

2017年春季「極域・寒冷域研究連絡会」の報告

—マルチスケールで考える, 都市における降雪・積雪—

大 島 和 裕^{*1}・堀 正 岳^{*2}・佐 藤 和 敏^{*3}
浅 井 博 明^{*4}・荒 木 健太郎^{*5}

1. はじめに

人口の集中する都市での大雪は, 交通機関や市民生活への社会的な影響が大きく, その範囲も想定外なものになることがある。2016年11月には東京都心で11月としては観測史上初めて積雪が観測され, 12月には札幌で50年ぶりに90 cm を超える積雪となったために, 鉄道や空港が大混乱となった。こうした都市部を襲う降雪現象は, 南岸低気圧やポーラー・ローのスケールから, 平野・局地スケールに至るさまざまな降雪過程を考慮する必要がある。今回はこのような極端な降雪・積雪現象に対して, 予測向上へ向けた新たな試み, 実際に大雪に見舞われた現業官署での対応, 市民参加による広域の情報収集が持つ可能性について3名の方にご講演をいただいた。約30名の参加者の活発な質疑, 意見交換が行われた。以下に講演内容の抄録を記す。

担当世話人: 堀 正岳, 大島和裕 (海洋研究開発機構)
http://polaris.nipr.ac.jp/~pras/coolnet/cl_index

2. 2016年12月の北半球の大気循環とその予測可能性

佐藤和敏 (国立極地研究所)

近年, 中緯度で頻発している寒波は, 北極海の水氷

減少や中緯度の海面水温の変化に伴う大気循環の変化により引き起こされていると指摘されている。日本でも低温や大雪により甚大な被害が生じており, 被害を軽減させるために寒波の正確な予報が必要である。中緯度で生じる寒波の予報精度を向上させる方法として, 観測数の少ない北極圏での観測頻度を増加させ, 予報モデルに用いる初期値の不確定性を小さくすることが有効であることがわかっている (Sato *et al.* 2017)。そこで, 冬期の寒波の予報精度を向上させるため, 2016年12月の上旬から中旬に北極圏で常設されている観測所で通常観測に加え1日2回の特別観測が実施された。

本研究では, 特別観測が北半球全域の予報精度へどのほど貢献しているのか調べるため, 海洋研究開発機構が地球シミュレータ用に開発した大気大循環モデル AFES (Ohfuchi *et al.* 2004) 及びアンサンブルデータ同化システムである LETKF (Miyoshi and Yamane 2007; Enomoto *et al.* 2013) を用いた予報実験を行った。具体的には, 2016年12月に実施された観測所 (通常観測2回と追加観測2回) の追加観測を含んだ再解析データと取り除いた再解析データを作成し, それぞれを初期値として63メンバーのアンサンブル予報実験を行い, それらのアンサンブル平均の差を調べた。観測データの影響を調べるため, 2016年12月22~23日に札幌に大雪をもたらした低気圧の事例に着目した。この事例では, 上空の偏西風の蛇行が北極圏の寒気を中緯度へ移流させているだけでなく, 日本に大雪をもたらした低気圧の発達にも影響していた。

北極圏での追加観測データを含んだ予報実験は, 偏西風の蛇行や日本上空のトラフの位置が良く再現できており, 日本に接近する低気圧の位置も実況に近い結果となった。一方, 追加観測のみ取り除いた予報実験

^{*1} (連絡責任著者) Kazuhiro OSHIMA, 海洋研究開発機構。

kazuhiroo@jamstec.go.jp

^{*2} Masatake E. HORI, 海洋研究開発機構。

^{*3} Kazutoshi SATO, 国立極地研究所。

^{*4} Hiroaki ASAI, 気象庁新千歳航空測候所。

^{*5} Kentaro ARAKI, 気象庁気象研究所。

© 2017 日本気象学会

では、日本上空でのトラフの位置が実況より南側に位置しており、低気圧の位置が南側にずれていた。等温位面の渦位を追跡する解析では、上空の予報精度を悪化させている起源が観測データの乏しい高緯度であることがわかった。これらの結果から、2016年に北極圏で実施された特別観測が北半球の上空の大気循環の予報精度を向上させ、低気圧の予報精度に影響している可能性があることがわかった。

