。加えて、石川県南部では風向の安定度がよく平均的に強い南風が吹いて

おり、この風によって強い収束が引き起こされていたと考えられる。多量の降水がもたらされた位置は、この強い南風の北側に位置していた(図5)。

④ 降水量が多くなっている带状降雪雲の上陸付近ではレーダー反射強度がたびたび強化される現象がみられた(図7)。この強化の結果として、多量の降水量がもたらされたと考えられる。

⑤ 降水強化域にあたる多降水領域において、レーダー観測格子についての各偏波パラメーターの頻度分布を調べた。期間は25日3時から27日3時までで、仰角1.9度のPPIについて調べた。この際、ZDRについては、レーダーから見て強エコー域の後面で不自然な値を示すことが多かったために、調べられなかった。

まず、 $\rho_{hv}$ を調べたところ99%の格子で0.97以上を示した。このことは、降水粒子が濡れ雪・霰ではなく、乾いた雪や霰によって形成されていたことを示す。

レーダー反射強度は25 dBZ から30 dBZ にピークをもつ分布で、30 dBZ 以下が75%を占めていた。このことは主要な粒子が乾いた雪片や雪結晶によって形成されていたことを示している。一方で、Dolan and Rutledge (2009)で雪として存在しない33 dBZ 以上は霰と考えられるが、この格子点の割合は11%であった。

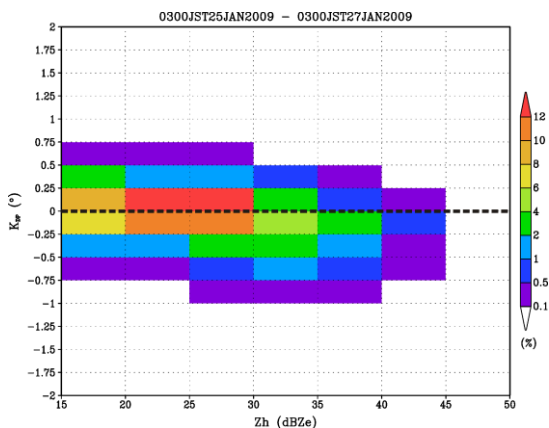


図7 2009年1月25日3時から27日3時の降水強化域におけるKDP(deg/km)の頻度分布。

さらにKDPの頻度分布を調べた(図7)。レーダー反射強度が30 dBZ 未満のときはKDPの最頻値は0~0.25 deg/kmにあるが、30 dBZ 以上のときは-0.25 deg~0 deg/kmにある。このことはレーダー反射強度が強い場合には、縦長姿勢で落下する粒子、すなわち紡錘形をした霰の頻度が増すことを示している。



⑥ 最後に、偏波パラメーターと気温を用いた粒子識別を行い、その格子点の頻度分布を調べた。レーダー反射因子差 ZDR は精度の問題からこの解析には用いなかった。結果は、低密度と高密度の霰の格子点の和は、30～40%であった。レーダー反射強度では少なくとも10%以上が霰であったので、弱い反射強度域においても KDP が負、または KDP が十分大きい格子などでは霰と判定されたものが多数あると考えられる。最も頻度が多かったのは雪片であり約50%を占めていた。縦長姿勢で落下する雪結晶も一割程度存在した。

(3) 本研究では、雪や霰の降水量など量的な見積もりまではできていない。固体降水については、量的な見積もりが世界的にも未だ不十分である。まずは、Z-R 関係を用いた見積もりから始め、偏波パラメーターを使用したより精度の高い見積もりがなされるための研究が今後必要とされる。この量的見積もりがなされると、数値モデルの高精度化のためにも非常に重要な観測的事実を与えることになる。本研究の粒子識別手法は、この固体降水の量的見積もりについて、基礎となる解析方法の一つを与える。

今後、そのような方向に研究が発展する際には、航空機や地上観測などによる直接観測とレーダーから得られた値との比較、検証も必要である。したがって、レーダーを含め多くの測器を一カ所に集めて行う総合的な観測を行う必要がある。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

①中北英一・山口弘誠・隅田康彦・竹畑栄伸・鈴木賢士・中川勝広・大石哲・出世ゆかり・坪木和久・大東忠保：偏波レーダーとビデオゾンデの同期観測および降水粒子タイプ判別. 水工学論文集, 査読有, **53**, 2009, 361-366.

〔学会発表〕(計12件)

①大東忠保・坪木和久・出世ゆかり・民田晴也・上田 博：海岸部降雪強化域における偏波パラメータの特徴. 名古屋大学地球水循環研究センター共同研究「マルチパラメータが拓く新しい地球水循環研究」研究集会, 2010年3月1日, 名古屋大学地球水循環研究センター.

②岡本宏樹・大東忠保・坪木和久：北陸地方西部沿岸に発生する停滞性線状降雪帯の形

成要因. 日本気象学会2009年度秋季大会, 2009年11月25日～27日, アクロス福岡.

③篠田太郎・加藤雅也・久保 守・瀬戸一希・村本健一郎・藤吉康志・大東忠保・坪木和久・上田 博：地上観測データを用いた雲解像モデルCReSSにおける雪と霰の割合の検証. 日本気象学会2009年度秋季大会, 2009年11月25日～27日, アクロス福岡.

④Kubo, M., K. Nakamura, K. Muramoto, T. Ohigashi, T. Shinoda, and Y. Fujiyoshi : Visualization of water vapor distribution in the lower atmosphere using two lidars. ICROS-SICE International Joint Conference 2009, 2009年8月18～21日, 福岡国際会議場.

⑤Kubo, M., K. Seto, K. Muramoto, Y. Fujiyoshi, T. Shinoda, and T. Ohigashi : Shape classification of snow particle into snowflake and graupel using image processing. ICROS-SICE International Joint Conference 2009, 2009年8月18～21日, 福岡国際会議場.

⑥大東忠保・坪木和久・出世ゆかり・民田晴也・遠藤智史・尾上万里子・岡本宏樹・瀬藤丈晴・加藤雅也・篠田太郎・上田 博：山陰から北陸に伸びる発達した停滞性降雪バンド. 日本気象学会2009年度春季大会, 2009年5月28日～31日, つくば国際会議場.

⑦瀬藤丈晴・上田 博・出世ゆかり・大東忠保：名大マルチパラメータレーダー観測データを用いた降水粒子判別の試行. 日本気象学会2009年度春季大会, 2009年5月28日～31日, つくば国際会議場.

⑧Ohigashi, T., K. Tsuboki, Y. Shusse, M. Kato, T. Shinoda, and H. Uyeda : Observation and simulation on hydrometeor properties of snow clouds. Int. Workshop on radar and modeling studies of snowfall: Precise observation and modeling of solid precipitation, 2009年3月18日～19日, アトリウム長岡 (新潟県長岡市) .

⑨大東忠保・坪木和久・出世ゆかり・民田晴也・遠藤智史・尾上万里子・岡本宏樹・瀬藤丈晴・加藤雅也・篠田太郎・上田博・久保守・村本健一郎：北陸での降雪雲のマルチパラメーターレーダー観測. 名古屋大学地球水循環研究センター共同研究「マルチパラメータが拓く新しい地球水循環研究」研究集会, 2009年3月4日, 名古屋大学地球水

環研究センター.

〔その他〕  
ホームページ等  
なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大東 忠保 (OHIGASHI TADAYASU)  
名古屋大学・地球水循環研究センター・  
特任助教  
研究者番号：80464155