

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：14403

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24654154

研究課題名(和文) 極域の微小降雪量検証を目指した降雪量観測法の確立

研究課題名(英文) Establishment of new observation method for measuring low snowfall rate more exactly at polar region

研究代表者

小西 啓之 (KONISHI, Hiroyuki)

大阪教育大学・教育学部・教授

研究者番号：70178292

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)： 極域の降雪量測定を目指しダイヤモンドダストなどの小さな降雪粒子に対して、(1)近年使われるようになった様々な光学式雨量計の動作特性の比較観測、(2)粒子の形状や大きさを記録するため、顕微鏡を用いた降雪粒子連続観察装置の試作および光学式雨量計との比較観測、を日本で最も寒いといわれる北海道陸別で三冬間行った。その結果、1mmより大きな降雪粒子が多く観測される場合は概ね正確な降雪量観測ができるが、0.5mm以下の小さな降雪粒子が主となる弱い降雪の場合は、降雪量の測定は難しく、測定誤差が大きいことが分かった。また降雪粒子連続観察装置の連続運転が行え、順調に降雪粒子の雪結晶写真を撮影することができた。

研究成果の概要(英文)： Aiming to measure the snowfall rate more exactly, simultaneous observations (1) several optical snow particle sensors and (2) a microscope camera for snow particles were carried out at three winter seasons at Rikubetsu, Hokkaido, where the one of the coldest town in Japan. The results show that the measured snowfall rate was more exactly, when a lot of snow particles larger than 1mm were observed, whereas it was difficult to estimate snowfall rate exactly in case of the weak snowfall that consist of mostly small snow particles less than 0.5mm. Snow particles photographs were automatically taken by a newly developed device with a USB microscope camera.

研究分野：気象学、降雪物理学

キーワード：降雪量観測 降雪粒子 粒径分布 極域

1. 研究開始当初の背景

極域の降水量は、地球の冷源を涵養する量であり、地球の気候を支配する因子の一つであることから地球環境問題を研究する上で不可欠な項目である。しかしながら、実際の降雪量の計測は、極域の低温強風の条件下で直接測定という困難さがあり、信頼されるデータがないのが現状である。したがって、レーダーや衛星観測などの間接手法や客観解析データを使った数値モデルから極域の降水量を推定するという研究が近年増加しているが、実際の真値がほとんど測定されていないことから、評価ができないという問題がある。

一方、レーザー光の投光部と受光部に落下する降水粒子が遮光する光の量とその時間から降水粒子の粒径と落下速度を推定しそれらの値から降水量を見積もる光学式降水量計が近年普及してきた。本研究の代表者は、新潟県長岡で降雪観測を行い、降雪粒子の粒径と落下速度から粒子の見かけ密度を推定し、精度の良い降雪量を求める手法を提案し気象学会(2010年秋)で発表した。これらの過程で微細粒子を測定できる光学式降水量計を用いれば、氷晶などの小さい粒径の降雪粒子が多い極域の降雪に対しても詳細な降雪量変動を観測できるのではないかと考え、その測定法に関する本研究を立案した。さらに世界降水計画で衛星による観測(GPM)の地上検証データを正確に測定することや南極昭和基地付近では、極域の水循環に関する研究計画が進んでおり、その一環として極域の精度のよい降雪量を測定する方法が求められていることも本研究立案の動機の一つである。

2. 研究の目的

本研究は、ダイヤモンドダストで代表される極域の降雪に対して近年開発された光学式降水量計などを用いて、その降水量を正確に測定する手法の確立を目指している。そのために北海道内陸部陸別で氷晶(ダイヤモンドダスト)からなる降雪に対する種々の降水量計の比較観測を行い、各降水量計の特性を調べた。また、実際に降った降雪粒子の形状との比較を行うため降雪粒子連続観察装置を試作し、比較観測に使用した。これらの観測から、極域の降水量の観測に有効な降水量測定法について研究を行った。

3. 研究の方法

極域の降水量検証を目指した降水量観測法の確立のために、(1)氷晶(ダイヤモンドダスト)からなる降雪に対する種々の降水量計の比較観測、(2)降雪粒子連続観察装置の試作および降水量計との同時観測を行った。