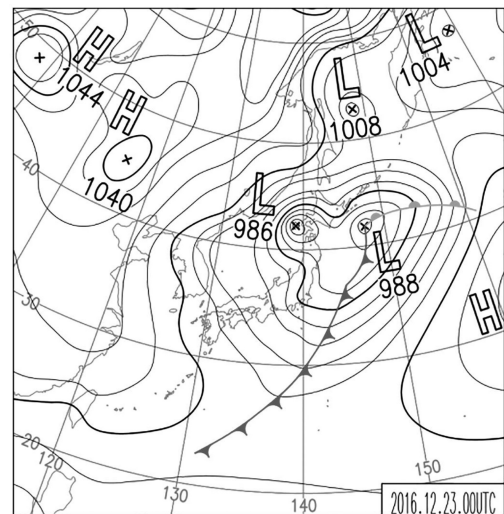
3. 2016年12月の札幌市・新千歳空港での大雪について

浅井博明（気象庁新千歳航空測候所）

2016年度の北海道は冬の訪れが早かった。スカンジナビア半島からバレンツ海にブロック高気圧があり、その前面で極域の寒気が東アジア域へと流れ込み、10月下旬の記録的寒波の影響で、旭川では長期積雪（根雪）の初日が10月29日と道内の歴代の最早を記録した。また、11月上旬はユーラシア大陸に蓄積された強い寒気が流れ込んだため、北海道全域では平年差 -5.1°C となり、1961年の統計開始以降で気温が最も低くなった。12月の月平均気温は平年並みであったが、月降水量はかなり多かった。12月は冬型の気圧配置・低気圧などの影響で雪や雨の降った日が多く、10日は石狩地方で、22～23日は広い範囲で大雪となり大規模な交通障害が発生した。本講演では、この2つの大雪事例に対する現業官署の対応と簡単な事例解析についての講演を行った。

12月9～10日は通過した低気圧により冬型の気圧配置が強まった。後志北部の地形に高さ1000 m以下の下層風がぶつかり雪雲を形成した。そのほか、大陸や間宮海峡からの季節風、空知地方から吹き出す東寄りの風などが影響して北海道西岸に収束雲を形成し続け、札幌市内に断続的に雪雲が流入した。12月10日の明け方には石狩・後志地方で大雪警報を発表した。札幌の日降雪量は44 cmとなり、12月の第9位を記録した。札幌市電は90年の歴史の中で初の終日運休し、また新千歳空港では252便が欠航、約1000人が空港で一夜を過ごした。

12月22～23日は日本海西部の低気圧が発達しながら北東進し、北海道の南海上に達した。2つの低気圧が連続して北海道付近を通過したことで、全道的に大雪や大雨になった（第1図）。22日の札幌の日降雪量は34 cm、新千歳空港は22 cm（12月の1位）であった。23日は下層暖湿気の流れ込みにより、昼過ぎまで雨を予想



第1図 2016年12月23日09 JSTの地上天気図。

していたが、MSMの初期値が更新されるたびに大気下層は低温予想になり、昼過ぎまでの降雪量は5 cmであった。22日からの3日間で611便が欠航、1万1600人が空港ビルに宿泊した。12月下旬の対馬暖流の勢力はかなり強かったことから、気象庁非静力学モデル（JMA NHM）を用いてSSTと海水を平年値に置き換えた感度実験を行ったところ、北海道全域の降雪量が5～20 cm増加していた。日本海の高いSST偏差が低気圧へ大量の水蒸気を供給したと考えられる。北海道全域の12月下旬の降水量は平年比186%と平年よりかなり多かった。

4. 市民科学による超高密度広域雪結晶観測

荒木健太郎（気象庁気象研究所）

冬季には南岸低気圧（荒木 2016）とよばれる低気圧の通過に伴い、首都圏で降雪現象が発生する。降雪の頻度は高くはないものの、特に都心部ではひとたび雪が積もれば交通等への甚大な影響が及ぼされる。

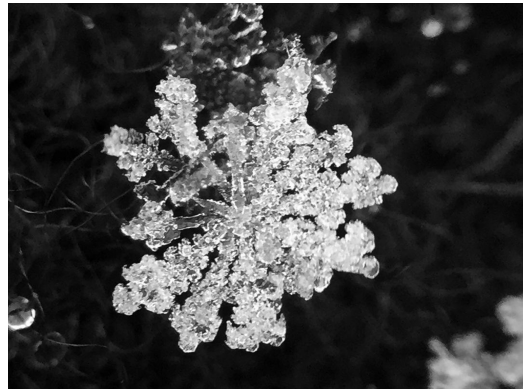
2014年2月14～15日には関東甲信地方で南岸低気圧による記録的な大雪が発生し、これを契機に首都圏の降雪に関する研究が進められてきている（荒木ほか 2015a, b, 2016）。しかし、現状では南岸低気圧に伴う降雪現象の正確な予測は難しい。その理由は、南岸低気圧に伴う首都圏の降雪現象が低気圧の発達度合や位置、低気圧に伴う雲の広がりや雲の物理的性質、地表面付近の状態など様々な要素が複雑に関係している現象だからである。低気圧を含む総観スケールの気象

場に加え、降雪・降水粒子の相変化に伴う大気下層の非断熱冷却の影響で関東ではCold-Air Dammingと呼ばれる北寄りの冷たい風が強化されるメソスケール現象が発生する（荒木 2015a）。この下層冷気の南端にあたる関東南部や南海上では沿岸前線という局地前線が形成され、雨と雪の境目になることがある（荒木 2015b）。このように、南岸低気圧に伴う首都圏降雪は物理過程の複雑さもさることながら、様々な時空間スケールの現象が多く関係している。

首都圏降雪現象を高精度に予測するためには、まず実態把握が必要である。しかしながら、関東甲信地方では北陸のように密な積雪観測点はなく、降雪分布の実態が不明である。さらに観測が難しいのは降雪雲の物理特性で、観測機会が極めて少ないため未知が多い。そこで、気象庁気象研究所では、関東甲信地方の市民から降雪時の雪結晶画像を募集する「#関東雪結晶 プロジェクト」（以下、関東雪結晶；<http://www.mri-jma.go.jp/Dep/fo/fo3/araki/snowcrystals.html>）を実施している。関東雪結晶では、いまやほとんどの市民が所有しているスマートフォン（以下、スマホ）付属のカメラで雪結晶を撮影し、Twitter 等の SNS（ソーシャル・ネットワーキング・サービス）上でハッシュタグ「#関東雪結晶」と撮影時刻・場所を記載の上で雪結晶画像の投稿を呼びかけた。プライバシー保護の観点から、メール等でも画像を募っている。このような市民参加型の研究は市民科学（Citizen Science）と呼ばれており、アメリカ等では活発に行われているが、日本国内ではあまり例は多くなく、気象・雪氷分野ではこれまでに行われていなかった。

これまで雪結晶の観測には専用の機器等が必要とされてきたため、市民が観測に参加するには敷居が高かった。しかし、スマホ付属のカメラでズームを最大にして接写するだけでも雪結晶構造を十分判別可能な写真を撮ることが可能であり、ごく安価なスマホ用マクロレンズ（10～13倍）を使用することで鮮明な雪結晶画像を撮影できる（第2図）。スマホを用いた簡易雪結晶観測手法を確立したことで、市民の観測参加への敷居を大幅に下げることができた。また、スマホ上で容易にアクセス可能な SNS を用いることで、データ共有についても敷居が下がり、観測機会を増やすことが可能となった。