まず、(1)の内容は、日本で最も寒い町といわれる北海道陸別に降雪観測点を設け、2012/2013、2013/2014、2014/2015年の3冬季に行った降雪観測である。陸別は、冬季は

-20℃以下の低温になりやすく、極域に降るようなダイヤモンドダストを日本の中では比較的多く観測できる場所であり、極域の降雪量をより正確に見積もる方法を試す場所として適している。異なる3種の光学式降水量計(OTT parsivel、Thies Laser Precipitation Monitor(LPM)、新潟電機 Snow Particle Counter(SPC))を陸別に設置し、降雪観測を行った。各光学式雨量計の測定仕様を表1に示す。また、比較のため、重量式の天秤式降雪強度計も設置し、比較観測を行った。

表1 光学式降水量計の仕様

機種	粒径	落下速度	検出面積
Parsivel	32階級 (0.0-26 mm)	32階級 (0-22.4 m/sec)	54cm ²
LPM	22階級 (0.2-8.5 mm)	20階級 (0-10 m/sec)	46cm ²
SPC	32階級 (0.036-0.5mm)	なし	0.5cm ²

(2)の内容は、レーザー光や電波などを用いた光学式降水量計などによる間接的な降水量測定法を検証するには実際の降水粒子の形状を同時に記録されることが望まれるので、氷晶サイズの降水粒子を連続して観測できる装置の開発である。

そのため、まず実験室内での100μm以上の大きい人工氷晶の作成、その観察装置の開発、続いて屋外での連続観測への利用である。

4. 研究成果

(1)種々の光学式降雪量計の比較観測

観測期間中、1000時間を超える降水が各冬季ともに計測されたが、気温が-10℃以上の暖かい場合と地吹雪粒子の混入を避けるため地上風が3m/sec以上の場合を除き、より低温型の降雪粒子が観測された事例は、各冬季とも15~20日間、-10℃以下ではのべ300時間、-20℃以下ではのべ150時間程度であった。

ダイヤモンドダストのような比較的小さい雪粒子が多く降った場合の粒径分布の一例を図1に示す。この場合、3つの光学式降水量計によって数十μmから1mmまでの粒子

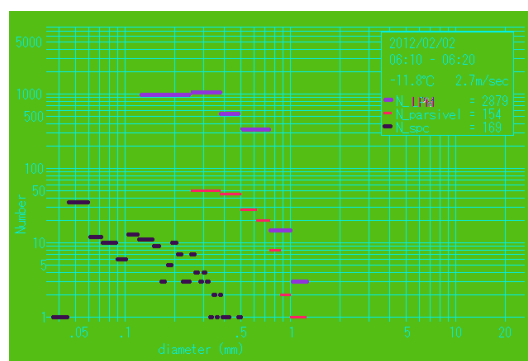


図1. 3種の光学式降水量計で測定した10分間の粒径分布の比較。2012年2月2日、6:10-6:20

が計測され、降雪粒子の最大粒径は約1mmであった。mmオーダーの大きい粒子の個数が相対的に少ないため、数百 μm 以下の小さい粒子の個数や質量を正確に求めることが正確な降水量を求める上で重要であることがわかる。なお図1の粒子数は実際に測定された個数で、3つの測器の降雪粒子の検出面積による補正は加えていない。

次に各計測器の粒子検出数の相互比較を行った。LPMとparsivelの粒子検出面積はそれほど変わらないので、検出個数としては同程度の値が期待されたが、parsivelはLPMに比べ検出数が図1の例に限らず少ないことがわかった。この差は1mm以下の小さい粒子に大きく、とりわけ0.25mm以下ではparsivelは全く粒子を検出しなかった。1mm以上の大きい粒子では両者にそれほど差は見られなかったので、小さい粒子の検出法にLPMとparsivelに差があると考えられる。

さらに0.125~0.5mmの粒子数についてLPMとSPCの比較を行った。LPMの粒子数はSPCの粒子数に比べ40~50倍であったが、粒子検出面積が、約100倍であることを考えると、LPMの検出個数がSPCに比べ2~2.5倍少ないことを意味し、LPMでは小さい粒子は十分検出できていない可能性が示唆された。