これらの工夫を重ね、関東雪結晶を2016～2017年冬季に実施したところ、合計1万枚以上の雪結晶画像が



第2図 スマートフォン用マクロレンズを使用して撮影した雪結晶（雲粒付着した十二花）。2017年1月20日気象研究所にて撮影。

寄せられた。特に都心部で降雪時に画像数が増える傾向にあり、観測時刻・位置情報のあるものは全体の約89%、そのうち判別可能な画像は全体の約73%だった。最も画像数の多かった2016年11月24日の南岸低気圧による関東降雪事例では、8～9時にかけては関東甲信地方の広範囲で雲粒付着のない樹枝状結晶による雪片が観測された。一方、11～12時にかけては関東北部中心に同様な雪結晶が観測されたが、関東南部を中心に濃密雲粒付着結晶や霰状雪のほか針状結晶も観測された。このことから、本事例における降雪雲は低温型結晶の成長しやすい一般的な温帯低気圧に伴う層状雲とは異なり、比較的高温・湿潤な雲であったといえる。雪結晶の時空間変化から、関東南部を中心に当日昼頃にかけて降雪雲内の温度が上がり、雲内に過冷却雲粒が存在するようになったことがわかった。本プロジェクトにより、他の事例において対流性降雪雲に伴う霰や温帯低気圧に伴う低温型結晶も観測された。

「#関東雪結晶 プロジェクト」を通し、市民が観測に参加する市民科学のアプローチによって、広域での超高密度雪結晶観測を実現することができた。このような大規模な雪結晶観測は世界で初めての試みであり、今後も事例の蓄積を重ねて関東降雪現象の実態解明に取り組む予定である。また、本プロジェクトで得られた観測データを用い、将来的には偏波レーダーを用いた降水種別判別技術や、数値予報モデルの高精度化を目指している。

謝 辞

講演を快く引き受けてくださった諸氏に感謝申し上げます。また、会場の準備をしていただいた大会実行委員会の皆様に感謝いたします。

略語一覧

AFES : AGCM for Earth Simulator 地球シミュレータ
の気大気循環モデル
JMA NHM : Japan Meteorological Agency NonHy-
drostatic Model 気象庁非静力学モデル
LETKF : Local Ensemble Transform Kalman Filter
局所アンサンブル変換カルマンフィルタ
MSM : Meso Scale Model メソ数値予報モデル
SST : Sea Surface Temperature 海面水温

参 考 文 献

- 荒木健太郎, 2015a : Cold-Air Damming. 天気, 62, 545-547.
- 荒木健太郎, 2015b : 沿岸前線. 天気, 62, 541-543.
- 荒木健太郎, 2016 : 南岸低気圧. 天気, 63, 707-709.
- 荒木健太郎, 中井専人, 前多良一, 2015a : 2014年度秋季大会スペシャル・セッション「南岸低気圧による大雪 : その要因, 実態, 予測可能性」報告. 天気, 62, 133-142.
- 荒木健太郎, 中井専人, 上野健一, 加藤輝之, 上石 勲, 中村一樹, 2015b : 南岸低気圧とそれに伴う気象・雪氷災害に関する研究会」開催報告. 雪氷, 77, 491-495.
- 荒木健太郎, 上野健一, 縫村崇行, 2017 : シンポジウム「関東の大雪に備える」報告. 天気, 64, 193-200.
- Enomoto, T., A. Kuwano-Yoshida, N. Komori and W. Ohfuchi, 2008: Description of AFES 2: Improvements for high-resolution and coupled simulations. In High Resolution Numerical Modelling of the Atmosphere and Ocean, K. Hamilton and W. Ohfuchi (eds.), Chap. 5, 77-97, Springer.
- Miyoshi, T. and S. Yamane, 2007: Local ensemble transform Kalman filtering with an AGCM at a T159/L48 resolution. Mon. Wea. Rev., 135, 3841-3861.
- Ohfuchi, W. *et al.*, 2004: 10-km mesh meso-scale resolving simulations of the global atmosphere on the Earth Simulator — Preliminary outcomes of AFES (AGCM for the Earth Simulator) —. J. Earth Simulator, 1, 8-34.
- Sato, K., J. Inoue, A. Yamazaki, J.-H. Kim, M. Maturilli, K. Dethloff, S. R. Hudson and M. A. Granskog, 2017: Improved forecasts of winter weather extremes over midlatitudes with extra Arctic observations. J. Geophys. Res. Oceans, 122, doi:10.1002/2016JC012197.