(2)降雪粒子連続観察装置の試作

氷晶を、自動かつ連続して観察するために、近年広く普及し始めたUSB顕微鏡カメラ(Dino-Lite)を用いた。カメラは最大倍率の210倍(撮影範囲、横約2.4mm×縦約1.7mm)上向きに設置し、ガラス板上に落下した50 μm 程度の氷晶を下から観察した。カメラの映像はUSBで接続したパソコン画面に表示し、ソフト上の操作で静止画像を30秒間隔で撮影した。

連続撮影では撮影面に次々と氷晶や雪粒子が降り積もり観察視界が悪くなるので、それを防ぐため2012年度は市販のプラモデル用モーターや4速クランクギヤーボックスを使って、間欠的に氷晶をふき取るワイパー装置を作成した。しかし、このワイパー装置では積もった雪を常に排除することができなかったので、2013年度は改良を加え、カメラ上部に間欠的に降雪粒子を吹き飛ばす空気

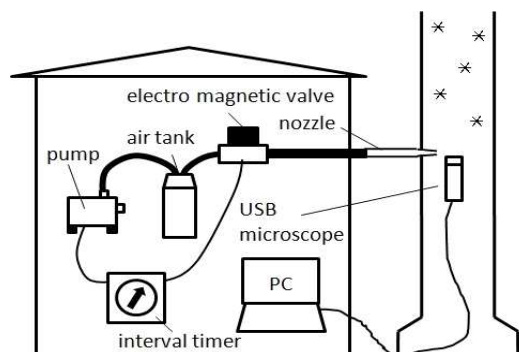


図2. USB顕微鏡を用いた降雪粒子連続観察装置の概略図

噴射装置を作成した。この装置は、真空ポンプと空気タンク、電磁弁からなり、タイマーで10秒間真空ポンプが動作する間にタンク内に圧縮空気を溜め、その後電磁弁が開き圧縮空気がノズルから噴射され、顕微鏡カメラ上に積もった雪結晶を除去することができるものである。

(3)降雪粒子連続観察装置の観測への利用

屋外観測に用いる前に、まず100 μm より大きな氷晶(雪粒子)を観測できることを確かめるため、2013年に実験室内に大型保冷箱を作成し、山下(1974)の実験を参考に氷晶発生実験を行った。大型保冷箱(36×36×高さ183cm)は厚さ25mmの断熱材で作成し、内部に直径20mm高さ175cmの蛇腹状のアルミ円筒を立て、断熱材とアルミ円筒の隙間に-30 $^{\circ}\text{C}$ 近くまで冷やした保冷剤(26.5x20x3cm)を9段計36個で囲って冷やし、保冷箱上部にも冷却ユニットを設置し、補助冷却装置とした。保冷箱下部には降雪粒子連続観察装置を設置し、温度、水蒸気供給時間、その後の冷却時間など様々な条件で合計100回以上実験を行い、氷晶を94回確認し、90 μm より大きな氷晶を26回観察した。

この観察装置を2014/2015年の冬季に北海道の陸別で屋外観測に利用した。撮影装置であるUSB顕微鏡カメラは風の影響を避けるため直径10cm高さ0.8mの塩ビ管内の中ほどに上向きで設置し、2014年12月24日より観測を行ったが、ここではその結果として1月17日6時から14時の降雪の粒子数、降雪強度、気温の時間変化、およびその時得られた結晶形の例を示す(図3)。粒子数は5分間の総数を、降雪強度は天秤法で測定した。また図4に降雪粒子の写真の例を示した。6時ごろから降り始めた降雪は、10時ごろまでは砲弾集合、放射角板などの低温型の雪結晶からなり、その後気温が-5 $^{\circ}\text{C}$ 付近まで上昇した10時半から14時までは樹枝状などの雲粒付き結晶が多く見られた。また、降雪強度の増減と粒子数の増減が一致しており、今回試作した観察装置で十分雪結晶を観察できることが分かった。

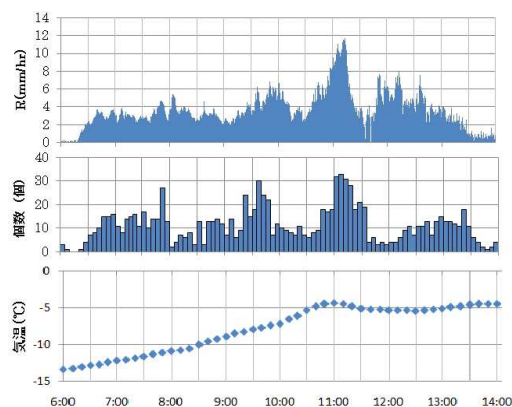


図3. 2015年1月17日に観測された天秤法による降雪強度、降雪粒子連続観察装置で撮影された雪結晶数、気温の時間変化

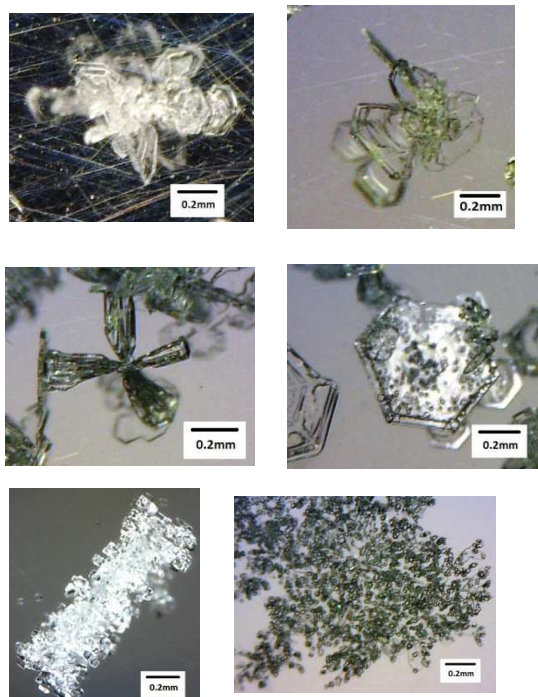


図4. 2015年1月17日に降雪粒子連続観察装置で撮影された雪結晶。左上：P7a, 6:57、右上：P7a, 8:00、左中：CP2c, 9:45、右中：R1b, 11:07、左下：R2a, 11:35、右下：R1c, 13:05

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)

[学会発表] (計10件)

① 小西啓之、野々村達也、平沢尚彦、USB顕微鏡を用いた雪結晶観察装置の試作と降雪粒子観測、日本気象学会、2015年5月21-24日、つくば国際会議場(茨城県、つくば市)

② 小西啓之、野々村達也、平沢尚彦、光学式降水量計とUSB顕微鏡を用いたダイヤモンドダストの比較観測、極域科学シンポジウム2014年12月2-5日、国立極地研究所(東京都、立川市)

③ 小西啓之、平沢尚彦、光学式雨量計による降雪観測-同一気象条件での粒径と落下測度の比較-、日本気象学会、2014年10月21-23日、福岡国際会議場(福岡県、福岡市)

④ 小西啓之、野々村達也、平沢尚彦、光学式降水量計検証のためのUSB顕微鏡を用いた降雪粒子観測、日本雪氷学会、2014年9月20-22日、八戸工業大学(青森県、八戸市)

⑤ 小西啓之、尾島浩太、野々村達也、氷晶自動観察装置の作成と人工氷晶の観察、日本気象学会 2014年5月21-24日、横浜開港記念会館(神奈川県、横浜市)

⑥ 小西啓之、平沢尚彦、陸別における微小降雪粒子の粒径分布観測、日本雪氷学会、2013年9月17-21日、北見工業大学(北海道、北見市)

⑦ N.Hirasawa and H.Konishi, Snowfall measurement at Rikubetsu, Japan, a site of SPICE. Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly DACA-13, 2013/07/08-13, Davos (Switzerland)

⑧ H.Konishi and N.Hirasawa, Estimation of snowfall rate by using laser disdrometers. Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly DACA-13, 2013/07/08-13, Davos (Switzerland)

⑨ 小西啓之、平沢尚彦、降雪量推定のための降雪粒子の粒径と落下速度の観測、日本気象学会、2013年5月15-18日、国立オリンピック青少年総合センター(東京都)

⑩ 平沢尚彦、小西啓之、北海道陸別町における2重防風柵(DFIR)を用いた降雪量観測、日本気象学会、2013年5月15-18日、国立オリンピック青少年総合センター(東京都)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小西啓之 (KONISHI, Hiroyuki)
大阪教育大学・教育学部・教授
研究者番号：70178292

(2) 研究分担者

平沢尚彦 (HIRASAWA, Naohiko)
国立極地研究所・助教
研究者番号：10270422